

**Efecte d'un entrenament funcional integrat de core en l'estabilitat
lumbopelviana, el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de
rítmica**

Cristina Cabrejas Mata

<http://hdl.handle.net/10803/688474>

Data de defensa: 26-05-2023

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

TESI DOCTORAL

Títol	Efecte d'un entrenament funcional integrat de core en l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de rítmica
Realitzada per	Cristina Cabrejas Mata
en el Centre	Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i de l'Esport Blanquerna
i en el Departament	Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport
Dirigida per	La Dra. Mónica Solana-Tramunt i el Dr. José Morales Aznar

*La gimnàstica rítmica és la perfecta combinació
de coratge, sacrifici, valor i entrega.*

*Si et rendeixes no sabràs com acaba
aquesta dura i bonica història.*

AGRAÏMENTS

Estic agraïda a tanta gent... que no sé per on començar!

Molt agraïda a totes les persones que han contribuït d'una o altre manera i feliç d'haver pogut acabar el document final de tesi.

Començaré donant les gràcies als meus directors de tesi, la Mònica Solana-Tramunt i el José Morales, ja que sense ells hagués estat impossible realitzar el doctorat. El positivisme i l'empenta de la Mònica fan una simbiosi perfecta amb la tranquil·litat i el realisme del Jose. Entre els tres fem un molt bon tàndem! Ens ho hem passat molt bé tot i haver hagut de treballar intensament. De dos directors de tesi m'emporto dos grans amics. Moltes gràcies als dos per la paciència i la confiança en mi.

Vull agrair el suport que m'ha donat l'Asier en tot aquest procés, gràcies a ell he continuat endavant, ja que en alguns moments hagués abandonat, però com a bon psicòleg, em va fer obrir els ulls i veure l'ordre de prioritats a la meva vida. *Eskerrik asko, maite zaitut.*

A la Hermins és clar, perquè he seguit els seus passos des de ben petita i ja sabia el que significava endinsar-me en un procés de doctorat. Compartim passió, la gimnàstica rítmica, amb la seva gran experiència m'ha ajudat a ser millor gimnasta, entrenadora i professora, i en el cas de la tesi no ha estat d'una altra manera, sempre està al meu costat, moltes gràcies mama!

Molt especialment a la Laura, que m'ha estat ajudant des del primer moment, amb la recollida de dades, excels, correccions de català..., sempre preguntant «com tenim la tesi?» i inclús, ajudant a altres companyes de doctorat, no sé d'on treu el temps per fer-ho tot. Una crack! Quina sort tenir una padrina així, moltes gràcies per tot.

Tota la meva família ha estat pendent, la meva germana, el Quim, els meus tiets, padrins, cosins, la família de l'Asier... Els meus nebots, la Jana i l'Erik també tenen ganes que acabi la tesi perquè pugui jugar més amb ells. Així que una abraçada per tots i totes, us estimo molt.

Vull donar les gràcies també a tots els professors i companys de Blanquerna, sou increïbles, sempre que he demanat ajuda n'he tingut moltíssima i heu fet que cada dia sigui especial al grau de CAFE. Vull agrair especialment al Lluís per ser un coordinador d'esports i seminari genial, al Ton per sempre estar de bon rotllo (et trobem molt a faltar...) i a l'Oriol Marco que em va ajudar molt a l'inici del doctorat i amb moltes altres coses (t'envio una abraçada molt forta). M'agradaria també fer menció als professors «*New generation Blanquerna*», que fa poc que són doctors o ho seran aviat, i venen trepitjant molt fort! Moltes gràcies per la vostra energia.

També agrair al Dr. Edu Carballeira per la seva col·laboració en la publicació dels articles, al Will per la seva ajuda amb la correcció dels articles en anglès i a la jutge Yolanda Farrarós per el seu temps per puntuar a les gimnastes.

Moltes gràcies a tota la facultat FPCEE Blanquerna, Ramon Llull per ser la meva segona casa durant el procés de doctorat, per facilitar-me la combinació de la docència universitària amb el programa de doctorat i per proporcionar-me tots els serveis que sempre he necessitat. Les encarregades de la biblioteca han estat sempre molt amables i m'han ajudat molt!

Vull agrair a totes les gimnastes i familiars, així com les entrenadores del Club Muntanyenc Sant Cugat que han participat en aquest estudi.

No voldria acabar sense agrair als meus amics i amigues que són la família que es tria, les meves amigues de gimnàstica, els amics de Rabanera, els amics de l'INEFC i els amics de Donosti, tots ells han fet que sigui feliç durant aquest tram de la meva vida i estic desitjant celebrar el final de la tesi amb ells.

RESUM

La present tesi doctoral consta de tres estudis diferenciats que tenen com a objectiu principal avaluar els efectes d'un entrenament funcional integrat de la zona centre del cos (core) en l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de rítmica. L'entrenament funcional es va aplicar durant vuit setmanes, aquest integra exercicis de core, pliometria i equilibri, executats amb elements d'equilibri i salt específics de gimnàstica rítmica (GR). La mostra va constar de 44 gimnastes de rítmica de nivell competitiu escolar i federat amb edat mitjana de $10,5 \pm 1,8$ anys. El grup es va dividir en grup control (GC) i grup experimental (GE). El GE va realitzar l'entrenament funcional integrat de core mentre que el GC va realitzar entrenament tradicional de GR. Addicionalment, es va dur a terme un estudi antropomètric abans i després de la intervenció per controlar l'edat madurativa de les gimnastes. Totes les participants i els seus tutors legals van donar el consentiment per participar en cada un dels estudis d'acord amb l'última versió de la declaració de Hèlsinki (2013). Tots els tests i l'entrenament funcional integrat de core es van dur a terme a les instal·lacions d'entrenament de la secció de Gimnàstica del Club Muntanyenc Sant Cugat.

En el primer estudi es van analitzar les adaptacions de les gimnastes en l'estabilitat lumbopelviana una vegada realitzat l'entrenament funcional. Es va aplicar la metodologia de pretest-posttest amb dos tests de control motor lumbopelvià (CMLP) mitjançant un dispositiu de biofeedback per pressió i un test de resistència del core. Els resultats van mostrar que les gimnastes del GE tenen una tendència més gran a la millora respecte el GC en els tests de resistència del core, mentre que només van presentar una lleugera millora en els tests de CMLP, en concret en els moviments d'abducció i rotació dels malucs.

En el segon estudi es va investigar la influència de l'entrenament funcional integrat de core en el control postural de les joves gimnastes. Es va comptar amb la mateixa mostra, divisió de grups i aplicació de l'entrenament que en el primer estudi. Es va realitzar un test d'equilibri unípede (extremitat inferior dreta i esquerra amb ulls oberts i ulls tancats) sobre una plataforma de forces mesurant variables del centre de pressions (CoP), i un altre test amb tres equilibris específics de GR (el *passé* tancat, l'equilibri de cama al costat amb ajuda i l'*arabesque*) també a la plataforma de forces i avaluats per jutgesses expertes en GR. Els resultats van mostrar una millora significativa en el GE respecte del GC en l'equilibri unípede dret i esquerre amb els ulls oberts en la velocitat medi-lateral del CoP, i en l'equilibri *arabesque* en la velocitat medi-lateral i l'àrea total del CoP. La puntuació de les jutgesses va mostrar una millora significativa en l'equilibri de cama al costat amb ajuda. El càlcul de la mida de l'efecte va presentar millors resultats en el GE en la majoria de variables del CoP i les puntuacions, mostrant així que l'entrenament funcional integrat de core ajuda a millorar el control postural i els equilibris específics de GR en joves gimnastes de rítmica.

En el tercer estudi es va analitzar la influència de l'entrenament funcional integrat de core en la força explosiva de les gimnastes. Es va comptar amb la mateixa mostra, divisió de grups

i aplicació de l'entrenament que el primer i segon estudi. Es van aplicar els tests de salt amb contramoviment (CMJ) i salt amb contramoviment d'una sola cama (SLCMJ) sobre una plataforma de forces per avaluar les variables de força explosiva. A més a més, es va realitzar un test amb tres salts específics de GR (tisores, corza des d'*assemblé* i gambada) avaluats per jutgesses expertes en GR i fora de la plataforma per respectar la validesa ecològica de les dades. Després de l'aplicació de vuit setmanes del programa d'entrenament, els resultats van indicar una millora significativa en totes les variables de força explosiva avaluades en els tests de CMJ i SLCMJ en el GE, excepte en la velocitat mitjana del test de CMJ. No es va trobar una millora significativa en la puntuació dels salts específics de GR per part de les jutgesses en el GE respecte el GC, ja que els dos grups van millorar significativament en el posttest, no obstant això, es va observar un efecte més gran de l'entrenament en els salts de la corza i la gambada en el GE en el posttest respecte del GC. Aquests resultats van suggerir que realitzar un entrenament funcional integrat de core augmenta la força explosiva i la capacitat de salt vertical en joves gimnastes de rítmica.

De cada estudi s'ha desenvolupat un article amb els seus resultats, discussions i conclusions específiques que es mostren en la present Tesi Doctoral, els títols dels quals són:

Estudi 1: *Efecte de vuit setmanes d'entrenament funcional de core en l'estabilitat del core de joves gimnastes de rítmica. Assaig clínic aleatoritzat.*

Estudi 2: *Influeixen vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core i pliometria en la millora del rendiment del control postural en joves gimnastes de rítmica?*

Estudi 3: *Efectes d'un programa d'entrenament funcional integrat de core i pliometria en la força explosiva de joves gimnastes de rítmica.*

Com a conclusió, l'entrenament funcional integrat de core va millorar significativament algunes variables de control postural, la puntuació d'equilibris específics de GR i les variables de força explosiva en joves gimnastes de rítmica. A més, proporciona una tendència a la millora en l'estabilitat lumbopelviana i la puntuació de salts específics de GR.

Paraules clau: Entrenament de core, estabilitat lumbopelviana, Control motor lumbopelvià, control postural, equilibri, força explosiva, salt vertical, pliometria, gimnàstica rítmica, joves gimnastes, entrenament de gimnàstica rítmica, rendiment de gimnàstica rítmica.

RESUMEN

La presente tesis doctoral consta de tres estudios diferenciados cuyo objetivo principal es evaluar los efectos de un entrenamiento funcional integrado de la zona centro del cuerpo (core) en la estabilidad lumbopélvica, el control postural y la fuerza explosiva en jóvenes gimnastas de rítmica. El entrenamiento funcional se aplicó durante ocho semanas, éste integra ejercicios de core, pliometría y equilibrio, ejecutados con elementos de equilibrio y salto específicos de gimnasia rítmica (GR). La muestra constó de 44 gimnastas de rítmica de nivel competitivo escolar y federado con edad media de $10,5 \pm 1,8$ años. El grupo se dividió en grupo control (GC) y grupo experimental (GE). El GE realizó el entrenamiento funcional de core mientras que el GC realizó entrenamiento tradicional de GR. Adicionalmente, se llevó a cabo un estudio antropométrico antes y después de la intervención para controlar la edad madurativa de las gimnastas. Todas las participantes y sus tutores legales dieron su consentimiento para participar en cada uno de los estudios de acuerdo con la última versión de la declaración de Helsinki (2013). Todos los test y el entrenamiento funcional integrado de core se llevaron a cabo en las instalaciones de entrenamiento de la sección de Gimnasia del Club Muntanyenc Sant Cugat.

En el primer estudio se analizaron las adaptaciones de las gimnastas en la estabilidad lumbopélvica una vez realizado el entrenamiento funcional. Se aplicó la metodología de pretest-posttest con dos pruebas de control motor lumbopélvico (CMLP) mediante un dispositivo de biofeedback por presión y una prueba de resistencia del core. Los resultados mostraron que las gimnastas del GE tienen una mayor tendencia a la mejora respecto al GC en las pruebas de resistencia del core, mientras que sólo presentaron una ligera mejora en los test de CMLP, en concreto en los movimientos de abducción y rotación de las caderas.

En el segundo estudio se investigó la influencia del entrenamiento funcional integrado de core en el control postural de las jóvenes gimnastas. Se contó con la misma muestra, división de grupos y aplicación del entrenamiento que en el primer estudio. Se realizó una prueba de equilibrio unipodal (extremidad inferior derecha e izquierda con ojos abiertos y ojos cerrados) sobre una plataforma de fuerzas midiendo variables del centro de presiones (CoP), y otro test con tres equilibrios específicos de GR (el *passé* cerrado, el equilibrio de pierna al lado con ayuda y el *arabesque*) también en la plataforma de fuerzas y evaluados por juezas expertas en GR. Los resultados mostraron una mejora significativa en el GE respecto al GC en el equilibrio unipodal derecho e izquierdo con los ojos abiertos en la velocidad medio lateral del CoP, y en el equilibrio *arabesque* en la velocidad medio lateral y el área total del CoP. La puntuación de las juezas mostró una mejora significativa en el equilibrio de pierna al lado con ayuda. El cálculo del tamaño del efecto presentó mejores resultados en el GE en la mayoría de las variables del CoP i las puntuaciones, mostrando así que el entrenamiento funcional integrado de core ayuda a mejorar el control postural y los equilibrios específicos de GR en jóvenes gimnastas de rítmica.

En el tercer estudio se analizó la influencia del entrenamiento funcional integrado de core en la fuerza explosiva de las gimnastas. Se contó con la misma muestra, división de grupos y aplicación del entrenamiento que el primer y segundo estudio. Se aplicaron las pruebas de salto con contra movimiento (CMJ) y salto con contra movimiento de una sola pierna (SLCMJ) sobre una plataforma de fuerzas para evaluar variables de fuerza explosiva. Asimismo, se realizó una prueba con tres saltos específicos de GR (tijeras, corza desde *assemblé* y zancada) evaluados por juezas expertas en GR y fuera de la plataforma para respetar la validez ecológica de los datos. Tras la aplicación de ocho semanas del programa de entrenamiento, los resultados indicaron una mejora significativa en todas las variables de fuerza explosiva evaluadas en las pruebas de CMJ y SLCMJ en el GE, excepto en la velocidad media del test de CMJ. No se encontró una mejora significativa en la puntuación de los saltos específicos de GR por parte de las juezas en el GE respecto al GC, ya que ambos grupos mejoraron significativamente en el posttest, sin embargo, se observó un mayor efecto del entrenamiento en los saltos de la corza y la zancada en el GE en el posttest respecto del GC. Estos resultados sugirieron que realizar un entrenamiento funcional integrado de core aumenta la fuerza explosiva y la capacidad de salto vertical en jóvenes gimnastas de rítmica.

De cada estudio se ha desarrollado un artículo con sus resultados, discusiones y conclusiones específicas que se muestran en la presente Tesis Doctoral, cuyos títulos son:

Estudio 1: *Efecto de ocho semanas de entrenamiento funcional de core en la estabilidad del core de jóvenes gimnastas de rítmica. Ensayo clínico aleatorizado.*

Estudio 2: *¿Influyen ocho semanas de entrenamiento funcional integrado de core y pliometría en la mejora del rendimiento del control postural en jóvenes gimnastas de rítmica?*

Estudio 3: *Efectos de un programa de entrenamiento funcional integrado de core i pliometría en la fuerza explosiva de jóvenes gimnastas de rítmica.*

Como conclusión, el entrenamiento funcional integrado de core mejoró significativamente variables de control postural, puntuación de equilibrios específicos de GR y variables de fuerza explosiva en jóvenes gimnastas de rítmica. Asimismo, proporciona una tendencia a la mejora en la estabilidad lumbopélvica y en la puntuación de saltos específicos de GR.

Palabras clave: Entrenamiento de core, estabilidad lumbopélvica, Control motor lumbopélvico, control postural, equilibrio, fuerza explosiva, salto vertical, pliometría, gimnasia rítmica, jóvenes gimnastas, entrenamiento de gimnasia rítmica, rendimiento de gimnasia rítmica.

ABSTRACT

This doctoral thesis consists of three different studies whose main objective is to evaluate the effects of an integrated functional training of the center of the body (core) on lumbopelvic stability, postural control, and explosive strength in young rhythmic gymnasts. The functional training was applied for eight weeks, it integrates core exercises, plyometrics and balance exercises, executed with specific balance and jumping elements of rhythmic gymnastics (GR). The sample consisted of 44 rhythmic gymnasts at regional and national competitive levels with an average age of 10.5 ± 1.8 years. The group was divided into a control group (GC) and an experimental group (GE). The GE performed the functional core training while the GC performed traditional GR training. Additionally, an anthropometric study was carried out before and after the intervention to control for the age of maturation of the gymnasts. All participants and their legal guardians gave consent to participate in each of the studies in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki (2013). All tests and the integrated core functional training were carried out in the training facilities of the Club Muntanyenc Sant Cugat Gymnastics section.

In the first study, the adaptations of the gymnasts in lumbopelvic stability were analyzed once the functional training had been carried out. The pre-test/post-test methodology was applied with two lumbopelvic motor control (CMLP) tests using a pressure biofeedback device and a core resistance test. The results showed that the GE gymnasts had a greater tendency to improve compared to the GC in the core resistance tests, while they only presented a slight improvement in the CMLP tests, specifically in the hip abduction and rotation movements.

In the second study, the influence of the integrated functional core training on the postural control of young gymnasts was investigated. The same sample, group division and training application were used as in the first study. A single leg balance test (right and left lower limb with eyes open and closed) was performed on a force platform measuring center of pressure (CoP) variables, and another test with three specific GR balances (the *passé*, the side balance with help and the *arabesque*) also on the force platform and evaluated by expert RG judges. The results showed a significant improvement in the GE compared to the GC in the right and left single leg balance with open eyes in the mid-lateral velocity of the CoP, and in the *arabesque* balance in the mid-lateral velocity and total area of the CoP. The judges' scores showed a significant improvement in the side balance with help. Effect size calculation showed better results in GE in most CoP variables and scores, thus showing that integrated functional core training can help to improve postural control and specific GR balances in young rhythmic gymnasts.

The third study analyzed the influence of the integrated functional core training on the explosive strength of gymnasts. The same sample, group division and training application were used as in the first and second study. Countermovement jump (CMJ) and single-leg countermovement jump (SLCMJ) tests were applied on a force platform to evaluate explosive strength variables. In addition, a test was carried out with three specific GR jumps (scissors,

stag jump from *assemblée* and split leap), which were evaluated by expert GR judges, in this case without the force platform to respect the ecological validity of the data. After the eight-week application of the training program, the results indicated a significant improvement in all variables of explosive strength evaluated in the CMJ and SLCMJ tests in the GE, except for the average velocity of the CMJ test. No significant improvement was found in the judges' scores for the specific GR jumps in the GE compared to the GC, since both groups improved significantly in the post-test. However, a larger effect of the training was observed in the results for the stag and split leap in the GE in the post-test with respect to the GC. These results suggested that performing the integrated functional core training increases explosive strength and vertical jump ability in young rhythmic gymnasts.

An article has been developed from each study with its results, discussions and specific conclusions that are shown in this Doctoral Thesis, the titles of which are:

Study 1: *The Effect of Eight-Week Functional Core Training on Core Stability in Young Rhythmic Gymnasts: A Randomized Clinical Trial.*

Study 2: *Does 8 Weeks of Integrated Functional Core and Plyometric Training Improve Postural Control Performance in Young Rhythmic Gymnasts?*

Study 3: *The Effects of an Eight-Week Integrated Functional Core and Plyometric Training Program on Young Rhythmic Gymnasts' Explosive Strength.*

In conclusion, the integrated functional core training significantly improved postural control variables, specific GR balance scores and explosive strength variables in young rhythmic gymnasts. In addition, it provides an improvement tendency in lumbopelvic stability and specific GR jump scores.

Keywords: Core training, lumbopelvic stability, lumbopelvic motor control, postural control, balance, explosive strength, vertical jump, plyometrics, rhythmic gymnastics, young gymnasts, rhythmic gymnastics training, rhythmic gymnastics performance.

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	25
2. MARC TEÒRIC.....	31
2.1. GIMNÀSTICA RÍTMICA	31
2.1.1. Conceptualització	31
2.1.2. Determinants de rendiment	36
2.1.3. Antropometria i edat madurativa	38
2.1.4. Programes d'entrenament.....	41
2.1.5. Avaluació del rendiment.....	49
2.2. ENTRENAMENT DEL CORE	58
2.2.1. Conceptualització	58
2.2.2. Estabilitat del core i lesions	64
2.2.3. Avaluació	66
2.2.4. Programes d'entrenament.....	70
2.2.5. Antecedents dels efectes de l'entrenament del core	77
2.3. CONTROL POSTURAL	78
2.3.1. Conceptualització	78
2.3.2. Ajustos posturals	84
2.3.3. Control postural i edat.....	87
2.3.4. Avaluació	90
2.3.5. Programes d'entrenament.....	95
2.3.6. Antecedents dels efectes de l'entrenament del control postural	98
2.4. FORÇA EXPLOSIVA.....	99
2.4.1. Conceptualització	99
2.4.2. Avaluació	105
2.4.3. Programes d'entrenament.....	108
2.4.4. Entrenament de la força explosiva en joves esportistes	112
2.4.5. Antecedents dels efectes de l'entrenament de la força explosiva	113
2.5. ENTRENAMENT FUNCIONAL.....	116
2.5.1. Entrenament funcional i gimnàstica.....	118
3. JUSTIFICACIÓ DE L'ESTUDI.....	123

4. OBJECTIUS I HIPÒTESIS	127
4.1. OBJECTIUS ESTUDI 1	127
4.2. HIPÒTESIS ESTUDI 1	127
4.3. OBJECTIUS ESTUDI 2	127
4.4. HIPÒTESIS ESTUDI 2	128
4.5. OBJECTIUS ESTUDI 3	128
4.6. HIPÒTESIS ESTUDI 3	128
5. ESTUDI 1	131
5.1. INTRODUCCIÓ.....	131
5.2. MATERIAL I MÈTODES	132
5.2.1. Disseny	132
5.2.2. Participants	132
5.2.3. Procediment	134
5.2.4. Instruments d'avaluació	138
5.2.5. Anàlisi estadística	141
5.3. RESULTATS	142
5.4. DISCUSSIÓ.....	145
5.5. LIMITACIONS I LÍNIES FUTURES.....	148
5.6. CONCLUSIONS	149
6. ESTUDI 2	153
6.1. INTRODUCCIÓ.....	153
6.2. MATERIAL I MÈTODES	155
6.2.1. Disseny	155
6.2.2. Participants	155
6.2.3. Procediment	156
6.2.4. Instruments d'avaluació	159
6.2.5. Anàlisi estadística	161
6.3. RESULTATS	161
6.4. DISCUSSIÓ.....	164
6.5. LIMITACIONS I LÍNIES FUTURES.....	168
6.6. CONCLUSIONS	169

7. ESTUDI 3	173
7.1. INTRODUCCIÓ.....	173
7.2. MATERIAL I MÈTODES	176
7.2.1. Disseny.....	176
7.2.2. Participants.....	176
7.2.3. Procediment	177
7.2.4. Instruments d'avaluació	180
7.2.5. Anàlisi estadística	183
7.3. RESULTATS	184
7.4. DISCUSSIÓ.....	188
7.5. LIMITACIONS I LÍNIES FUTURES.....	193
7.6. CONCLUSIONS	194
8. CONCLUSIONS GENERALS.....	197
8.1. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI 1	197
8.2. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI 2	197
8.3. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI 3	198
9. APLICACIONS PRÀCTIQUES I LÍNIES FUTURES	201
10. REFERÈNCIES.....	205
11. ANNEXOS	243
11.1. CONSENTIMENT INFORMAT	243
11.2. ENTRENAMENT FUNCIONAL INTEGRAT DE CORE	245
11.3. VÍDEO ENTRENAMENT FUNCIONAL INTEGRAT DE CORE.....	255
11.4. PLANIFICACIÓ SETMANAL ENTRENAMENTS.....	256
11.5. PROTOCOL DE TESTS ESTUDI 2.....	257
11.6. CÀLCUL EDAT MADURATIVA DE LES GIMNASTES.....	259
11.7. GALERIA D'IMATGES	260
12. TREBALLS PUBLICATS.....	283

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. <i>Quadre de penalitzacions dels moviments corporals</i>	55
Taula 2. <i>Característiques de les participants (estudi 1)</i>	133
Taula 3. <i>Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core de vuit setmanes (estudi 1)</i>	135
Taula 4. <i>Resultats dels tests d'estabilitat del core</i>	143
Taula 5. <i>Característiques de les participants (estudi 2)</i>	156
Taula 6. <i>Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core i pliometria de vuit setmanes (estudi 2)</i>	157
Taula 7. <i>Característiques de les participants (estudi 3)</i>	177
Taula 8. <i>Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core i pliometria de vuit setmanes (estudi 3)</i>	178

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. <i>Primera selecció espanyola de gimnàstica rítmica de conjunt i individual</i>	33
Figura 2. <i>Conjunt espanyol campió Olímpic als JJOO d'Atlanta 1996</i>	34
Figura 3. <i>Individual i conjunt de gimnàstica rítmica</i>	34
Figura 4. <i>Contingut esquemàtic de la preparació tècnica de gimnàstica rítmica</i>	44
Figura 5. <i>Contingut esquemàtic dels exercicis de mans lliures</i>	45
Figura 6. <i>Exemples d'equilibris de gimnàstica rítmica</i>	46
Figura 7. <i>Fases de la gambada en gimnàstica rítmica</i>	46
Figura 8. <i>Funcionament del judici esportiu en gimnàstica rítmica</i>	50
Figura 9. <i>Exemple de taula de dificultats de salt</i>	53
Figura 10. <i>Exemple de taula de dificultats d'equilibri</i>	54
Figura 11. <i>Equilibri passé tancat</i>	56
Figura 12. <i>Equilibri arabesque</i>	56
Figura 13. <i>Equilibri cama al costat amb ajuda</i>	57
Figura 14. <i>Salt de corza des d'assemblé</i>	57
Figura 15. <i>Salt de tisores</i>	58
Figura 16. <i>Salt de gambada</i>	58
Figura 17. <i>Musculatura lumbopelviana</i>	59
Figura 18. <i>Musculatura del core</i>	59
Figura 19. <i>Els tres subsistemes del sistema d'estabilització de Panjabi</i>	60
Figura 20. <i>Modificació del sistema de classificació muscular del core de Bergmark</i>	64
Figura 21. <i>Estabilitat funcional del core</i>	67
Figura 22. <i>Proposta d'entrenament de core</i>	72
Figura 23. <i>Esquema del sistema de control postural</i>	80
Figura 24. <i>Les cinc vies relacionades amb el control dels moviments coordinats del cos i extremitats</i>	81
Figura 25. <i>Anatomia del sistema vestibular</i>	83
Figura 26. <i>Representació gràfica de l'estratègia de turmell i l'estratègia de maluc</i> ,.....	86
Figura 27. <i>Desviacions del centre de gravetat en un equilibri gimnàstic</i>	87
Figura 28. <i>Alçades del centre de gravetat en un equilibri gimnàstic</i>	87
Figura 29. <i>Esquema de l'evolució de l'organització de les activitats postural-cinètiques durant la vida útil</i>	89

Figura 30. <i>Diferents tipus de bases de sustentació, en funció del tipus de recolzament dels peus</i>	91
Figura 31. <i>Desplaçament del centre de gravetat en funció de la posició corporal</i>	91
Figura 32. <i>Representació gràfica de la relació entre la base de sustentació i el centre de presions</i>	92
Figura 33. <i>Plataforma de forces</i>	93
Figura 34. <i>Test d'equilibri unípede sobre una plataforma de forces</i>	95
Figura 35. <i>Exemples d'entrenament neuromuscular</i>	96
Figura 36. <i>La relació força-temps</i>	102
Figura 37. <i>Corba força-velocitat</i>	102
Figura 38. <i>Corba de potència i relació amb la corba força-velocitat</i>	103
Figura 39. <i>Corba força-temps amb pendent de rati de desenvolupament de força</i>	103
Figura 40. <i>Exemple de corba força-temps</i>	105
Figura 41. <i>Equivalència de canvis en les corbes força-temps i força-velocitat abans i després de l'entrenament</i>	106
Figura 42. <i>Accions de salt amb contramoviment i sense contramoviment</i>	107
Figura 43. <i>Les corbes de temps de potència, força, velocitat i desplaçament durant una prova representativa d'un test de salt amb contramoviment</i>	108
Figura 44. <i>Diagrama de flux dels participants (estudi 1)</i>	133
Figura 45. <i>Exemple d'un exercici de core específic de gimnàstica rítmica sobre una superfície inestable</i>	138
Figura 46. <i>Test de control motor lumbopelvià ASLR</i>	139
Figura 47. <i>Test de control motor lumbopelvià BKFO</i>	140
Figura 48. <i>Test d'inclinació pelviana</i>	141
Figura 49. <i>Resultats de la variabilitat individual en totes les proves d'estabilitat del core</i>	144
Figura 50. <i>Un exemple d'exercici de l'entrenament d'estabilitat del core i pliometria utilitzant una superfície inestable</i>	159
Figura 51. <i>Tests d'equilibris específics de gimnàstica rítmica</i>	160
Figura 52. <i>Resultats dels tests d'equilibri unípede</i>	162
Figura 53. <i>Resultats dels tests d'equilibri específics de gimnàstica rítmica i puntuacions de les jutgesses</i>	163
Figura 54. <i>Diferències estandarditzades de la mida de l'efecte entre els resultats del pretest i el posttest</i>	164
Figura 55. <i>Diagrama de flux dels participants (estudi 3)</i>	176

Figura 56. <i>Test de salt amb contramoviment i salt amb c ontramoviment d'una cama</i>	181
Figura 57. <i>Tests de salts específics de gimnàstica rítmica</i>	183
Figura 58. <i>Resultats del test de salt vertical amb contramoviment</i>	184
Figura 59. <i>Resultats del test de salt amb contramoviment de la cama dreta</i>	185
Figura 60. <i>Resultats del test de salt amb contramoviment de la cama esquerra</i>	186
Figura 61. <i>Resultats de les puntuacions de les jutgesses en els salts específics de gimnàstica rítmica</i>	187
Figura 62. <i>Resultats de la mida de l'efecte en els salts específics de gimnàstica rítmica</i>	187

GLOSSARI

ASRL: Test de control motor lumbopelvià d'extensió de genoll (de les sigles en anglès «*active straight leg raise*»)

AT: Àrea total

BD: Dificultat corporal (de les sigles en anglès «*body difficulty*»)

BKFO: Test de control motor lumbopelvià de rotació interna/externa de maluc (de les sigles en anglès «*bent knee fall out*»)

BoS: Base de sustentació (de les sigles en anglès «*base of support*»)

CEA: Cicle d'estirament-escurçament (de les sigles en castellà «*ciclo estiramiento-acortamiento*»)

Cf-t: Corba força-temps

Cf-v: Corba força-velocitat

CMJ: Salt vertical amb contramoviment (de les sigles en anglès «*counter movement jump*»)

CMLP: Control motor lumboelvià

CoG: Centre de gravetat (de les sigles en anglès «*center of gravity*»)

CoP: Centre de pressions (de les sigles en anglès «*center of pressure*»)

Core: Zona centre del cos, centre de masses del cos (nucli o centre en anglès)

CS: Estabilitat del core (de les sigles en anglès «*core stability*»)

DE: Desviació estàndard

FIG: Federació Internacional de Gimnàstica

GR: Gimnàstica rítmica

IC: Interval de confiança

ICC: Coeficient de correlació interclasse

IQR: Rang Interquartílic

LBP: Dolor en la part lumbar de l'esquena (de les sigles en anglès «*low back pain*»)

LCE: Cama de suport esquerra amb els ulls tancats (de les sigles en anglès «*left closed eyes*»)

LOE: Cama de suport esquerra amb els ulls oberts (de les sigles en anglès «*left open eyes*»)

mmHg: Mil·límetres de mercuri

N: Newtons

- NT:** Entrenament neuromuscular (de les sigles en anglès «*neuromuscular training*»)
- PBU:** Unitat de biofeedback per pressió (de les sigles en anglès «*pressure biofeedback unit*»)
- PHV:** pic de velocitat màxima de creixement (de les sigles en anglès «*peak height velocity*»)
- PT:** Entrenament pliomètric (de les sigles en anglès «*plyometric training*»)
- RCE:** Cama de suport dreta amb els ulls tancats (de les sigles en anglès «*right closed eyes*»)
- REML:** Estimació per màxima versemblança restringida (terme estadístic de les sigles en anglès «*the restricted (or residual, or reduced) maximum likelihood*»)
- RFD:** Rati de desenvolupament de força (de les sigles en anglès «*rate of force development*»)
- ROE:** Cama de suport dreta amb els ulls oberts (de les sigles en anglès «*right open eyes*»)
- SJ:** Salt des de sentadeta (de les sigles en anglès «*squat jump*»)
- SLCMJ:** Salt vertical amb contramoviment des d'una cama (de les sigles en anglès «*single leg counter movement jump*»)
- SLST:** Test d'equilibri unípede (de les sigles en anglès «*single leg standing test*»)
- SNC:** Sistema nerviós central
- SPSS:** Paquet estadístic per ciències socials (de les sigles en anglès «*statistical package for the social sciences*»)
- VM_{AP}:** Velocitat mitja antero-posterior
- VM_{ML}:** Velocitat mitja medi-lateral

INTRODUCCIÓ

1. INTRODUCCIÓ

La present tesi constitueix la culminació del treball de recerca realitzat durant cinc anys acadèmics i professionals vinculats al programa de doctorat en Ciències de l'Educació i l'Esport de la Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i l'Esport (FPCEE) Blanquerna, Universitat Ramon Llull.

Aquest projecte neix de la inquietud d'investigar sobre l'entrenament de la gimnàstica rítmica (GR), esport amb el qual he estat implicada durant molts anys com a gimnasta, entrenadora i professora, en diferents escoles, clubs esportius i universitats. Aquesta experiència m'ha fet veure que la condició física i el control postural són elements clau en el rendiment de les gimnastes, per tant, vaig considerar molt interessant aportar a l'entrenament de GR el coneixement de la meua directora de tesi (Solana-Tramunt et al., 2019) sobre l'estabilitat lumbopelviana i mètodes d'entrenament innovadors de core per esportistes d'alt rendiment. Així mateix, per poder avaluar l'entrenament de gimnàstica vaig considerar rellevant el coneixement de mètodes d'avaluació del control postural i de la força explosiva i el consegüent anàlisi estadístic del meu director de tesi (Morales et al., 2018).

D'aquí va sorgir la idea d'implementar un entrenament funcional de core el qual incloïa exercicis de la zona centre del cos, equilibri inestable i pliometria amb posicions i elements específics de GR. Amb l'aplicació d'aquest entrenament es va voler valorar el seu efecte sobre l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de rítmica.

Fins on sabem, l'entrenament de core ha estat utilitzat en programes de prevenció i rehabilitació de lesions, no obstant els resultats d'aquests estudis no es poden extrapolar al rendiment esportiu (Kibler et al., 2006; Zazulak i Medvecky, 2019). Els professionals de l'activitat física i l'esport reconeixen la utilitat i la importància d'aquests tipus d'entrenament per la millora funcional i el desenvolupament dels esportistes, tot i que són pocs els estudis que han analitzat la relació del desenvolupament del core i la millora del rendiment esportiu (Reed et al., 2012), i en especial, hi ha una manca d'estudis referents a aquest model d'entrenaments i el rendiment en joves gimnastes de rítmica. Per tant, ens preguntem, podem demostrar que un entrenament de core pot ser beneficiós per al rendiment de gimnastes de rítmica?

L'entrenament de core per esportistes té com a objectiu la millora del rendiment mitjançant el desenvolupament de les diferents qualitats dels músculs del tronc, especialment la força, la resistència i l'estabilització de les estructures d'aquesta zona del cos (Vera-García et al., 2015). Segons Kibler et al., (2006) els entrenaments de core haurien de ser funcionals en tots els esports i l'objectiu és que el reclutament muscular requerit esdevingui automàtic i també aconseguir una coordinació adequada d'activació dels segments que formen part de la cadena cinètica en cada esport. Fins on arriba el nostre coneixement, en la majoria de programes d'entrenament de core els exercicis que s'utilitzen no són similars i estan fora de context dels moviments tècnics de cada esport, la qual cosa fa necessària la implementació de programes funcionals per a la

validació de l'entrenament de core per al rendiment esportiu (Lederman, 2010). Per tant, si volem implementar aquest tipus d'entrenament per gimnastes de rítmica és important incloure tècniques i moviments funcionals que després realitzin en els exercicis de competició.

Una part molt important del core és el control neuromuscular. S'han suggerit diversos mètodes d'entrenament per millorar el control neuromuscular, els quals inclouen exercicis d'estabilitat articular (Behm et al., 2002), exercicis de contracció (concèntrica, excèntrica i isomètrica) (M. L. Pollock et al., 1989), entrenament d'equilibri (Cosio-Lima et al., 2003), entrenament propioceptiu (amb perturbacions), exercicis pliomètrics i entrenament d'habilitats esportives específiques. Per tant, es pot pensar que un entrenament funcional de core que integri diversos mètodes d'entrenament com la pliometria o l'entrenament de l'equilibri podria ajudar a millorar el rendiment d'aquesta zona del cos i per tant el rendiment de les gimnastes de rítmica.

La GR requereix un alt percentatge de força (Douda et al., 2008) i en concret, de força explosiva per executar els salts (Laffranchi, 2001). Les gimnastes també necessiten una forta capacitat de control postural per realitzar moltes de les accions competitives, com per exemple, els equilibris (Dobrijević et al., 2016).

Per tots aquests motius, ens ha sorgit la inquietud de dur a terme un entrenament funcional de core que integri exercicis d'estabilitat de core, d'equilibri inestable i de pliometria, per posteriorment avaluar si les gimnastes milloren el seu rendiment, augmentant l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i la força explosiva. Per això, hem realitzat tres estudis diferenciats que segueixen una mateixa línia temàtica, amb els quals hem pretès donar resposta a les preguntes que ens sorgien i als objectius descrits en aquest projecte.

En el primer estudi vam voler avaluar l'efecte d'un entrenament funcional de core en l'estabilitat lumbopelviana en joves gimnastes de rítmica, ja que sembla ser que un augment de l'estabilitat lumbopelviana podria ajudar a millorar el rendiment en GR. Es va mesurar el control motor lumbopelvià i la resistència del core abans i després de vuit setmanes d'entrenament.

En segon lloc, a través del segon estudi, vàrem voler conèixer com influïa un entrenament funcional integrat de core i pliometria en el control postural de joves gimnastes de rítmica avaluant l'equilibri estàtic i equilibris específics de GR.

Per últim, al tercer estudi, vàrem avaluar l'entrenament funcional integrat de core i pliometria en la força explosiva de les gimnastes de rítmica mitjançant tests genèrics de força explosiva i salts específics de GR.

Per dur a terme els tres estudis vam comptar amb una mostra de joves gimnastes de rítmica de competició d'entre vuit i quinze anys. Disposar de gimnastes d'aquestes edats és important, ja que, se sap que la selecció de les gimnastes es fa en edats molt primerenques i es realitzen entrenaments intensius durant la infància i l'adolescència (Miletić, Katić, et al., 2004).

Per mesurar les diferents variables descrites en aquesta tesi hem utilitzat instruments vàlids i fiables entre els quals destaquem la plataforma de forces per l'avaluació del control postural a través del test de suport sobre una cama (Briggs et al., 1989; Zumbrunn et al., 2011), una de les proves més utilitzades per mesurar el control postural. Amb la plataforma de forces també

s'han avaluat tests d'equilibris específics de GR, així com tests de salt amb contramoviment des d'una i dues cames (McMaster et al., 2014; Stephens et al., 2007), també una de les proves més utilitzades per avaluar la força explosiva de les extremitats inferiors. Per mesurar l'estabilitat del core hem emprat la unitat de *biofeedback* per pressió (Liebenson et al., 2009; Zazulak i Medvecky, 2019), així com un test de resistència del core (McGill et al., 1999). I per últim, per avaluar els equilibris i els salts específics des d'una perspectiva tècnica i específica de la GR, s'ha comptat amb la puntuació de jutgesses expertes en GR.

Els tres estudis tenen una vinculació entre ells i tenen la finalitat de donar resposta als objectius proposats. S'han publicat dos dels tres estudis d'aquesta tesi:

1r Estudi:

«The Effect of Eight-Week Functional Core Training on Core Stability in Young Rhythmic Gymnasts: A Randomized Clinical Trial»

Publicat el 16 de març del 2022 a la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health* (MPDI)

2n Estudi:

«Does 8 Weeks of Integrated Functional Core and Plyometric Training Improve Postural Control Performance in Young Rhythmic Gymnasts?»

Publicat el 23 de juliol del 2022 a la revista *Motor Control – Human Kinetics Journal*

3r estudi:

«The Effects of an Eight-Week Integrated Functional Core and Plyometric Training Program on Young Rhythmic Gymnasts' Explosive Strength.»

Publicat el 6 de gener del 2023 a la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health* (MPDI).

Aquesta tesi ha estat presentada segons la normativa acadèmica del programa de doctorat en Ciències de l'Educació i l'Esport de la FPCEE Blanquerna, Universitat Ramon Llull. El document s'ha dividit en set parts: **introducció**, on s'ha presentat, contextualitzat i justificat l'estudi; **marc teòric**, on s'ha fet una aproximació conceptual i s'ha detallat l'estat de la qüestió; **justificació de la unitat temàtica**, en la que s'expliquen les inquietuds sorgides una vegada fet l'anàlisi de la bibliografia existent; **objectius i hipòtesis**; i els **tres estudis diferenciats** amb el seu marc teòric, metodologia, anàlisi estadístic, resultats, discussió, limitacions i línies futures, i conclusions. A continuació trobarem les **conclusions generals** de la tesi, on es confirmen o refuten les hipòtesis plantejades. Després s'exposen les aplicacions pràctiques i línies futures d'aquest estudi, i per últim, les **referències bibliogràfiques**. També comptem amb un apartat addicional on es troben els **annexos** (documents utilitzats a la tesi).

MARC TEÒRIC

2. MARC TEÒRIC

Aquest apartat té com a objectiu exposar l'estat actual dels coneixements sobre la gimnàstica rítmica, l'entrenament del core, el control postural i la força explosiva relacionats amb aquest estudi. Posteriorment es justificarà el mètode i els instruments d'avaluació utilitzats en aquesta investigació. Per últim es plantejaran carències de coneixement en els diferents blocs del marc teòric que justificaran l'elaboració d'aquesta tesi.

2.1. GIMNÀSTICA RÍTMICA

2.1.1. Conceptualització

La gimnàstica rítmica (GR) és un esport Olímpic i una modalitat gimnàstica pertanyent a la Federació Internacional de Gimnàstica (FIG) que ha evolucionat molt ràpidament al llarg del temps des de la seva aparició (Pagola Aldazabal, 2010).

A títol d'exemple, es poden observar algunes definicions de GR al llarg de la història:

Per Hanebuth (1968) «la Gimnasia Rítmica es la enseñanza y la formación del movimiento orgánico del hombre con o sin aparatos».

Per Bodo-Schimd (1985) «La Gimnasia Rítmica es un deporte femenino estimulante y apasionante que cada vez adquiere más popularidad, tanto entre los jóvenes espectadores como entre las practicantes. Permite ejercitar todo el cuerpo, desarrollar la gracia y belleza en los movimientos, creatividad y expresión personal. Enseña a apreciar una forma artística del movimiento del cuerpo y proporciona placer y satisfacción estética».

Per Mendizábal i Mendizábal (1985, p. 1) «la Gimnasia Rítmica es la máxima expresión armónica corporal, la quinta esencia del ritmo bajo inspiración deportiva, el fulgor del espíritu y la belleza del cuerpo en movimiento».

Per Fernández del Valle (1996), «La Gimnasia Rítmica requiere por excelencia habilidad, ritmo, precisión y fluidez; es una técnica».

Per Martínez i Díaz (2008) «Una actividad que gira en torno a la creación y contemplación de los ejercicios gimnásticos que funcionan a modo de objeto artístico y objeto estético. Objeto artístico por ser centro de composición, ordenación, estructura y codificación elaborada por entrenadoras y gimnastas durante el proceso creativo, y como objeto estético al ser aprendido y reconstruido ese objeto artístico en el subproceso perceptivo por parte de espectadores y jueces.»

La definició que s'ha trobat a l'Enciclopèdia de l'esport Català (*Enciclopedia de l'esport català*, 2014) és la següent: «Modalitat de gimnàstica femenina de competició que consisteix en l'execució d'una coreografia, acompanyada de música, que combina elements de gimnàstica, ballet i dansa amb diferents aparells manuals».

El principal objectiu esportiu de la GR és reproduir formes de moviment corporal i amb els aparells en el temps i en l'espai, sobre la base d'un model esportiu reglamentat (Bobo-Arce, 2002). Es diferencia de les altres modalitats gimnàstiques en què tots els exercicis es realitzen a terra, sempre amb acompanyament musical i utilitzant aparells manuals propis: la corda, el cèrcol, la pilota, les maces i la cinta (Bobo-Arce, 2002). La GR contempla la modalitat individual (una sola gimnasta) i la de conjunt (un grup format per 5 gimnastes) (International Gymnastics Federation (F.I.G), 2021).

L'existència del fenomen competitiu a la GR actual té les seves arrels en els esdeveniments esportius gimnàstics que s'han succeït en els últims 60 anys (Bobo-Arce, 2002). No obstant, els seus antecedents se situen en el model de moviment natural dels sistemes rítmics de finals de s. XVIII i principis del s. XIX, amb influències de Heinrich Pestalozzi, inspirat amb les teories educatives i naturals de Grècia, François Delsarte, amb la creació de gestos corporals que expressaven diversos estats de l'esperit, Jacques Dalcroze, amb la creació de l'Eurítmia, Isadora Duncan, revolucionària defensora de la dansa lliure amb exercicis gimnàstics, i de manera particular, el creador de la «Gimnàstica Moderna» Rudolf Bode (Canalda, 1998). No va ser fins al 1950 que es va començar a normativitzar i institucionalitzar com a esport de competició, pel que sol considerar-se un esport relativament jove si parlem de competició (Bobo-Arce, 2002).

Va rebre el qualificatiu d'esport modern per indicar que, tot i que inventat, desenvolupat i adaptat a partir de fonts diverses, era nou i tenia les seves pròpies característiques (Bobo-Arce, 2002). El 1962, durant el 41é Congrés de la FIG celebrat a Praga, es crea com a modalitat esportiva independent, i és a l'any següent quan se celebra el primer Campionat del Món, a Budapest, encara que llavors sota el nom de Gimnàstica Moderna i utilitzant com a sistema de puntuació les regles de la gimnàstica tradicional (Canalda, 1998). El primer codi de puntuació no apareix fins a 1970 i és al 1972 quan l'esport pateix un canvi de denominació passant a conèixer-se com Gimnàstica Rítmica Moderna (Canalda, 1998). Amb la celebració bianual de campionats mundials aquesta disciplina esportiva va anar adquirint forma i especificitat. El 1975, any en què se celebra el 7é Campionat del Món, i primera participació Espanyola en la modalitat de conjunts (Figura 1), es produeix de nou un canvi en la seva denominació establint-se el de Gimnàstica Rítmica Esportiva (Canalda, 1998), modificat recentment a simplement Gimnàstica Rítmica. El 1978 apareixen dues noves competicions d'àmbit internacional, els campionats d'Europa i el dels Quatre Continents, el que propícia, entre altres esdeveniments, que el 1982 apareguin la Unió Europea i la Unió Americana de Gimnàstica (Canalda, 1998). Un any més tard es celebra una nova competició, la primera Copa del Món de GR, a Belgrad (Bobo-Arce, 2002).

Figura 1. *Primera selecció espanyola de gimnàstica rítmica de conjunt i individual*



Nota. Imatge extreta d'Otero (2015).

El reconeixement de la GR com a esport olímpic l'any 1984, significa maduresa i plenitud esportiva, i constitueix l'inici d'una etapa de consolidació mundial (Canalda, 1998). Els tres primers JJOO només inclouen la modalitat individual, i va ser als JJOO d'Atlanta 1996 que es va incloure la modalitat de conjunts, on l'equip Espanyol va proclamar-se campió olímpic (Canalda, 1998), i es coneixen fins a dia d'avui com «las niñas de oro» (Figura 2). L'any 2000 va marcar la cinquena olimpíada per a la GR, el que significa setze anys com a esport olímpic, potser el temps suficient per no considerar-la un esport tan jove i per aventurar l'inici d'una nova etapa de professionalització (Bobo-Arce, 2002).

Figura 2. *Conjunt espanyol campió Olímpic als JJOO d'Atlanta 1996*



Nota. Imatge extreta de rtve (2021).

Actualment en GR de competició, trobem exercicis individuals (Figura 3) d'una durada d'entre 1'15» i 1'30», així com exercicis en la modalitat de conjunts (Figura 3), amb una durada d'entre 2'15» i 2'30» (Lisitskaya, 1995). En els primers campionats del món els exercicis individuals comprenien exercicis de mans lliures i exercicis amb aparells (Bodo-Schmid, 1985). En l'actualitat els exercicis de mans lliures s'han relegat a la iniciació de la GR i competicions de base, en les competicions internacionals es realitzen els exercicis amb cèrcol, pilota, maces i cinta en la categoria sènior, i en la categoria júnior, és realitzen el exercicis amb la corda, el cèrcol i la pilota, i depenent de l'any es completa el programa, amb les maces o la cinta (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). Inicialment els conjunts és realitzaven amb sis gimnastes i un sol exercici o coreografia amb una durada de 2'30» a 3' (Lisitskaya, 1995) i actualment són cinc gimnastes executant dos exercicis, un d'ells amb cinc aparells iguals i un altre exercici mixt, compost per dos aparells diferents, que variarà depenent del programa marcat per la Federació Internacional de Gimnàstica (International Gymnastics Federation, 2021).

Figura 3. *Individual i conjunt de gimnàstica rítmica*



Nota. Gimnasta individual de GR (imatge esquerra) i Conjunt de GR (imatge dreta). Imatges extretes de la FIG (2021).

Bobo-Arce (2002), presenta les principals característiques de la GR com a esport de competició:

- GR- Institucionalització: Amb més de cent anys d'història, la Federació Internacional de Gimnàstica (FIG) és l'organisme responsable de la direcció, desenvolupament i organització de la competició mundial. Amb una forta estructura organitzativa, i amb un conjunt d'òrgans estables, la FIG descentralitza el seu poder a la Unió Europea de Gimnàstica i a la Unió Americana de Gimnàstica. Íntimament vinculades a aquests organismes, hi ha federacions d'àmbit nacional i autonòmic.
- GR- Competició: En les seves dues modalitats, individual i conjunt, està present en els Jocs Olímpics des de 1984 i 1996, respectivament. La GR té competició d'índole mundial, continental, nacional, autonòmica i provincial.
- GR- Regles: Posseeix un marc normatiu propi en el qual es recullen, entre altres, el reglament tècnic, o conjunt de regles i normes pels quals es regeix la competició, i el codi de puntuació, o instrument de valoració que fan servir les jutges en la competició (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). Canvia cada cicle olímpic, l'últim cicle es va allargar un any més (JJOO Tokio 2021), a causa de la pandèmia mundial de la covid-19, aspecte que ha comportat que s'apliqui el nou codi a partir de l'any 2022 (International Gymnastics Federation, 2021).
- GR-Rècord: La recerca de la superació en el rendiment és una constant en la GR. Després dels Jocs Olímpics de Sydney 2000, Rússia va iniciar una etapa d'hegemonia mundial sense precedents, acaparant títols i medalles de forma contínua. Aquesta tendència ha canviat en els últims JJOO de Tokio 2021 amb la proclamació de la selecció Búlgara com a campiona Olímpica en la modalitat de conjunts, i la gimnasta Israelita, Linoy Ashram, en la categoria individual (Comité Olímpico Internacional, 2021).
- GR-Espectacle: Les coreografies de GR, per la seva varietat i originalitat, s'han de presentar com un magnífic «espectacle d'art» per al públic i aquest sigui vist com un desafiament en l'alt rendiment (Leandro et al., 2017).

La GR de competició s'organitza en diferents nivells i categories:

- Nivell de competició internacional: Participació de seleccions nacionals dels diferents països en campionats del Món, d'Europa i copes del Món, organitzades per la FIG i JJOO d'estiu organitzats per el Comitè Olímpic Internacional (Comité Olímpico Internacional, 2021; International Gymnastics Federation, 2021).
- Nivell de competició nacional: Participació autonòmica de clubs i seleccions autonòmiques en campionats d'Espanya i copes d'Espanya organitzades per la Reial Federació Espanyola de Gimnàstica (Real Federación Española de Gimnasia, 2021).
- Nivell de competició autonòmic (comunitat autònoma de Catalunya): Participació de clubs als campionats de Catalunya o Copes Catalanes organitzades per la Federació Catalana de Gimnàstica (Federació Catalana de Gimnàstica, 2015).

- Nivell de competició regional, comarcal i provincial (Comunitat autònoma de Catalunya): Participació de clubs i escoles a competicions escolars realitzades a diferents punts de Catalunya, organitzades per la Federació Catalana de Gimnàstica o la Unió de Consells Esportius Escolars (Federació Catalana de Gimnàstica, 2015; Unió de Consells esportius de Catalunya, 2021).

La GR ha estat tradicionalment una disciplina esportiva practicada per dones, no obstant això, algunes federacions de certs països, com Espanya, van iniciar fa alguns anys l'organització de competicions de gimnàstica rítmica masculina (Cambiella Pereira i Martínez Gorroño, 2020).

Després de fer un repàs a la història i els aspectes bàsics de la GR, a continuació procedim a analitzar quins són els determinants del rendiment en la GR de competició segons la bibliografia relacionada.

2.1.2. Determinants de rendiment

Segons la revisió de Bobo-Arce i Méndez-Rial (2013) sobre estudis realitzats en GR hi ha sis dimensions que estudien i defineixen el rendiment en GR de competició:

1. Aspectes tècnics: Aparells manuals, anàlisi cinemàtic, habilitats i capacitats motores i elements tècnics.
2. Factors psicològics: Dimensions psicològiques en l'alt rendiment, anàlisi del comportament, trets personals i altres factors
3. Procés d'entrenament: Aprenentatge, entrenament, interacció entre l'entrenament i el rendiment.
4. Condició física i biològica: valors antropomètrics, condicions físiques, paràmetres fisiològics i dimensions psicomotors.
5. Anàlisi del rendiment: paràmetres estètics, coreografia, exercici, predictors i resultats del rendiment i èxit.
6. Altres factors: bellesa, informàtica, context, estudis descriptius, procés de les jutges, supervisió mèdica i promoció de la salut, identificació de talents i altres.

En aquesta tesi ens centrarem en les dimensions d'aspectes tècnics, procés d'entrenament, condició física i biològica i anàlisi del rendiment.

Són diversos els autors que investiguen quins són els determinants de rendiment i què s'ha de tenir en compte a l'hora de buscar futurs talents de la GR. Segons Donti et al. (2016) la condició física té una gran influència sobre l'execució tècnica en gimnastes de nivell inicial. Una flexibilitat apropiada en termes de mobilitat articular i una regulació adequada del to muscular son precondicions per tenir èxit en un nivell inicial de GR, ja que és la base per facilitar el rendiment de la força explosiva de tot el cos, així com la velocitat en termes de freqüència de moviment (Miletic, Katic, et al., 2004). En la mateixa línia, Douda et al. (2008) indiquen que la GR

requereix nivells elevats de flexibilitat i força, així com una alta capacitat aeròbica. Per confirmar la importància de la flexibilitat, l'estudi de Di Cagno et al. (2008) assenyala que la rigidesa de les cames afecta negativament a l'execució dels salts de GR. Per tant, la flexibilitat combinada amb la força millorarà el rendiment de GR (Douda et al., 2002), i influirà en l'execució dels tres grans grups d'elements corporals marcats per el codi de puntuació; equilibris, girs i salts (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). A més, per realitzar un salt com podria ser la gambada, la gimnasta necessita certa quantitat de força i al mateix temps resistència muscular i capacitat aeròbica (Douda et al., 2008) per poder repetir aquests tipus de moviments, durant les hores d'entrenament; donat que els entrenaments a nivell de competició acostumen a ser de més de dues hores seguides. A més, els exercicis de flexibilitat extrema es requereixen per executar certs moviments de GR (Zetaruk et al., 2006).

Altres factors que influeixen en una millor execució dels exercicis de GR a banda de la flexibilitat, la força i la capacitat aeròbica són: les característiques antropomètriques, les dimensions corporals i el metabolisme anaeròbic (Douda et al., 2008). A l'estudi de Miletić et al. (2004) es destaca que per aconseguir que els moviments siguin elegants i harmoniosos aquests haurien d'estar anivellats en termes de força, velocitat, amplitud i to muscular. Laffranchi (2001) indica que per la preparació física de la GR les principals habilitats físiques a treballar són flexibilitat, força, coordinació, equilibri, ritme, resistència i agilitat. Un altre estudi amb gimnastes de rítmica exposa que els factors que més s'associen amb el rendiment són l'edat, la massa corporal magra, la flexibilitat, la potencia de cames i la competència visual motora (Hume et al., 1993).

La GR, també inclou el treball amb els aparells manuals (tal i com hem dit anteriorment, corda, cèrcol, pilota, maces i cinta) i per tant, també és requereix una alta capacitat de coordinació per poder executar la tècnica d'aparell juntament amb el treball corporal (Kioumourtzoglou et al., 1997). Un estudi més recent exposa que les gimnastes de rítmica han de tenir força física, flexibilitat, agilitat, coordinació, equilibri i elegància, així com un funcionament òptim del sistema neuromuscular (Gaigole et al., 2016).

Per altra banda, la GR ha estat en el punt de mira respecte als seus efectes sobre la salut i les lesions. Els resultats d'un article de revisió suggereixen que la GR produeix efectes positius sobre la salut en quant a la condició física (Mariño, 2018). La GR és un esport, on les seves coreografies de competició són predominantment anaeròbiques: exercicis de curta durada amb components tant dinàmics i explosius, com estàtics, igual que passa amb les ballarines de ballet clàssic (Mariño, 2018). No obstant això, a causa del volum d'entrenament, és molt important tenir una bona capacitat aeròbica per poder suportar-ho (Mariño, 2018). També es coneix que en la modalitat de GR, el major guany en flexibilitat és a nivell lumbar, la gestualitat d'aquest esport presenta arquejos repetitius i hiperextensions d'esquena (Mariño, 2018). És per això que per evitar lesions a aquesta zona, com la lumbàlgia, hi ha d'haver una simbiosi entre flexibilitat i força. I és que la zona lumbar és la zona predominant de lesions en aquest esport (Hutchinson, 1999; Montosa et al., 2015). En canvi, altres estudis avalen que el nombre més gran de lesions a GR es produeixen al membre inferior, degut als salts i girs, augmentant el risc d'esquinços de turmell (Cupisti et al., 2007). Tot i així, la GR es considera

un esport de baix risc de lesions comparant la quantitat de lesions reportades en relació a la gran quantitat d'hores d'entrenament (Cupisti et al., 2007).

En l'entrenament específic proposat en aquesta Tesi es treballa la força explosiva, la força de resistència, la coordinació neuromuscular, s'inclouen exercicis d'equilibri, elements específics de GR que contenen flexibilitat, i es treballa la preparació física específica i general, que tal i com hem vist, son factors determinants en el rendiment de la GR.

En les sis dimensions que afecten al rendiment de GR (Bobo-Arce i Méndez-Rial, 2013) s'ha observat que l'antropometria i la maduració poden influir en el rendiment de les gimnastes, ho analitzem en el següent punt.

2.1.3. Antropometria i edat madurativa

La maduració biològica s'associa amb canvis significatius en diversos processos fisiològics i estructurals al llarg de la infància i, en particular, de l'adolescència (Lloyd et al., 2014). Un creixement ràpid i desajustat dels ossos més llargs en relació amb l'allargament muscular pot alterar l'estructura, la funció neuromuscular i el rendiment físic (Lloyd et al., 2014). Els professionals que treballen amb joves en edat escolar han de ser conscients dels canvis relacionats amb l'edat que es produeixen durant el desenvolupament d'un nen, per garantir que la seva programació de força i condicionament sigui el més segura i eficaç possible per millorar el rendiment i reduir el risc de lesions (Lloyd et al., 2014).

L'edat cronològica, que es calcula com a un punt de temps únic des de la data de naixement, s'ha utilitzat tradicionalment en els esports per agrupar equips per categoria i edat, identificar esportistes amb talent i establir límits per a la prescripció d'exercici (Lloyd et al., 2014). No obstant això, la literatura ha demostrat clarament que els individus de la mateixa edat cronològica poden diferir notablement pel que fa a la maduresa biològica (Baxter-Jones et al., 2005; Rowland, 2005). La maduració biològica es refereix al progrés cap a un estat madur i varia en temps i ritme i entre els diferents sistemes corporals (Beunen i Malina, 2008). Existeix una variació interindividual significativa per al nivell (magnitud del canvi), el moment (inici del canvi) i el tempo (taxa de canvi) de la maduració biològica (Lloyd et al., 2014). Depenent d'aquestes variables, els nens seran vistos com a biològicament avançats a la seva edat cronològica (individu de maduració primerenca), «puntuals» amb la seva edat cronològica (madurador mitjà) o per darrere de la seva edat cronològica (individu de maduració tardana) (Malina et al., 2004).

Els investigadors i clínics pediàtrics han assenyalat la importància de considerar la maduració biològica per desenvolupar programes d'entrenament adequats per optimitzar l'adaptació a l'entrenament i minimitzar el risc de lesions relacionades amb l'activitat (Lloyd i Oliver, 2012). En combinació amb l'edat d'entrenament, que es defineix com el nombre d'anys que un atleta ha estat participant en entrenaments formalitzats (Lloyd i Oliver, 2012), es recomana un seguiment regular de la maduresa biològica per permetre dissenyar la prescripció d'entrenament amb una valoració de processos fisiològics que tenen lloc com a resultat de la maduració (Lloyd i Oliver, 2012). És important apreciar i comprendre la maduració biològica en els joves per poder distingir, si és la maduració o bé l'exposició a un entrenament regular d'exercici, la responsable dels canvis observats en el rendiment físic i el risc de lesions (Lloyd et al., 2014).

S'han descrit nombrosos mètodes a la literatura per calcular l'edat madurativa de joves esportistes, i es classifiquen habitualment en indicadors de maduresa esquelètica, sexual o somàtica (Baxter-Jones et al., 2005):

- L'edat esquelètica o «edat òssia» es refereix al grau de maduració biològica segons el desenvolupament del teixit esquelètic (Malina et al., 2004). Cal tenir en compte que radiògrafs especialitzats haurien de realitzar aquest mètode d'avaluació i, en la majoria dels casos, només s'espera que personal mèdic qualificat analitzi les radiografies (Lloyd et al., 2014). Amb l'ús de rajos-x o radiografies, i la comprensió del procés de desenvolupament des de l'ossificació primerenca fins al teixit esquelètic completament madur, la verificació de l'edat esquelètica és el mètode més fiable d'avaluació de la maduració biològica. En conseqüència, existeixen diversos mètodes d'avaluació que es basen en l'ús de fer coincidir una radiografia mà-canell esquerra amb un conjunt de criteris de referència predeterminats (Malina, 2011).
- L'edat sexual es refereix al grau de maduració biològica cap a una capacitat reproductiva totalment funcional (Malina et al., 2004). Cal subratllar que només els metges capacitats estan qualificats per avaluar la maduració sexual i, en tot moment, s'ha de completar amb el consentiment dels pares i dels fills, respectivament. Tradicionalment, la maduració sexual s'ha avaluat mitjançant observacions de característiques sexuals secundàries (desenvolupament de les mames, genitals i pèl púbic), que després es comparen amb 5 «etapes» de referència diferents, conegudes com *Tanner stages*; TS1, TS2, TS3, TS4 i TS5 (Tanner, 1962). En concret, l'observació de les característiques femenines s'inclouria l'edat de la menarquia (Malina et al., 2004) i el desenvolupament del pèl mamari i púbic (Tanner, 1962).
- L'edat somàtica es refereix al grau de creixement de l'estatura general o de les dimensions específiques del cos (Lloyd et al., 2014). Les mesures comunes del creixement somàtic inclouen avaluacions de les corbes de creixement longitudinal, predicció de l'edat del pic de velocitat màxima de creixement (PHV) i l'ús de percentatges i prediccions de la talla adulta (Malina et al., 2004). La investigació demostra que el PHV sol produir-se aproximadament als 12 anys en les dones i als 14 anys en els homes (Malina et al., 2004). Els joves de maduresa primerenca presenten PHV aproximadament un any (o més) abans de l'edat mitjana del PHV, els joves de maduresa mitjana tenen una edat mitjana al PHV, mentre que els joves de maduració tardana tenen una edat del PHV que és almenys un any més tard que l'edat mitjana del PHV (Baxter-Jones et al., 2005). En situacions en què no és possible el seguiment longitudinal de l'estatura i la massa corporal (per exemple, l'anàlisi transversal o un bloc d'entrenament a curt termini), es pot calcular l'edat a partir del PHV mitjançant les equacions proposades per Mirwald et al. (2002). Es reconeix que existeixen taxes de creixement diferencials entre les cames i el tronc, i els ossos llargs de les cames experimenten un creixement màxim per davant dels ossos més curts del tronc. Mirwald et al. (2002) van crear les equacions predictives per incorporar aquest patró de creixement per estimar anys des del PHV fins a un error estàndard d'aproximadament sis mesos. Bàsicament, les equacions requereixen recopilar l'edat cronològica (anys i mesos), la massa corporal,

l'alçada de peu i l'alçada asseguda, que es poden utilitzar per determinar anys des del PHV d'un home o d'una dona a qualsevol punt determinat en el temps amb dues equacions diferents (Mirwald et al., 2002).

Al realitzar l'estudi amb joves gimnastes, haurem de tenir en compte la maduració de les mateixes. La GR requereix un entrenament intensiu de les gimnastes en períodes d'infància i adolescència (Miletić, Katić, et al., 2004; Rutkauskaitė i Skarbalius, 2009). Com hem comentat, per estudiar els efectes d'un entrenament esportiu, hauríem de saber quin percentatge de la millora es degut a canvis en el creixement i la maduració dels infants i adolescents, i quin percentatge reflecteix les adaptacions de l'entrenament (Georgopoulos et al., 1999). Un estudi amb gimnastes de rítmica i noies de la mateixa edat que no realitzaven GR, va mostrar que el creixement en noies no esportistes arribava al seu final cap als quinze anys mentre que per les gimnastes de rítmica el creixement continuava fins els divuit anys d'edat, per tant, es suggereix que la GR ofereix avantatges a les noies amb maduració tardana (Georgopoulos et al., 2001). Un estudi recent realitzat amb gimnastes de rítmica Brasileres indica un retard en el desenvolupament puberal en tots els nivells de competició de GR i les gimnastes d'elit encara presenten un desenvolupament puberal més lent (Batista et al., 2019). D'acord amb Georgopoulos et al. (2001), qualsevol valoració de la maduració sexual ha de considerar els indicadors biològics de l'edat òssia i el PHV. Batista et al. (2019) van concloure que un estat premenarcal i una edat més elevada del PHV contribueixen al rendiment en GR. En el cas d'un estudi de cent-vint-i-sis gimnastes de rítmica d'entre nou i quinze anys, de nivell nacional i internacional, després de comparar la seva maduració amb les puntuacions de les competicions, es suggereix que una maduració més lenta pot contribuir positivament al rendiment en GR (Purenović-Ivanović et al., 2017). En un altre estudi que incloïa dues-centes dues gimnastes de rítmica es reportava que el període més sensible per desenvolupar les habilitats motores (coordinació, agilitat, força explosiva i equilibri) era entre els sis i els onze anys (Dobrijević et al., 2014). Això comporta que la GR sigui un esport que requereix una selecció precoç d'esportistes i un entrenament intensiu en la infància i l'adolescència (Miletić, Katić, et al., 2004; Rutkauskaitė i Skarbalius, 2009).

Per altra banda, les característiques morfològiques i fisiològiques en l'esport contemporani (Claessens et al., 1999) influeixen tant en l'èxit esportiu (Sedeaud et al., 2014) com en la identificació de talents (Blaine et al., 1987). Les característiques antropomètriques particularment afecten als esports estètics i la dansa (Lukić, 2020). Dins el grup dels anomenats esports estètics femenins, els esports més exigents són: gimnàstica artística, GR i patinatge artístic (Misigoj-Durakovic, 2012).

En el rendiment de GR, l'aparença i els estàndards estètics corporals comporten una millor execució dels moviments gimnàstics i probablement seran més agradables per les jutgesses (Douda et al., 2008). Les gimnastes d'alt nivell acostumen a caracteritzar-se per tenir un somatotip ectomorf i baix percentatge de massa grassa (Douda et al., 2008; Irurtia et al., 2009; Miletić, Katić, et al., 2004). Actualment les gimnastes tenen més percentatge de massa muscular a causa de la quantitat d'elements i a la velocitat que els han d'executar (Ávila-Carvalho et al., 2012). Gran part de l'èxit competitiu està associat a gimnastes amb baix percentatge de massa grassa (Georgopoulos et al., 1999; Klentrou i Plyley, 2003). En una altre recerca amb

gimnastes de rítmica principiants (Šebić-Zuhrić et al., 2008) es va confirmar que la massa grassa i el teixit adipós subcutani tenen un alt impacte negatiu en l'aprenentatge i el domini dels elements corporals bàsics. En un revisió recent sobre antropometria i GR es conclou que és molt important tenir en compte la connexió entre característiques antropomètriques amb habilitats funcionals i habilitats motores a l'hora de seleccionar i formar joves gimnastes (Lukić, 2020). A més d'ajudar en el procés d'identificació de talents, les característiques antropomètriques poden servir de pautes per programar l'entrenament, així com planificar la dieta per a les gimnastes de més alt rendiment (Lukić, 2020).

Un cop revisats i resumits els determinants de rendiment, l'influència de l'edat madurativa i les característiques antropomètriques en GR, ens endinsem en els mètodes i programes d'entrenament que s'utilitzen a la GR.

2.1.4. Programes d'entrenament

Els programes d'entrenament per a joves esportistes haurien de contenir una primera fase de desenvolupament bilateral on desenvolupin habilitats fonamentals (com córrer, saltar, llançar, recepcionar, girar i equilibrar), per tal de tenir èxit tant en esports individuals com d'equip (Bompa, 2005). L'especialització en GR s'ha de donar en edats primerenques, ja que requereix perfecció en els moviments, un desenvolupament de les habilitats motores complexes i un alt grau de flexibilitat (Bompa, 2005). Tot i això, l'especialització només s'hauria de produir un cop els esportistes siguin capaços de suportar de manera eficient un entrenament d'alta intensitat (Bompa, 2005). És important també, contemplar la varietat en l'entrenament, la inclusió d'exercicis diversos i una gran varietat de tècniques en el programa d'entrenament en totes les etapes del procés de desenvolupament, no només ajuda a l'esportista a adquirir noves capacitats, sinó que també ajuda a prevenir lesions i evita l'avorriment (Bompa, 2005). Un pla d'entrenament ben dissenyat per les primeres etapes basat en principis sòlids de desenvolupament a llarg termini, conduirà a l'alt rendiment (Bompa, 2005).

Els objectius d'entrenament de gimnastes d'alt rendiment estan directament relacionats amb les capacitats de les gimnastes, el seu nivell de preparació i l'estructura d'entrenament de cada país (Mata Saumell, 1999). D'acord amb Canalda (1998), parlar dels fonaments de l'entrenament de GR, obliga a parlar de l'antiga Unió Soviètica, bressol d'aquesta modalitat esportiva. La seva manera de treballar fonamentada especialment en el treball de dansa clàssica, ha demostrat al llarg dels anys, la consecució d'una depurada preparació corporal de les seves gimnastes. Els objectius generals de la preparació esportiva de la GR segons el programa olímpic de les escoles esportives de l'antiga Unió Soviètica (1991) citat a la tesi doctoral de Mata Saumell (1999), són els següents:

- Desenvolupament multilateral i harmoniós de les gimnastes
- Desenvolupament equilibrat de les qualitats físiques específiques (velocitat, coordinació, flexibilitat, capacitat de salt, resistència...etc.)
- Formació dels coneixements, habilitats i hàbits necessaris per l'activitat positiva de la GR

- Educació de les qualitats morals i volitives
- Desenvolupament de les qualitats artístiques (musicalitat, expressivitat...etc.)

En les primeres etapes esportives (que són les etapes en les que es troben les gimnastes d'aquest estudi) serà necessari adaptar l'entrenament als processos evolutius i de maduració de les gimnastes (tal i com s'ha exposat a l'apartat 2.1.3) perioditzant l'entrenament segons les seves necessitats escolars i formatives, enfortint la seva salut, prevenint possibles lesions i creant les bases per una motivació cap a l'aprenentatge i el rendiment (Mata Saumell, 1999). En les etapes inicials caldrà que les gimnastes coneguin una gran diversitat de moviments i totes les seves possibilitats, i a més, serà molt important que es realitzi amb la tècnica correcta, ja que els aprenentatges incorrectes apareixeran més endavant de manera més notòria (Mata Saumell, 1999).

Per tant, els objectius de l'entrenament de les primeres etapes de les gimnastes seran diferents que els objectius d'alt rendiment. Alhora de planificar entrenaments s'haurà de (Mata Saumell, 1999):

- Augmentar la preparació física funcional
- Desenvolupar les qualitats físiques bàsiques
- Assimilar la tècnica de base en els exercicis de mans lliures i amb els aparells
- Adquirir experiència i participació a les competicions

La preparació esportiva compren la preparació física, preparació tècnica, preparació tàctica, preparació psicològica i preparació teòrica (Mata Saumell, 1999). En aquesta tesi ens centrarem en definir els programes d'entrenament dirigits a la preparació física i la preparació tècnica de la GR al ser el tema que ens ocupa.

Segons Lisitskaya (1995) el treball de preparació física ha de desenvolupar el conjunt de qualitats físiques bàsiques (força, velocitat, flexibilitat i resistència) tenint en compte el factor estètic per poder aplicar un mètode o un altre i afavorir la complexió estilitzada de les gimnastes de rítmica de competició. Si es fa referència a les primeres etapes d'entrenament, la preparació física es du a terme paral·lelament a la preparació tècnica de tal manera que s'aprenen habilitats tècniques diversificades a mesura que s'exigeix l'adquisició de noves coordinacions (Mata Saumell, 1999).

Segons Canalda (1998) existeixen tres tipus de preparació física en l'entrenament de GR:

- Preparació física general
- Preparació física dirigida
- Preparació física específica

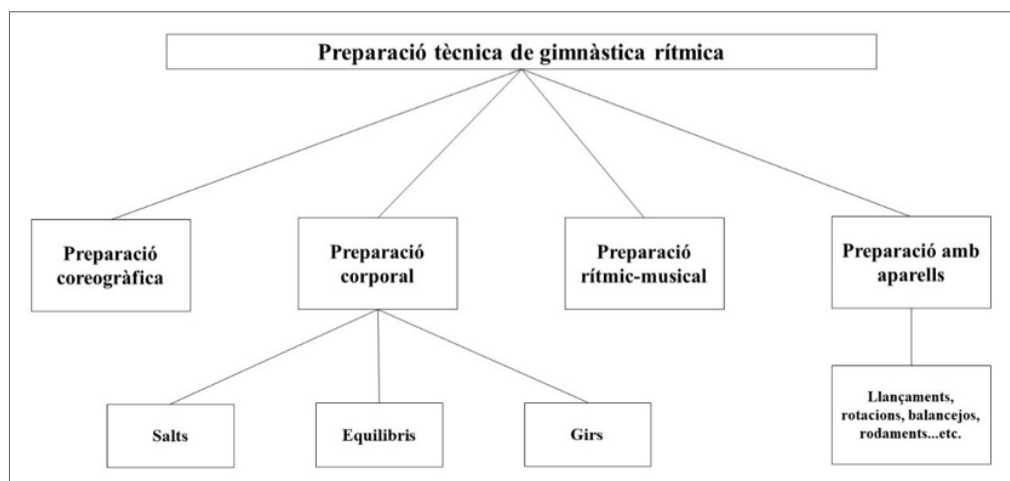
La **preparació física general** té com a objectiu enfortir i donar una base orgànica i muscular a les gimnastes, el que equival a una millora de l'aptitud o condició física general (Canalda, 1998). Habitualment es treballa en el període preparatori de les gimnastes i fora de la temporada de competicions amb grans volums de treball, fonamentalment de treballs aeròbics en les primeres etapes, per posteriorment també treballar la velocitat i la força en les següents etapes (Canalda, 1998). La flexibilitat es treballarà de manera general, tant de manera estàtica com dinàmica, i serà molt important que tots els exercicis que es realitzin de preparació física general contemplin també una correcta postura corporal (Canalda, 1998). El tipus de resistència que es treballarà serà l'aeròbica mitjançant mètodes continus harmònics i variables (Canalda, 1998). La força en GR només es treballarà en dues de les seves manifestacions: força-resistència i força explosiva mitjançant circuits a temps fixe o circuits de repeticions, treball de multi-salts, cordes i pilotes medicinals (Canalda, 1998). La força explosiva caldrà treballar-la amb càrregues baixes i màxima acceleració, pauses de recuperació completes i de tres a deu repeticions com a màxim per posteriorment iniciar-se en el treball de pliometria i aconseguir que la musculatura treballi de forma excèntrica (Canalda, 1998) (més explicació sobre aquest mètode d'entrenament al punt 2.4.3). El treball de la velocitat serà important per realitzar accions en un temps mínim (p. ex. riscos amb l'aparell) la qual es denomina velocitat gestual (Canalda, 1998).

La **preparació física dirigida** té per objectiu treballar els grups musculars que sol·licita la GR d'una forma similar a la manera de realitzar els elements tècnics: aquest segueix essent un treball de millora de les capacitats físiques, però de tal forma que el tipus de moviment sigui molt pròxim a la tècnica específica que es treballarà posteriorment (Canalda, 1998). Per exemple, si en la preparació física general, la resistència es treballa de forma general, en la preparació física dirigida s'utilitzaran escalfaments i circuits que incloguin elements propis de la GR (Canalda, 1998). És molt important basar-se en exercicis de dansa clàssica o ballet tant a la barra com al centre per poder treballar la flexibilitat i la força de manera específica (p. ex. *punta-flex en dehors*, *pliés*, *relevés*, *cambrés*, *tendus*, *jetés*, *rond de jambes*, *grand battements* i equilibris sobre un peu amb diferents posicions de les cames) (Canalda, 1998).

La **preparació física específica** és la que engloba tots els exercicis amb unes característiques idèntiques a l'esport practicat en competició (p. ex. les parts i sencers de la coreografia, les combinacions d'elements... etc.) (Canalda, 1998). Aquest tipus d'entrenament prendrà més importància en el període competitiu de les gimnastes.

En referència a la preparació tècnica de les gimnastes, Lisitskaya (1995) la defineix com el procés de formació d'un conjunt d'hàbits motors necessaris que permetin revelar amb més eficàcia la individualitat, originalitat i execució correcta dels moviments i dificultats dels exercicis juntament amb l'acompanyament musical i segons les normes establertes en el codi de puntuació (Figura 4).

Figura 4. Contingut esquemàtic de la preparació tècnica de gimnàstica rítmica



Nota. Gràfic adaptat de Lisitskaya (1995).

La preparació tècnica segons Lisitskaya (1995), compren exercicis per assimilar l'hàbit de la col·locació correcta dels segments corporals: cap, tronc, braços i cames.

El coneixement i desenvolupament de la postura correcta adequada als moviments bàsics de GR s'ha considerat bàsic i rellevant dins de l'entrenament de les primeres etapes en els països que han aconseguit majors èxits en les competicions internacionals (Mata Saumell, 1999). Els exercicis destinats a la col·locació corporal correcta ajuden a la gimnasta a tenir una major percepció del seu cos i un major control dels moviments aconseguint així, més eficàcia i facilitat, així com menys probabilitat de lesió (Mata Saumell, 1999).

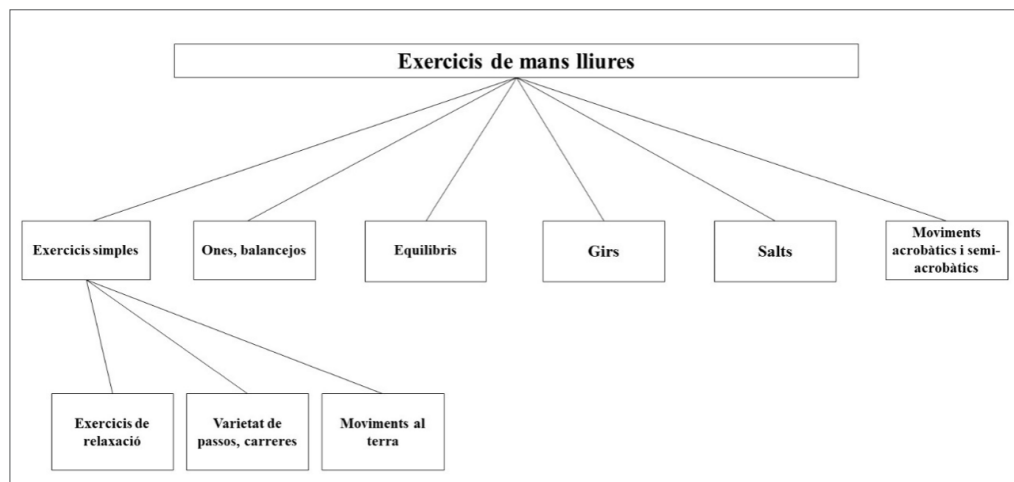
Segons el programa Olímpic de la antiga Unió Soviètica (1991) citat a Mata Saumell (1999) la preparació tècnica compren:

- Preparació coreogràfica: ensenyament dels elements de dansa clàssica, popular i moderna.
- Preparació music-motora: ensenyament dels elements de base de la lectura musical, desenvolupament de l'oïda musical, el ritme i l'expressivitat.
- Preparació dels exercicis de mans lliures: ensenyament de la tècnica dels exercicis sense aparells.
- Preparació dels exercicis amb aparells: corresponen a l'ensenyament dels exercicis de mans lliures combinats amb la tècnica específica dels aparells de GR.
- Preparació de la composició: muntatge dels exercicis de competició.

Aquesta tesi es centra principalment en avaluar elements de mans lliures, per tant ens centrarem en els programes d'entrenament d'aquest apartat.

Mendizábal i Mendizábal (1985) defineixen els exercicis de mans lliures com el fonament de la GR incloent en aquest terme tots els moviments corporals que es realitzen sense aparell i serveixen de base per l'aprenentatge d'exercicis amb aparell (Figura 5).

Figura 5. *Contingut esquemàtic dels exercicis de mans lliures*



Nota. Gràfic adaptat de Lisitskaya (1995).

Dins del contingut de mans lliures definirem els elements d'equilibri i de salt que corresponen als elements avaluats en aquesta tesi.

Segons el codi actual de GR (International Gymnastics Federation (F.I.G), 2021), els equilibris i els salts formen part de les dificultats corporals juntament amb els girs.

Els elements d'equilibri requereixen un desenvolupament de l'estabilitat i una postura correcta del cos així com unes condicions físiques que integren principalment la flexibilitat activa, la força específica i sentit òptim de l'estabilitat en condicions d'orientació canviant en l'espai (Lisitskaya, 1995). S'entén com a posicions d'equilibri, sobretot les posicions complicades, així com el manteniment de l'equilibri sobre una cama, ja que les condicions de suport sobre les dues cames són més pròximes a les naturals i no ofereixen una dificultat en particular, i el suport podrà ser en peu pla (recolzament de tota la planta del peu) o relevé (suport sobre els metatarsos) (Lisitskaya, 1995) (Figura 6). Un aspecte significatiu de la tècnica d'execució dels equilibris és el manteniment elevat del to muscular, no només de les extremitats inferiors sinó de tot el cos (Lisitskaya, 1995). Per millorar els equilibris s'ha de posar molta atenció a la postura i realitzar exercicis de preparació de dansa clàssica, és important també treballar la flexibilitat de cames, tronc i espatlles depenent de la posició que adopta la gimnasta en els equilibris (Lisitskaya, 1995). L'ensenyament dels equilibris passa primer per l'execució en peu pla (més base de sustentació) per progressar cap a l'execució dels equilibris en el relevé (menys base de sustentació) (Mata Saumell, 1999).

Figura 6. Exemples d'equilibris de gimnàstica rítmica

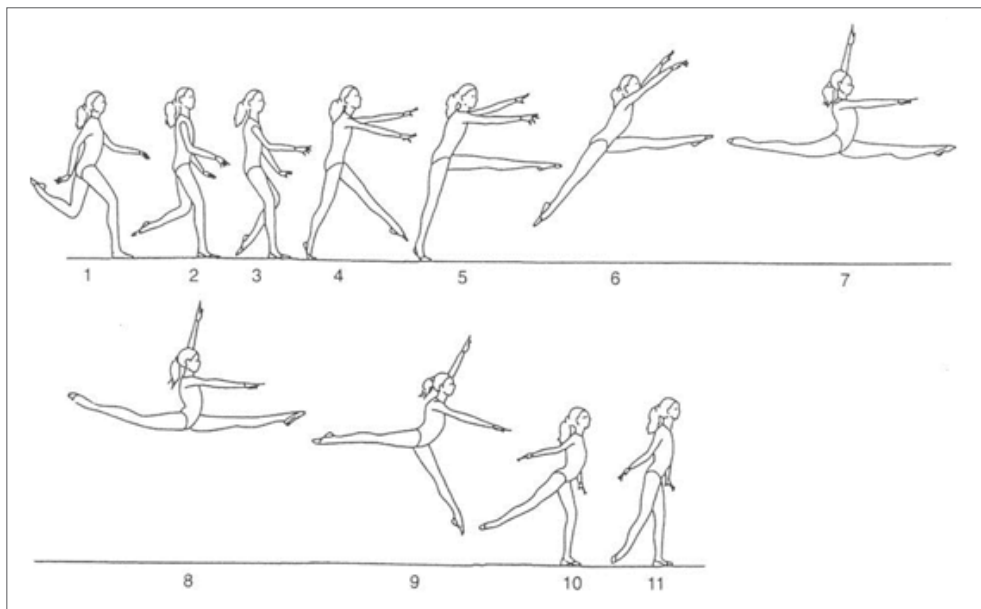


Nota. Imatge extreta de Sobera & Rutkowska-Kucharska (2019)

Respecte als salts, aquests són dels elements més vistosos de la GR, al mateix temps que complicats, que requereixen una excel·lent preparació física i tècnica per part de la gimnasta (Lisitskaya, 1995). Al realitzar un salt, la gimnasta ha de crear una imatge recordable en el mínim temps (al voltant de 0,5») i per tant, s'exigeix força, coordinació i resistència (Lisitskaya, 1995).

Per entendre els salts és important conèixer les fases que el defineixen (Pagola Aldazabal, 2010) (Figura 7):

Figura 7. Fases de la gambada en gimnàstica rítmica



Nota. Imatge extreta de Jastrjembskaia i Titov (1999).

1. Fase d'aproximació o desplaçament: Temps comprès entre l'instant en què s'inicia el desplaçament previ (fotograma 1) i l'instant en què la gimnasta fa un petit contramoviment disminuint la longitud de gambada (fotograma 3).

2. Fase de batuda: Temps comprès entre l'instant en què la gimnasta fa un petit contramoviment disminuint la longitud de gambada (fotograma 3) i l'instant en què es produeix el darrer contacte amb el terra (fotograma 5).
3. Fase de vol. Temps comprès entre l'instant en què la gimnasta abandona el terra (entre el fotograma 5 i 6) i l'instant en què realitza el primer suport a l'aterratge (fotograma 10).
4. Fase d'aterratge o post vol. Temps comprès entre l'instant en què la gimnasta fa el primer contacte amb el terra (fotograma 10) fins a l'instant en què aconsegueix el manteniment d'una posició estable (fotograma 11).

En els salts sense desplaçament previ, la primera fase del salt seria la batuda (Pagola Aldazabal, 2010).

Per a l'anàlisi biomecànica dels salts específics de GR, cal afegir una cinquena fase, ja que hi ha elements de salt que van encadenats, de manera que un cop realitzat l'aterratge del primer salt s'encadenen amb l'enlairament del salt posterior (Pagola Aldazabal, 2010). Aquesta fase és de vital importància ja que l'òptima o incorrecta realització de l'aterratge del primer salt condicionarà l'enlairament del segon i, per tant, el vol. Per tant, s'hi afegirà aquesta fase (Pagola Aldazabal, 2010):

5. Fase de batuda del segon salt. Temps comprès entre l'instant en què la gimnasta pren contacte amb el terra i l'instant en què realitza el darrer contacte amb el terra.

Els tres defectes a evitar més importants del salt són: la falta d'elevació, la falta d'amplitud i la falta d'amortiment (Canalda, 1998). Per millorar l'elevació és recomanable realitzar exercicis que millorin la coordinació entre l'acció de les cames i els braços, així com exercicis de salt des de diverses posicions que millorin la potència de les cames (Canalda, 1998). Per millorar l'amplitud serà necessari augmentar el temps de suspensió o vol del salt mitjançant exercicis amb tasques suplementàries com per exemple; salts amb gir i amb moviments de flexió i extensió de les extremitats inferiors entre d'altres (Canalda, 1998). Finalment, per millorar l'amortiment de la caiguda, és imprescindible ensenyar una tècnica adequada des de les primeres etapes, mostrant la seqüència correcta de la recepció: punta del peu, flexió de turmell, recolzament del taló i flexió de genoll (Canalda, 1998). Quan s'ha assolit la correcta tècnica de recepció es podran utilitzar altres materials com espatlles i plints per saltar des de diferents alçades, turmelleres llastrades, combinacions de salts sense passos intermitjos...etc. (Canalda, 1998).

Tot i que les referències utilitzades en aquest apartat no són molt actuals, segons on arriba el nostre coneixement, no s'ha trobat informació de qualitat i actualitzada relacionada amb programes d'entrenament de GR que expliquin com s'hauria de dur a terme la preparació física i tècnica de les gimnastes. No obstant això, per complementar aquesta informació, s'han trobat estudis de revisió que analitzen el risc de lesions en GR, dansa i gimnàstica artística dels quals s'han pogut extreure recomanacions per l'entrenament de gimnastes d'elit, per tal de prevenir lesions i per tant, millorar el rendiment (Montosa et al., 2015; Zetaruk et al., 2006).

A causa de la dificultat dels moviments requerits en la GR, són innumerables les hores d'entrenament que es necessiten per arribar a la perfecció dels exercicis de competició (Zetaruk

et al., 2006). Moltes de les tècniques que es requereixen en GR són repetitives i balístiques amb híper-extensió (Hutchinson, 1999). Molts autors han atribuït l'alt risc de lesions de dolor lumbar o d'espondilòlisi a gimnastes i ballarines per incrementar la lordosi en la part lumbar (Ciullo i Jackson, 1985; Micheli, 1983, 1985; Purcell i Micheli, 2009). El tractament de l'espondilòlisi implica exercicis específics que necessiten enfortiment de la musculatura abdominal, millora de la flexibilitat dels isquiotibials i de la fàscia lumbodorsal i exercicis antilordòtics (Purcell i Micheli, 2009). Aquest tipus de tractament específic per a les lesions de columna s'hauria d'aplicar de forma profilàctica per reduir la incidència de lesions severes de lumbar (Micheli, 1983). També, diversos autors (Kulund i Töttössy, 1983; Micheli, 1983) han recomanat un escalfament correcte amb estiraments i un lent però progressiu increment en exercicis més tècnics durant 20 o 30min. La importància de la detecció prematura de les lesions espondilolítiques facilita el tractament, escurça la curació i disminueix el temps d'estar fora dels entrenaments (Zetaruk et al., 2006). Si el dolor lumbar només apareix durant l'entrenament es recomana que la gimnasta únicament realitzi els exercicis que no provoquin dolor o bé que descansi fins que el dolor desaparegui (Zetaruk et al., 2006).

Una dada interessant de l'estudi de Zetaruk et al. (2006) és la correlació trobada entre l'increment d'estiraments i el descens de fractures. Hi ha diversos autors que relacionen els estiraments amb la reducció de les fractures d'estrès (Micheli, 1983; Outerbridge i Micheli, 1995).

També cal revisar les hores d'entrenament totals alhora de prevenir lesions, sembla ser que hi ha un punt on es produeix un desequilibri entre les hores d'entrenament i els beneficis que s'obtenen de condició física i millora tècnica respecte el risc de lesions (Zetaruk et al., 2006). Es recomana limitar els entrenaments a 30h setmanals per a gimnastes d'elit i a 20h setmanals per a gimnastes de sub-elit (Zetaruk et al., 2006).

Els desequilibris múscul-tendinosos predisposen als esportistes a lesions de sobreús i el creixement pot produir un descens de la flexibilitat (Outerbridge i Micheli, 1995). En l'estudi de Zetaruk et al. (2006) es va trobar una forta correlació entre l'increment d'estiraments i el descens de lesions de múscul i tendons, al contrari d'altres resultats de diferents autors (Herbert, 2002; Shrier, 1999; Thacker et al., 2004), que conclouien que els estiraments no reduïen les lesions a l'esport. Aquesta discrepància podria ser que els altres estudis no analitzaven esports amb tanta demanda de flexibilitat com la GR (Zetaruk et al., 2006). Encara que en general les gimnastes d'elit mostren una extrema flexibilitat, les demandes específiques de l'esport podrien resultar en aconseguir una major flexibilitat de la musculatura agonista que no pas de l'antagonista (Zetaruk et al., 2006). Per exemple, en molts exercicis es requereix més flexibilitat dels isquiotibials que dels quàdriceps. Així doncs, l'increment de la flexibilitat pot reduir aquests desequilibris musculars inherents a la GR (Zetaruk et al., 2006). Alguns autors recomanen que els estiraments han de ser suaus i mantinguts al menys trenta segons (Kulund i Töttössy, 1983). Millorant l'adequada flexibilitat del quàdriceps i dels isquiotibials, així com la força del vast medial, es pot reduir la incidència de lesions del genoll (Shrier, 1999).

El desenvolupament de força de les gimnastes és necessari per reduir lesions produïdes pels elements de salt o gir (obligatoris en GR (International Gymnastics Federation (F.I.G), 2021)) com per exemple els esquinços de turmell (Zetaruk et al., 2006).

A l'estudi de Vernetta et al. (2015) es reporta que l'escalfament és la fase de la sessió d'entrenament en què es produeix el percentatge de lesions més elevat, és important, per tant, insistir que els professionals iniciïn els seus entrenaments amb un escalfament complet que permeti la realització de posicions correctes i una càrrega progressiva en determinades estructures anatòmiques tenint en compte l'aptitud de la gimnasta i el seu desenvolupament maduratiu (Garrick i Requa, 1980).

Dins de la part tècnica, els elements de major incidència lesiva amb i sense aparells van ser els salts (Montosa et al., 2015). La repetició reiterativa d'aquests elements, a més d'una mala tècnica o sobreentrenament podria ser la causa (Garrick i Requa, 1980). D'aquí la importància d'un control més gran en aquest tipus de moviment, insistint en un aprenentatge progressiu amb tasques metodològiques adequades fins a arribar a una tècnica correcta i un control en la càrrega (volum i intensitat) dels mateixos durant l'entrenament (Montosa et al., 2015).

Segons el que hem pogut extreure de la bibliografia sobre els programes d'entrenament de GR, els entrenaments haurien de contenir; treball de la condició física, donant més importància a la flexibilitat i la força, però sense deixar de banda altres qualitats físiques com la resistència i velocitat, i altres capacitats com l'equilibri i la coordinació. En les primeres etapes, les gimnastes hauran de realitzar un treball bilateral, prioritant la preparació física juntament amb la preparació tècnica per consolidar un bon treball de base.

Un cop analitzats els estudis corresponents als programes d'entrenament utilitzats en la GR, en el següent punt revisem la forma d'avaluar el rendiment en GR.

2.1.5. Avaluació del rendiment

Del concepte d'esport com a situació motriu de competició reglada i institucionalitzada, l'objectiu central és el resultat esportiu, d'això es desprèn que la competició és l'eix central al voltant del qual gira tota l'activitat esportiva (Bobo-Arce, 2002). Com s'exposa en un recull d'obres de Cagigal (1996), sense competició, sense una lluita per la victòria o la superació personal, no hi ha esport.

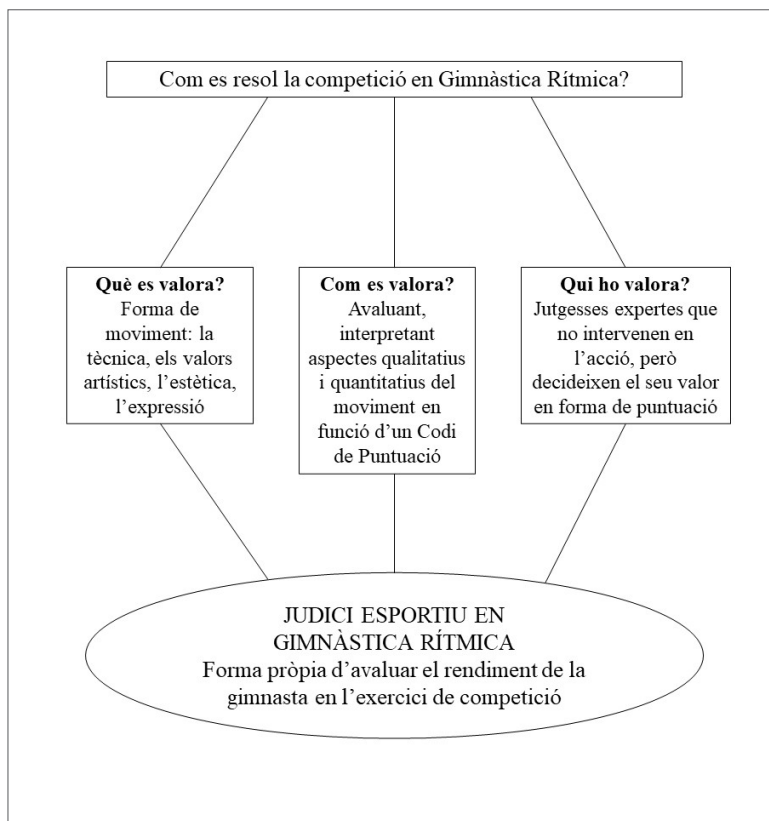
La competició és el marc legal per a l'enfrontament entre els esportistes i la proclamació d'un equip o individu com a vencedor, les formes per resoldre la confrontació són específiques de cada esport (Bobo-Arce, 2002). És a dir, a cada esport existeix un marc normatiu en què es defineixen les regles del desenvolupament de l'acció de joc així com el sistema de puntuació que estableix els criteris de victòria (Bobo-Arce, 2002).

A partir de la classificació dels rols i funcions dels oficials esportius (encarregats de fer complir les regles del joc) en la proposta de Palomero (1996), es distingeixen tres grans grups d'esports: esports en què la competició es resol amb la presència de controladors que verifiquen o mesuren l'acció sense avaluar-la i no intervenen en el desenvolupament de la mateixa (p. ex. disciplines atlètiques); esports en què la competició es resol amb la presència d'àrbitres que verifiquen el respecte de les normes, valoren el compliment del reglament de les accions, comptabilitzen el nombre de punts anotats, i intervenen en el desenvolupament de l'acció (p. ex. futbol); i esports en què la competició es resol amb la presència de jutges que verifiquen, interpreten i avaluen l'actuació de l'esportista, sense intervenir en el desenvolupament de l'acció (p. ex. GR).

En competicions gimnàstiques, l'objectiu és avaluar el resultat de la utilització del potencial del cos dins de l'espai i del temps, i en relació amb els aparells gimnàstics (Jeu i Bouet, 1971). L'objectiu del/la gimnasta que competeix és aconseguir el millor mode de realització, aquell que els jutges avaluen de la forma més positiva, aquell que permeti aconseguir la puntuació màxima (Jeu i Bouet, 1971).

A la GR és valora la composició dels exercicis de competició i l'execució de la gimnasta, dins de l'execució és valoren paràmetres de qualitat física, tècnica i artística; on les gimnastes competeixen successivament esgotant el seu temps de participació i amb l'afany d'assolir la màxima puntuació; la qual cosa, per determinar el rendiment de les gimnastes s'utilitza l'avaluació, i per això intervenen jutgesses expertes que valoren els exercicis gimnàstics en funció d'un codi de puntuació oficial; la manera de resoldre la competició i avaluar el rendiment de les gimnastes és una forma elaborada i institucionalitzada de judici conegut com «el Judici esportiu en GR» (Figura 8) (Bobo-Arce, 2002).

Figura 8. *Funcionament del judici esportiu en gimnàstica rítmica*



Nota. Esquema adaptat de Bobo-Arce (2002).

Com a síntesi, Bobo-Arce (2002) exposa que l'avaluació de GR està condicionada per la seva especificitat esportiva, que es caracteritza en funció de:

- La forma de participació: individual o conjunt.
- La utilització d'aparells propis: corda, cèrcol, pilota, maces i cinta.
- Els esquemes d'acció amb els aparells.

- Els esquemes propis d'acció corporal, diferenciadors de la dansa i d'altres especialitats gimnàstiques.
- L'acompanyament musical.
- El tractament particular de l'estètica i la cerca dels valors artístics.
- La valoració quantitativa i qualitativa del rendiment en funció d'un codi de puntuació.

Totes aquestes consideracions permeten concretar l'objectiu esportiu de la GR com: la capacitat de la gimnasta o conjunt d'executar amb la màxima perfecció tècnica, mestratge artístic i un tractament particular de l'estètica, un exercici de GR, en el qual es produeix una gran simbiosi d'accions corporals amb les accions d'aparell i amb l'acompanyament musical que deriva en l'obtenció de la puntuació màxima possible estipulada al codi de puntuació (Bobo-Arce, 2002).

El codi de puntuació està elaborat per el comitè tècnic de GR de la FIG, és un document oficial on s'estipulen els criteris per a la valoració dels exercicis, el sistema de puntuació i els paràmetres que defineixen el model tècnic d'exercici de competició (International Gymnastics Federation, 2021).

El conjunt de regles i normes recollides al codi de puntuació estableix les bases que defineixen un model de GR mundial i un sistema de valoració internacionalment acceptat (Bobo-Arce, 2002).

La vigència dels codis de puntuació és de quatre anys, els corresponents al cicle olímpic, tot i que l'allargament de l'últim cicle olímpic (a causa de la Covid-19) ha provocat que es posposés l'edició de l'últim codi, el qual s'ha integrat a les competicions des de l'any 2022. La darrera versió del codi és 2017-2020 el qual va continuar vigent fins el 2021 (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). La versió original és en francès (que és l'idioma oficial de la International Gymnastics Federation), però existeixen traduccions a diverses llengües com l'anglès, l'alemany, el castellà i el rus (International Gymnastics Federation, 2021).

L'estudi d'aquesta tesi es va fer basat en el codi de puntuació 2017-2020. La versió oficial en castellà, actualitzada al 2018, els apartats utilitzats en aquesta tesi es traduiran al català. El codi de puntuació té una extensió de vuitanta-sis pàgines en què es recullen sis capítols, els continguts dels quals es descriuen esquemàticament (Federación Internacional de Gimnasia, 2018):

Al primer capítol, titulat «Generalitats», es recullen les normes vàlides per als exercicis individuals i de conjunt referides a:

1. Competicions i programes
2. Jurats
3. Practicable (individual i exercicis de conjunt)
4. Aparells (individual i exercicis de conjunt)
5. Vestuari de les gimnastes (individual i conjunts)
6. Disciplina
7. Penalitzacions jutge coordinadora per a exercicis individuals i de conjunt

En el segon capítol, titulat «Exercicis individuals dificultat (D)» s'inclouen els paràmetres per la valoració de la dificultat corporal i d'aparell dels exercicis individuals:

1. Visió global dificultat
2. Dificultat corporal (BD)
3. Grups tècnics d'aparell fonamentals i no fonamentals
4. Combinacions de passos de dansa (S)
5. Elements dinàmics amb rotació (R)
6. Dificultat d'aparell (AD) i elements d'aparell originals nous
7. Nota de dificultat (D)
8. Salts
9. Equilibris
10. Rotacions

D'aquest capítol ens centrarem sobretot en aprofundir en l'apartat 8 i 9, la manera de valorar els salts i els equilibris sense tenir en compte l'aparell, ja que són objecte d'aquest estudi.

Al tercer capítol, titulat «exercicis individuals execució (E)» trobem com s'avalua la tècnica amb l'aparell i la tècnica corporal. En aquest codi de puntuació l'apartat artístic, (que avalua la música, coreografia, composició de base, característiques artístiques particulars, originalitat... etc.) també es troba dins de l'apartat d'execució, no obstant, en moltes de les altres edicions del codi el trobàvem per separat. Per acabar, en aquest punt, també veurem les faltes artístiques i tècniques amb les seves respectives penalitzacions:

1. Execució (E)
2. Nota d'execució
3. Panell-E
4. Components artístics
5. Faltes artístiques i penalitzacions
6. Faltes tècniques i penalitzacions

D'aquest capítol aprofundirem en l'execució i las faltes tècniques referents a la tècnica corporal, ja que són les que necessitarem conèixer per avaluar els equilibris i salts realitzats sense l'aparell.

Els tres següents capítols del codi de puntuació de GR estan destinats a l'avaluació dels exercicis de conjunt, contingut que no treballarem en aquesta tesi, i per aquest motiu no especificarem els seus apartats.

Començarem aprofundint sobre les dificultats corporals (BD), aquests són elements de salt, equilibri i gir/rotacions que trobem a les taules de dificultat del codi de puntuació (Figura 9 i 10). Si la BD s'executa amb una amplitud superior a l'esmentada a la taula de dificultats, el valor no canvia.

Perquè siguin vàlides, totes les dificultats s'han d'executar amb una forma fixada i definida; això significa que tots els corresponents segments corporals (tronc, cames i braços) estan a la posició correcta que identifica com a vàlida la forma de la BD. Exemples: 180° obertura cames, posició d'extensió de tronc enrere, etc.

- Quan la forma es reconeix amb una petita desviació de 10° o menys d'un o més dels

segments corporals, la BD és vàlida amb una penalització d'Execució Tècnica de 0,10 per cada posició corporal incorrecta.

- Quan la forma es reconeix amb una desviació mitjana de 11-20° d'un o més segments corporals, la BD és vàlida amb una penalització d'execució tècnica de 0,30 per cada posició corporal incorrecta.
- Quan la forma no és reconeix suficient i comporta una desviació més gran de 20° d'un o més segments corporals, la BD no és vàlida amb una penalització d'execució tècnica de 0,50 per cada posició corporal incorrecta.

Respecte les normes específiques de les dificultats de salt, sense tenir en compte l'aparell, trobem que totes les dificultats de salt han de tenir les següents característiques de base: Forma definida i fixada durant el vol, i alçada (elevació) del salt suficient per mostrar la forma corresponent. Un salt sense alçada suficient per mostrar la forma fixada i ben definida no serà vàlid com BD i tindrà penalització d'execució.


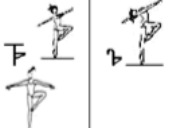





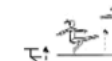
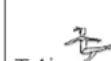





Figura 9. Exemple de taula de dificultats de salt

Nota. Imatge extreta del codi de puntuació 2017-2020 (2018).

	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
21. Zancada, impulso con dos pies, o con círculo o con flexión de tronco atrás						
22. 2 o más Zancadas sucesivas con cambio de pie de impulso					 2 — Una Dificultad 3 — (0.70) Una Dificultad	
23. Zancada con rotación						
24. Zancada con cambio de piernas (paso con piernas extendidas)						
25. Zancada con cambio de piernas (paso con pierna flexionada)						
26. Zancada lateral, impulso con un pie						
27. Zancada lateral, impulso con 2 pies						
28. Zancada lateral con cambio de piernas (paso con pierna flexionada), (paso con piernas extendidas)						
29. Corza, impulso con 1-2 pies, con círculo o con rotación, o con flexión del tronco atrás						

En referència a les normes específiques de les dificultats d'equilibri trobem que hi ha tres tipus de dificultats d'equilibri: a) Equilibris sobre el peu (*relevé* o peu pla), b) Equilibris sobre altres parts del cos i c) Equilibris dinàmics. En aquesta tesi ens centrarem en els equilibris sobre el peu, aquests han d'executar-se sobre els dits-metatars o peu pla. En el cas del peu pla, el valor es redueix 0,10 punts de la nota de partida. La forma ha de ser definida i clarament fixada amb parada a la posició amb un mínim d'un segon de manteniment.

Figura 10. Exemple de taula de dificultats d'equilibri

Tipos de equilibrios	Equilibrios sobre el pie			Valor		
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
1. Pierna libre atrás, por debajo de la horizontal, tronco flexionado atrás						
2. Pasé adelante o lateral (posición horizontal) o con flexión atrás de la zona alta de la espalda y los hombros w						
3. Adelante: pierna libre horizontal (extendida o flexionada), o con el tronco atrás en la posición horizontal						
						
4. Con cambio de nivel de la gimnasta, flexión progresiva de la pierna de apoyo o y retorno a la posición extendida						
						
5. Espagat con o sin ayuda de la mano o con tronco atrás a la horizontal o más bajo de la horizontal						
6. Lateral: pierna libre a la horizontal o tronco lateral a la horizontal						

Nota. Imatge extreta del codi de puntuació 2017-2020 (2018).

En relació a l'execució, el jurat encarregat de puntuar aquest apartat, exigeix que els elements s'executin amb perfecció tècnica i estètica. S'espera que la gimnasta inclogui en l'exercici únicament elements que pot executar amb total seguretat i amb un alt nivell de mestratge artístic i tècnic.

Totes les desviacions de l'execució correcta es consideren errors tècnics o artístics i han de ser avaluats en conseqüència pels jutges. La magnitud de la deducció per a les petites, mitjanes o grans faltes es determina pel grau de desviació de la correcta realització. Les penalitzacions següents s'aplicaran per a totes i cada desviació artística i tècnica perceptible a partir de l'execució perfecta esperada. Aquestes deduccions s'han d'aplicar independentment de la dificultat de l'element de l'exercici.

- Error Petit 0,10: qualsevol desviació menor o lleu de l'execució artística o tècnica perfecta.
- Error Mitjà 0,20-0,30: qualsevol desviació distintiva o significativa de l'execució artística o tècnica perfecta.
- Error Gran 0,50+: qualsevol desviació important o greu de l'execució artística o tècnica perfecta.

De les faltes d'execució corporal importants per aquest estudi podem destacar (taula 1):

Taula 1. Quadre de penalitzacions dels moviments corporals

Faltes tècniques: es penalitzen per cada element amb falta			
Penalitzacions	Petites 0,10	Mitjanes 0,30	Grans 0,50 o +
Generalitats	Moviment incomplet o manca d'amplitud en la forma dels salts, equilibris i rotacions		
Tècnica de base	Postura incorrecta d'un segment corporal durant un moviment (cada vegada), incloent la posició incorrecta del peu i/o del genoll, colze flexionat, espatlles elevades, etc.	Posició asimètrica de les espatlles i/o del tronc durant una dificultat corporal	
	Pèrdua d'equilibri: moviment suplementari sense desplaçament	Pèrdua d'equilibri: moviment suplementari amb desplaçament	Pèrdua d'equilibri amb suport sobre una o dues mans / Pèrdua total d'equilibri amb caiguda (0,70)
Salts	Recepció pesada	Recepció incorrecta: visible esquena arquejada a la fase final de recepció del salt	
	Forma incorrecta amb petita desviació	Forma incorrecta amb desviació Mitjana	Forma incorrecta amb gran desviació
	Forma amb petit moviment de vaivé	Forma amb moviment de vaivé mitjà	Forma amb gran moviment de vaivé
Equilibris	Forma incorrecta amb petita desviació	Forma incorrecta amb desviació mitjana	Forma incorrecta amb gran desviació
		Forma no mantinguda com a mínim 1 segon	

Nota. Adaptada del codi de puntuació de GR 2017-2020 (2018).

Per realitzar tests que avaluïn el rendiment en GR l'ideal és que les proves siguin biomecànicament i fisiològicament específiques de l'esport, de manera que es justifiqui el seu ús com a eina d'avaluació i/o selecció (Donti et al., 2016). En aquesta tesi es van triar tres elements d'equilibri específics de GR per avaluar el control postural i tres salts específics de GR per avaluar la força explosiva a part de tests més genèrics i tradicionals que explicarem més endavant.

Els elements d'equilibri triats per avaluar en aquesta tesi van ser l'**equilibri *passé***, (Figura 11) l'**equilibri *arabesque*** (Figura 12) i l'**equilibri *cama al costat amb ajuda*** (Figura 13). Es varen triar aquests tres elements per la varietat en la posició de les cames lliures i per ser elements d'equilibri comuns a les primeres etapes d'entrenament, des de la iniciació fins a la competició.

A més, segons Donti (2016) l'extensió de cama al costat (acció corresponent a l'equilibri cama al costat) pot ser una prova molt útil per a joves gimnastes de rítmica, ja que inclou les accions combinades de flexió del maluc, abducció i rotació externa (Angioi et al., 2009), necessàries per saltar, equilibrar i girar amb diferents configuracions corporals. L'extensió lateral de la cama també requereix un control postural ferm per mantenir-se dempeus correctament mentre s'aixeca i es subjecta la cama al costat (Donti et al., 2016).

L'equilibri *passé* és un element A (valor 0,10) que s'executa amb la cama de suport estirada mentre que la cama lliure s'eleva a 90° cap al costat (*passé* obert) o cap endavant (*passé* tancat). El genoll de la cama lliure es flexiona de tal manera que els dits del peu estan en contacte amb la cama de suport, aproximadament a l'alçada del genoll. El *passé* obert requereix una rotació externa de maluc, a part de la flexió de maluc de 90°, per tal d'eleva la cama al costat en el pla frontal, en canvi, el *passé* tancat no comporta rotació externa de maluc i la cama s'eleva cap endavant en el pla sagital. Concretament en aquest estudi, es va triar el *passé* tancat executat en peu pla.

Figura 11. *Equilibri passé tancat*



Nota. Imatge extreta del codi de puntuació 2022-2024 (2021).

L'equilibri *arabesque* és un element B (valor 0,20) que s'executa amb la cama de suport estirada i l'altre cama s'eleva a 90° cap endarrere completament estirada, el tronc es manté a la vertical. En aquest estudi l'*arabesque* es va executar sobre la planta del peu.

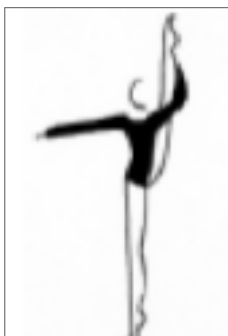
Figura 12. *Equilibri arabesque*



Nota. Imatge extreta del codi de puntuació 2022-2024 (2021).

L'equilibri cama al costat amb ajuda és un element C (valor 0,30) que s'executa sobre la cama de suport estirada mentre que la cama lliure s'eleva cap al costat amb ajuda de la mà formant un angle de 180° entre les dues cames i mantenint el tronc a la vertical. També es va executar sobre la planta del peu en aquest estudi.

Figura 13. *Equilibri cama al costat amb ajuda*

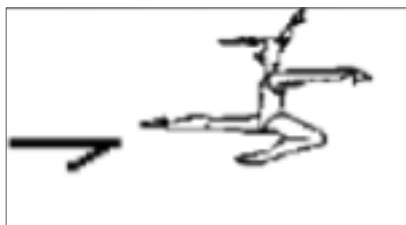


Nota. Imatge extreta del codi de puntuació 2022-2024 (2021).

Els elements de salt que es varen triar per ser avaluats en aquesta tesi van ser la **corza des d'assemblé** (Figura 14), **les tisoires** (Figura 15) i **la gambada** (Figura 16). Es varen triar aquests tres elements per la varietat en els impulsos, tècniques i posicions de les cames. També son salts que s'acostumen a realitzar en competició inicial.

La corza des d'*assemblé* és un element A (valor 0,10) amb l'impuls des de dos peus. Es llença una cama cap endavant fins arribar a la horitzontal i es flexiona al màxim de tal manera que el taló s'apropi a la cuixa, la cama de darrere també s'eleva a la horitzontal completament en extensió format un angle de 180° entre la cama de davant i la de darrere, el tronc es manté a la vertical i els braços acostumen a situar-se a la horitzontal ubicant endavant el braç contrari a la cama de davant i lateralment l'altre braç.

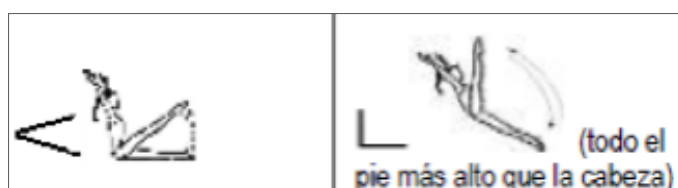
Figura 14. *Salt de corza des d'assemblé*



Nota. Imatge extreta del codi de puntuació 2017-2020 (2018).

Les tisoires és un element A (valor 0,10) si les cames s'eleven a més 90° i B (valor 0,20) si els peus s'eleven per sobre de l'alçada del cap. L'impuls es realitza des d'un peu i es llença una cama estirada cap endavant, quan aquesta arriba al punt màxim s'impulsa l'altre cama per tal que es canviïn de posició a l'aire, la primera cama que s'eleva es la primera en tornar a tenir contacte amb el terra. Els braços s'acostumen a situar al costat horitzontalment.

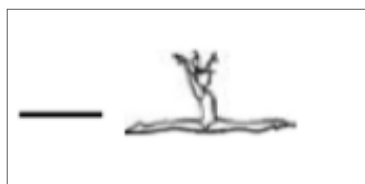
Figura 15. *Salt de tisores*



Nota. Tisores A (imatge esquerra) i tisores B (imatge dreta), extreta del codi de puntuació 2017-2020 (2018).

La gambada és un element C (valor 0,30) que s'executa amb impuls des d'un peu. Es llença una cama estirada cap endavant a la horitzontal i seguidament es llença l'altre cama cap enrere, també estirada i a la horitzontal de manera que en un moment coincideixin les dues cames a l'aire en posició horitzontal, formant un angle de 180° o més (espagat). La cama de davant serà la primera en realitzar la recepció. Els braços han d'afavorir l'elevació del salt.

Figura 16. *Salt de gambada*



Nota. Imatge extreta del codi de puntuació 2017-2020 (2018).

En aquest apartat hem analitzat i revisat la manera d'avaluar la GR, i en concret, els elements d'equilibri i salt. Amb això, finalitzem el bloc de coneixement de GR, havent fet una síntesi dels aspectes més rellevants per aquesta tesi. A continuació aprofundirem amb el concepte d'entrenament del core, introduït en l'entrenament funcional aplicat a les gimnastes.

2.2. ENTRENAMENT DEL CORE

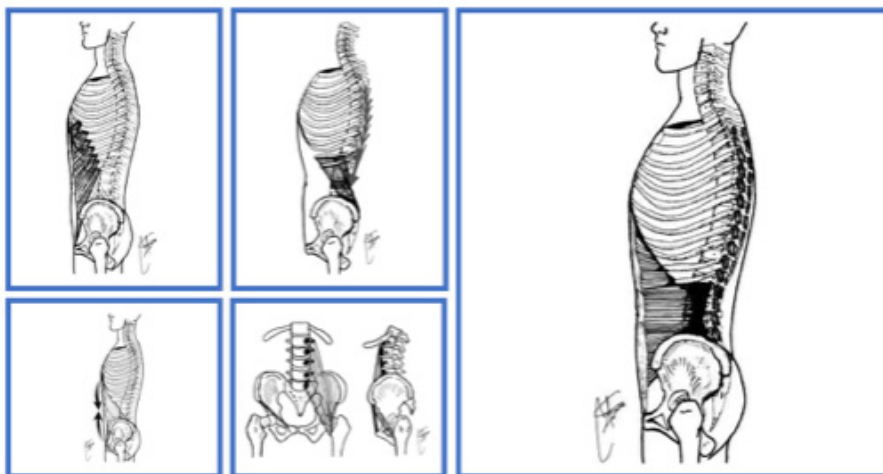
2.2.1. Conceptualització

El terme *core* prové de la llengua anglesa, la seva traducció literal és «centre» o «nucli» i el terme que s'utilitza en català és «zona centre del cos» o «centre de masses del cos». Al llarg del text utilitzarem el terme *core* al ser una paraula molt comuna en l'entrenament esportiu i d'aquesta manera facilitar el seguiment del text al lector. Aquest concepte no està descrit en els tractats clàssics d'anatomia, sinó que és un concepte funcional utilitzat habitualment per referir-se de forma conjunta a les estructures musculars i osteoarticulars de la part del centre del cos, sobretot, de la raquis lumbodorsal, la pelvis i els malucs (Kibler et al., 2006). Aquest concepte es va començar a estudiar a principis del 1980 (Hibbs et al., 2008) i ha estat utilitzat especialment en l'àmbit esportiu, ja que les estructures referides participen conjuntament en el manteniment de l'estabilitat del tronc i en la generació i transferència de forces des de la part central del cos cap a les extremitats en activitats tan diverses com córrer, llençar o colpejar (Kibler et al., 2006), essent el centre de les cadenes cinètiques que participen en aquestes accions (Borghuis et al., 2008). El *core* també es vist com una faixa muscular que funciona com a motor del moviment

de les extremitats i com una unitat per estabilitzar el cos, en particular, la columna vertebral amb i sense moviment de les extremitats (Akuthota i Nadler, 2004).

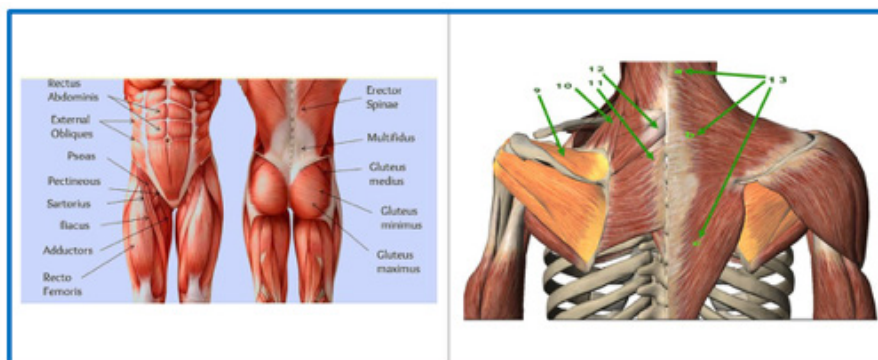
L'anatomia del core s'ha definit com el complex lumbopelvià-maluc, que consisteix en la zona lumbar, la pelvis i les articulacions de la cintura pèlvica i els teixits actius i passius que produeixen o restringeixen el moviment d'aquests segments (Willson et al., 2005) (Figura 17). Aquesta definició de core pot ser més apropiada des d'una perspectiva de rehabilitació, en canvi, si parlem de rendiment esportiu, la definició hauria de ser més àmplia (Behm et al., 2010). La musculatura del core hauria d'incloure els músculs de la cintura escapular i de la pelvis per poder transferir l'energia del tronc a les extremitats, les quals estan molt involucrades en activitats esportives (Hibbs et al., 2008). Recentment, la zona del core es considera un concepte funcional utilitzat habitualment per a referir-se de forma conjunta a les estructures musculars i osteoarticulars de la part central del cos, sobretot, de la raquis lumbodorsal, la cintura escapular i la cintura pelviana, incloent en les dues cintures les articulacions glenohumeral i coxofemoral (Vera-García et al., 2015) (Figura 18).

Figura 17. *Musculatura lumbopelviàna*



Nota. Imatges extretes de Solana-Tramunt (2011).

Figura 18. *Musculatura del core*



Nota. Inclou musculatura de la raquis lumbodorsal, i la cintura pelviana (imatge esquerra) i la cintura escapular (imatge dreta). Imatges extretes de (*Músculos de la cintura escapular. Parte 1*, 2019; Portela, 2022).

L'estabilitat de la zona del centre del cos o en anglès *core stability* (CS) és un concepte que està molt de moda sobretot en el fitness, l'entrenament i la medicina de l'esport, ja que ha estat assenyalat com un dels factors claus per prevenir i tractar el síndrome del dolor lumbar, en anglès *low back pain* (LBP) (Grenier i McGill, 2007b; McGill, 2015; Zazulak i Medvecky, 2019), així com un factor destacat en la prevenció de lesions en els membres inferiors (Borghuis et al., 2008; Kibler et al., 2006; Zazulak i Medvecky, 2019). Per altra banda, tot i que els professionals de l'activitat física i l'esport reconeixen la utilitat i la importància de la CS per la millora funcional i el desenvolupament dels esportistes, són pocs els estudis que han analitzat la relació del desenvolupament de l'estabilitat del core i la millora del rendiment esportiu (Reed et al., 2012). A més, l'ús del terme CS és ambigu, ja que existeix un cert debat sobre el correcte significat tan en l'àmbit professional com en la literatura científica (Borghuis et al., 2008; Zazulak et al., 2007).

Una de les definicions més clàssiques utilitzades en biomecànica de l'estabilitat raquídia, (sinònim de CS) és la desenvolupada per Bermark (1989), la qual exposa que l'estabilitat raquídia és l'habilitat de la raquis per mantenir el seu estat d'equilibri quan es sotmesa a forces pertorbadores o desequilibrants. Partint de les bases teòriques desenvolupades per Bergmark (1989), Cholewicki i McGill (1996) van fonamentar el concepte d'estabilitat raquídia a partir del concepte d'energia potencial. Que explica que quan el sistema està sotmès a una força, l'estabilitat articular està associada a la magnitud de la deformació, de manera, que a major rigidesa, menor és la deformació i per tant més estable és la columna vertebral. Les articulacions de la columna vertebral posseeixen un cert nivell de rigidesa, tot i així les estructures passives de la columna vertebral no són capaces de mantenir una posició erecte davant de forces provocades per activitats de la vida quotidiana o activitats esportives (Cholewicki i McGill, 1996). En aquest sentit, l'estabilitat de la zona del core depèn tant dels seus elements osteoarticulars i lligamentosos, com de l'activació muscular i el seu adequat funcionament sota el sistema del control motor (Panjabi, 1992) (Figura 19).

Figura 19. Els tres subsistemes del sistema d'estabilització de Panjabi



Nota. Gràfic adaptat de Colston (2012).

En aquest sentit, Panjabi (1992) es podria considerar el primer autor que va definir la CS. La va descriure com un sistema espinal que funciona per permetre moviments entre les extremitats, transportar càrregues i protegir la columna vertebral i els nervis. Descriu un sistema d'estabilització de la columna vertebral que consta de les següents parts:

- Un subsistema músculoesquelètic passiu que inclou vèrtebres, articulacions facetàries, discos intervertebrals, lligaments espinals i càpsules articulars. El subsistema passiu funciona als extrems del rang de moviment. Aquest subsistema és particularment important cap als punts finals de la zona neutra, on els lligaments vertebrals es tensen i desenvolupa tensió reactiva per resistir el moviment. Els lligaments vertebrals estan equipats amb propioceptors que transmeten la retroalimentació sensorial al sistema nerviós central pel que fa a la posició i el moviment de la columna vertebral (Holm et al., 2002). Aquest feedback sensorial és crucial per estimular patrons específics de reclutament neuronal de la musculatura central per satisfer les demandes de la tasca. No obstant això, el subsistema passiu té un potencial limitat per estabilitzar la columna vertebral, la capacitat de suportar grans forces depèn d'una estabilització addicional proporcionada pel subsistema muscular actiu.
- Un subsistema múscul-esquelètic actiu, que inclou músculs i tendons. El subsistema que genera força, aquests músculs funcionen transferint moments angulars i braç de palanca durant la realització d'activitats que integren la cadena cinètica, com ara llançar o xutar (Kibler et al., 2006; Willardson, 2007a).
- Subsistema neuronal i de retroalimentació, rep informació i instrueix el subsistema actiu per aconseguir estabilitat. El subsistema neuronal actiu controla el reclutament de la musculatura del core mitjançant mecanismes d'alimentació i retroalimentació. Els mecanismes d'alimentació són programes motors pre-planificats, mentre que els mecanismes de retroalimentació s'utilitzen per afinar els programes motors a mesura que les habilitats es realitzen amb una major eficiència al llarg del temps. Durant la realització de les habilitats motores, els ajustos posturals anticipatius (per exemple, mecanismes d'alimentació) es produeixen immediatament abans o simultàniament amb el moviment per mantenir l'estabilitat del cos sencer (Bouisset et al., 2000a, 2000b). Es va demostrar que el múscul transvers abdominal era el primer múscul del core que s'activava durant les tasques d'elevació de braços i cames (Hodges i Richardson, 1997). Per tant, és necessària una activació anticipada de la musculatura del core per preparar-se per al moviment.

Partint dels conceptes bàsics d'estabilitat mecànica de la raquis, s'han desenvolupat diversos conceptes funcionals de CS aplicats als àmbits de l'entrenament i la medicina de l'esport. Un dels més utilitzats és el desenvolupat per Kibler et al. (2006) que defineixen la CS com la capacitat per controlar la posició i el moviment del tronc sobre la pelvis, permetent una òptima producció, transferència i control de la força i el moviment cap als elements distals o terminals de les cadenes cinètiques desenvolupades durant activitats esportives. Per altra banda, Liemohn et al. (2005) van utilitzar la conceptualització desenvolupada per Panjabi (1992) per definir la CS com la integració funcional de les estructures passives de la columna vertebral, els músculs o

elements actius i el control neural, de manera que permet a l'individu mantenir les zones neutrals intervertebrals dins dels límits fisiològics, mentre es realitzen activitats de la vida diària.

A vegades el concepte CS és denominat com força del core o en anglès *core strength* (Akuthota i Nadler, 2004; Leetun et al., 2004), i en alguns casos és entès com un constructe ampli que inclou el control propioceptiu, la força, la potència i la resistència de la musculatura del core (Sharrock et al., 2011). No obstant això, tot i que els termes estabilitat del core i força del core estiguin relacionats, no s'han d'utilitzar com a sinònims, ja que això augmenta la confusió terminològica. Segons Reed et al. (2012) la força del core fa referència a la capacitat dels músculs per generar i mantenir la producció de força (capacitats que coneixem com a força i resistència muscular), mentre que el concepte de CS està relacionat amb el control del core durant la generació de força muscular o en resposta a una alteració. Atenent a les diferents consideracions, Vera-Garcia et al. (2015) proposen la següent definició de CS: capacitat de les estructures osteoarticulars i musculars, coordinades per el sistema de control motor per mantenir i recuperar una posició o trajectòria del tronc, quan aquest es sotmès a forces internes o externes.

L'estudi del control motor té com a objectiu comprendre com els músculs, els òrgans sensorials i el sistema nerviós central (SNC) interactuen per produir un moviment coordinat i dinàmicament estable, en terrenys estables, inestables i davant de pertorbacions inesperades (Nishikawa et al., 2007). La investigació del control motor explora com el SNC produeix moviments deliberats i coordinats en la seva interacció amb la resta del cos i el medi ambient (Latash et al., 2010). El control motor implica fonamentalment una sèrie de transformacions de la informació entre diferents nivells i components dels sistemes neuromuscular i esquelètic (Solana-Tramunt, 2011). La informació sensorial (propioceptiva i exteroceptiva) es transformada per estructures sensorials que a la vegada transfereixen un subconjunt de la seva informació al SNC, que després d'una altre transformació, emet un conjunt de comandaments motors, aquests desencadenen el desenvolupament de la força dels músculs que impulsen el moviment, estableixen la posició articular i controlen la mecànica del cos (Nishikawa et al., 2007).

En la zona del core, la funció del control motor és extensa i ha de servir per moure i controlar la columna vertebral en una varietat d'entorns i amb una interacció complexa entre forces internes i externes (Hodges i Moseley, 2003). La musculatura del tronc ha de tenir la suficient força i resistència per satisfer les demandes de control, però l'eficàcia del sistema muscular depèn del seu controlador el SNC (Panjabi, 1992). El SNC ha d'interpretar contínuament el grau d'estabilitat i de moviment, planificar mecanismes per superar estímuls predictibles i iniciar ràpidament l'activitat per respondre estímuls inesperats (Hodges i Moseley, 2003). Ha d'interpretar l'entrada aferent dels mecanoreceptors perifèrics i altres sistemes sensorials, considerar aquesta entrada i els requisits imminents, contra un model de dinàmica corporal i després generar una resposta coordinada de la musculatura del tronc per a què l'activitat muscular esdevingui en el moment correcte, amb una correcta amplitud, i així successivament (Hodges i Moseley, 2003). A més, l'activitat muscular ha de coordinar-se per mantenir el control de la columna vertebral dins d'una jerarquia de nivells interdependents; control de la translació i rotació intervertebral, control de la postura/orientació de la columna vertebral, control del cos respecte al medi ambient (Hodges et al., 1999; Panjabi, 1992).

Per poder entendre completament el concepte de la CS, és essencial comprendre com participa cada múscul en l'esquema general del moviment coordinat. Els músculs abdominals, que comprenen l'abdominal transvers, el recte abdominal, l'oblic intern i l'extern, son encarregats principalment de controlar la posició de la columna i de la pelvis (Sharrock et al., 2011). L'abdominal transvers augmenta la pressió intraabdominal i produeix tensió a la fascia toracolumbar mentre conjuntament els abdominals es contrauen per crear un cilindre rígid per estabilitzar la columna (Cresswell et al., 1994). La fascia toracolumbar és la que connecta les extremitats superiors i inferiors per tal d'integrar les parts superior/inferior i dreta/esquerra de la cadena cinètica (J. L. Young et al., 1996). La fascia toracolumbar esta connectada a l'oblic intern i l'abdominal transvers i funciona per proporcionar una estabilització cilíndrica addicional a la columna vertebral (J. L. Young et al., 1996). També s'ha vist que el diafragma ajuda a l'estabilitat de la columna contraient-se abans que el moviment de les extremitats i independentment de la respiració (Ebenbichler et al., 2001).

Un sistema de classificació inicial dels músculs del core categoritza els músculs com a estabilitzadors locals i mobilitzadors globals (Bergmark, 1989). Els músculs estabilitzadors locals son músculs monoarticulars profunds amb insercions a les vèrtebres o a prop, que principalment funcionen excèntricament per controlar el moviment i mantenir l'estabilització estàtica (Bergmark, 1989). Al contrari, els músculs mobilitzadors globals son normalment músculs superficials biarticulars que connecten el tronc amb les extremitats i funcionen concèntricament per produir grans braços de palanca de moviment i potència (Bergmark, 1989). Aquesta classificació esta àmpliament acceptada i romà com a base per molts programes de CS, no obstant, Behm et al. (2010) i Gibbons i Comerford (2001), pensen que la funció dels músculs rellevants és més complexa i que per tant, cap categoria per separat és més important que una altra.

Gibbons i Comerford (2001) van proposar un model funcional que mantingués els estabilitzadors locals i separés els músculs globals en estabilitzadors (oblics interns i externs, espinal) i mobilitzadors (recte abdominal, ilicostal) (Figura 20). Els estabilitzadors generen força de manera excèntrica per controlar el moviment durant tot el rang de moviment, mentre que els mobilitzadors acceleren de manera concèntrica a través del rang de moviment i actuen com a amortidors, especialment al pla sagital. Behm et al. (2010) també van mantenir la categoria d'estabilitzadors locals i van dividir els músculs globals en mobilitzadors i categoria de transferidors de càrregues. El grup de transferidors de càrregues representa aquells músculs amb insercions axials i apendiculars (com son el gluti major, gluti mitjà, adductors, recte femoral, psoes ilíac, trapezi, dorsal ample, deltoide i pectoral major) que transfereixen força i impuls entre les extremitats i el core al llarg de la cadena cinètica (Behm et al., 2010; Colston, 2012). Els músculs de transferència de càrrega estan separats però son integrants de la CS, ja que tenen insercions de les fàscies que endureixen el core i transfereixen la força a través de la cadena cinètica (Akuthota i Nadler, 2004).

Figura 20. Modificació del sistema de classificació muscular del core de Bergmark



Nota. Imatge adaptada de Colston (2012).

Segons Hodges (2003) existeixen patrons d'activació sinèrgica a la musculatura que controla la pelvis i el tronc. La musculatura del maluc, amb la seva gran àrea de secció transversal, participa tant en l'estabilització del tronc com en la generació de força i energia durant els moviments de les extremitats inferiors en activitats esportives (Hodges, 2003). Per poder produir un moviment eficient i hàbil, la musculatura del core ha de ser activada amb patrons de moviment precisos tant per generar com per absorbir força mentre estabilitza el tronc (Sharrock et al., 2011).

Si apliquem el concepte de CS referit a l'entrenament o a la medicina de l'esport, aquest pot ser entès com una qualitat física modificable amb l'entrenament o la rehabilitació (Vera-García et al., 2015). La musculatura del tronc i la pelvis és imprescindible per mantenir l'estabilitat de la columna i la pelvis i transferir l'energia des del tronc a les extremitats (Tse et al., 2005). Això porta a pensar que si les extremitats estan fortes però el core no, la suma de les forces a través del core resultarà en menys producció de força i patrons de moviment ineficients. La CS implica controlar i transferir dinàmicament grans forces des de les extremitats superiors i inferiors a través del core per tal de maximitzar el rendiment i promoure una biomecànica eficient en activitats esportives (Sharrock et al., 2011). Quan analitzem la CS d'un esportista hem de tenir en compte que aquesta depèn del context (Peter Reeves et al., 2007), de manera que es pot manifestar de manera diferent en funció de les condicions en les que és avaluada.

Una vegada contextualitzat el concepte core i de CS, en el següent punt s'explicarà la relació entre la CS i les lesions.

2.2.2. Estabilitat del core i lesions

Hi ha evidència científica que demostra que millorar la CS condueix a una millor prevenció i rehabilitació de les lesions de la zona lumbar de l'esquena (Hibbs et al., 2008; Hides et al., 2001). Tal i com hem comentat anteriorment, hi ha una correlació entre la falta de CS i el

LBP, així com amb lesions de les extremitats inferiors. S'han aplicat metodologies experimentals portant a terme programes d'entrenament de CS per la millora de lesions i del rendiment en diferents modalitats esportives. Gairebé tots coincideixen en que el treball de CS és una bona eina per la prevenció de lesions i la rehabilitació tant per esportistes (d'elit, subelit i iniciació), com per diferents tipus de poblacions (Barr et al., 2007; Peate et al., 2007; Vera-García et al., 2015; Zazulak et al., 2007).

La musculatura proximal del core ajuda al posicionament de les extremitats i a l'absorció d'energia i per tant, juga un paper important prevenint la desalineació i les lesions dels segments distals de la cadena cinètica (Zazulak i Medvecky, 2019). L'activitat muscular del core prèvia a la seva activació també pot estabilitzar el posicionament distal de la cadena cinètica (extremitats) abans que es produeixin perturbacions inesperades (Zazulak et al., 2005). Asimetries en l'activació de la musculatura del core podrien alterar la mecànica durant tasques esportives, així com una pobre activació de la mateixa musculatura, podria conduir a desalineacions i alterar la capacitat de càrrega del tronc i tots els segments de la cadena cinètica (Zazulak i Medvecky, 2019). Els resultats d'estudis publicats en els últims anys han relacionat deficiències en el control neuromuscular de l'estabilitat del tronc amb lesions de la columna vertebral i les extremitats (Zazulak et al., 2008). Un estudi biomecànic realitzat per Cholewicki et al. (2002) va trobar alteracions en la resposta reflexa dels músculs del tronc davant forces externes (aplicades sobre el tòrax d'una manera controlada) en esportistes que havien finalitzat la seva recuperació després d'una lumbàlgia aguda. Així mateix, estudis que han comparat la resposta dels músculs del tronc de pacients amb dolor lumbar crònic i persones asimptomàtiques, han trobat una major latència en la resposta muscular dels pacients amb LBP davant forces externes (Radebold et al., 2000) i internes (Hodges i Richardson, 1996, 1998), així com un menor control postural tant de peu (Henry et al., 2006) com en sedestació (Radebold et al., 2001). Amb la base dels resultats d'aquests estudis, es considera que el dèficit en el control neuromuscular de l'estabilitat del tronc es un factor de risc de lesions de la raquis lumbar (Borghuis et al., 2008; Zazulak et al., 2008). Tot i que és difícil establir si aquestes deficiències són causa o conseqüència de la lesió lumbar.

En quant a les lesions de les extremitats, l'estudi realitzat per Zazulak et al. (2007) va mostrar correlacions entre diversos factors relacionats amb el control neuromuscular de l'estabilitat del tronc (desplaçament del tronc davant d'una força externa, control propioceptiu de la posició del tronc, història del dolor lumbar, etc.) i les lesions esportives aparegudes durant un període de tres anys en diferents estructures del genoll, principalment en dones esportistes. A més, en un estudi realitzat amb jugadors de bàsquet, i corredors de cros, Leetun et al. (2004) van trobar que la força dels rotatoris externs dels malucs (variable relacionada amb la força del core) va ser un predictor de lesions dels membres inferiors al llarg d'una temporada. No obstant això, la majoria d'estudis que relacionen la CS i les lesions han trobat alteracions en el reclutament muscular (per exemple, el temps, l'amplitud i la resistència) i no en la falta de força de la musculatura del core, indicant que el mal funcionament de core podria estar més lligat a un problema del control neuromuscular que a un problema de força del core (Huxel Bliven i Anderson, 2013).

En els últims temps, sembla que a la GR hi ha una tendència a treballar la flexibilitat en excés i sobretot la híper-extensió lumbar (Agopyan, 2021), induïda pels requeriments del codi de puntuació internacional (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). Aquests requeriments

en l'entrenament de GR poden causar LBP i lesions a les extremitats inferiors (Gram et al., 2021; Oltean et al., 2017). Un estudi que va implementar un programa de vuit setmanes d'entrenament de core en joves gimnastes va concloure que la CS podria ajudar a prevenir i reduir el LBP en aquesta població i va recomanar l'entrenament de core com a part de les sessions de gimnàstica (Harringe et al., 2007). En la mateixa línia, un altre estudi realitzat amb gimnastes d'artística universitàries, va concloure que un entrenament de deu setmanes de core va millorar la resistència del tronc de les gimnastes, les quals no van presentar lesions d'esquena durant el següent any i, per tant, es suggereix que podria haver una relació entre la resistència del core i la reducció i prevenció de lesions (Durall et al., 2009). Esportistes que posseïxin nivells més elevats de CS podrien tenir menys risc de lesions i per tant, això ajudaria a no interrompre els entrenaments (Sharrock et al., 2011).

Havent vist l'evidència d'estudis previs pel que respecta a la relació de la CS i el risc de lesions, els entrenaments per millorar el rendiment dels esportistes haurien de tenir en compte l'estabilització de la columna vertebral, per tal d'evitar possibles lesions relacionades amb les extremitats inferiors i el LBP. Tenint en compte que en la GR és requereixen un gran nombre d'elements de flexibilitat d'híper-extensió de la columna vertebral, la necessitat de mantenir l'estabilitat d'aquesta zona del cos per evitar possibles lesions és un aspecte molt important a considerar a l'hora de dissenyar programes d'entrenament que millorin el rendiment en GR.

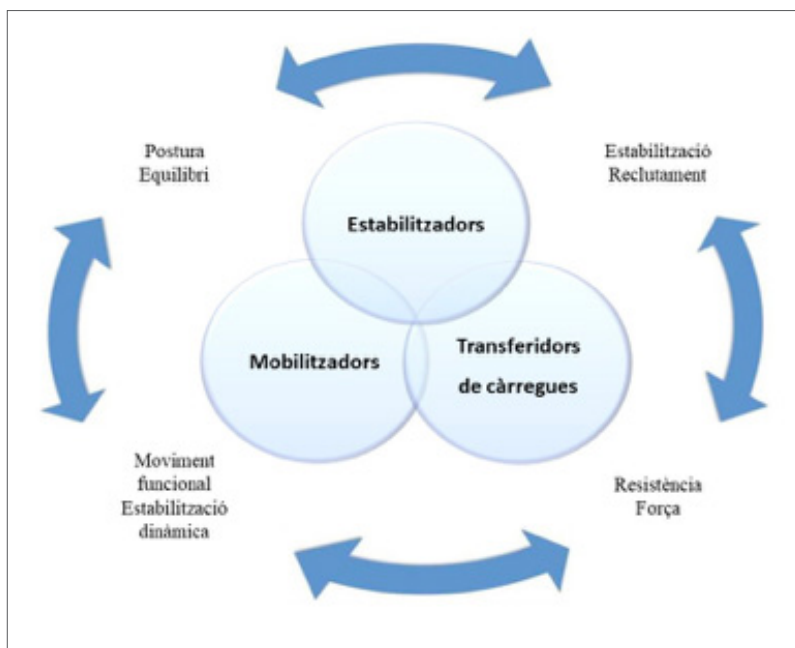
A continuació revisarem les maneres d'avaluar i mesurar la CS.

2.2.3. Avaluació

Mesurar la CS és una tasca difícil, sense cap prova ni mesura que serveixi com a estàndard de referència (Sharrock et al., 2011). Una de les limitacions més importants en els estudis relacionats amb la CS està relacionada amb l'ambigüitat existent sobre la definició del concepte CS, ja que l'existència de múltiples definicions ha provocat la utilització de mesures molt diverses per avaluar aquesta capacitat (Vera-García et al., 2015). Generalment, per mesurar el rendiment esportiu de la CS, s'han utilitzat tests de salt, aixecament de peses, llançaments, colpejos, sprints, canvis de direcció i avaluació del control postural, que mesuren capacitats físiques importants per al rendiment dels esportistes, com la velocitat, l'agilitat, la força, la potència i l'equilibri (Mills et al., 2005; Reed et al., 2012; Sharrock et al., 2011). No obstant, aquestes proves són genèriques i no acostumen a estar basades en els moviments i tècniques utilitzades de forma específica en cada esport (Vera-García et al., 2015).

La CS es una complexa interacció entre músculs locals, globals i que transfereixen càrrega, el control neuromuscular, i les demandes específiques de la tasca que s'executa, per això, una avaluació acurada de la CS no és menys complexa (Huxel Bliven i Anderson, 2013). Els programes de prevenció de lesions que tenen com a objectiu la CS es focalitzen en millorar el reclutament dels músculs globals estabilitzadors, globals mobilitzadors i de transferència de càrregues, restaurar la força i resistència muscular i recuperar la postura i l'equilibri a través de la regulació del sistema de control neuromuscular per obtenir millores generals en la funcionalitat (Figura 21). En el rendiment esportiu, a més de tenir en compte aquesta funcionalitat de la CS, es busca la millora de qualitats físiques, moviments i tècniques pròpies de cada esport (Vera-García et al., 2015).

Figura 21. Estabilitat funcional del core



Nota. Aquesta figura il·lustra els diversos components i rols que interactuen per aconseguir l'estabilització funcional del core (Huxel Bliven i Anderson, 2013).

Una gran quantitat de tests mesuren la CS, molts dels quals són vàlids i fiables (Azevedo et al., 2013; Hebert et al., 2010; Kibler et al., 2006; Liemohn et al., 2005; McGill et al., 1999; Minick et al., 2010). Aquests tests sovint mesuren un aspecte de la CS, com el reclutament muscular, força i resistència muscular, control postural, equilibri o patrons de moviment. La gran quantitat de tests que avaluen diferents dimensions de la CS ressaltava la tasca complexa i multidimensional del core sobre la cadena cinètica i els moviments funcionals (Huxel Bliven i Anderson, 2013).

Avaluació del reclutament muscular

Potser una de les maneres més simples d'avaluar la funció muscular del core es determinar si l'esportista produeix contracció volitiva dels músculs del core, específicament de l'abdominal transvers i el multífid del raquis (Huxel Bliven i Anderson, 2013). S'han trobat alteracions en els patrons de reclutament d'aquesta musculatura en subjectes amb LBP o CS vulnerada (Hebert et al., 2010; Hodges i Richardson, 1996, 1998). Les respostes endarrerides dels reflexos musculars del tronc poden ser una condició preexistent i no una adaptació resultant després de l'aparició de LBP (Cholewicki et al., 2005). La contracció voluntària de l'abdomen transvers s'avalua palpant els músculs profunds medialment i inferior a les espines ilíaqües, just al lateral del recte abdominal, això es fa mentre l'esportista activa la musculatura sense respirar profundament (Barr et al., 2007). L'avaluació del multífid es pot realitzar amb l'esportista en posició de decúbit pron i palpant els paraespinals durant la maniobra buidatge abdominal (o *drawing in maneuver* en anglès). A causa de la naturalesa profunda del multífid, això pot ser difícil d'apreciar clínicament. Aquestes proves inicials poden identificar esportistes amb reclutament i/o funció muscular anormals i indicar la necessitat d'una avaluació més completa a posteriori. La informació de l'activitat muscular es pot recollir mitjançant l'electromiografia (EMG) per examinar l'activació i

desactivació muscular de la zona del core després de la descàrrega (Behm et al., 2010). Esportistes amb LBP presenten un reclutament alterat de la musculatura del core després de l'alliberament de la càrrega (Cholewicki et al., 2002).

Avaluació de la força i resistència muscular de la CS

Més enllà de la contracció volitiva dels músculs del core, molts tests han mesurat la força i resistència del core (Barr et al., 2007; Hebert et al., 2010; Liemohn et al., 2005; McGill et al., 1999). Tres tests de CS s'han utilitzat extensivament per experts incloent la planxa lateral dreta i esquerra, el test de resistència en la flexió del tronc i el test de resistència en l'extensió del tronc (McGill et al., 1999). La mitjana del temps de resistència i les relacions entre proves proporcionen orientacions per interpretar els resultats (McGill et al., 1999).

Els tests de McGill et al. (1999) avaluen la força isomètrica del core. La resistència muscular podria ser un factor més important en la CS que la força muscular (Borghuis et al., 2008; Lederman, 2010). Hi ha altres tests que avaluen la resistència muscular del core, com per exemple, el *hip bridge* o *pelvic tilt*, que consisteix en una elevació de la pelvis amb el subjecte posicionat en decúbit supí i els genolls flexionats a 90° paral·lelament entre ells (Vezina i Hubble-Kozey, 2000). S'avalua la resistència de la musculatura del gluti major el gluti mig, el dorsal llarg i el multifid (Ekstrom et al., 2007).

Un dels protocols més utilitzats per mesurar la CS realitzant moviments de les extremitats inferiors és el protocol de proves de CS de cinc nivells de Sahrman (Faries i Greenwood, 2007). El test de Sahrman de cinc nivells de CS consisteix en cinc maniobres de moviment de les extremitats inferiors, les quals progressivament augmenten la seva dificultat (de l'1 al 5) (Faries i Greenwood, 2007). Un estudi realitzat mitjançant electromiografia (EMG) va concloure que el test de Sahrman es podria utilitzar per avaluar la resistència del core.

Tot i la gran acceptació de la importància de la resistència muscular del core, és possible que aquestes proves no reflecteixin amb precisió la funció muscular durant l'activitat esportiva (Huxel Bliven i Anderson, 2013). Una combinació d'aquests tests amb tests més específics i funcionals que reproduïxin els moviments de cada esport, podria ser més beneficiós per avaluar la CS (Kibler et al., 2006; Leetun et al., 2004). Kibler et al. (2006) van recomanar avaluar la CS en diverses posicions mitjançant proves en múltiples plans de moviment, proves de cadena tancada contra cadena oberta, contraccions concèntriques contra contraccions excèntriques de la musculatura (equilibri estàtic sobre un peu, esquats sobre un peu i equilibri sobre un peu amb moviment del peu o la mà en direcció als tres plans de moviment). Amb els tests d'equilibri s'avalua el control motor, una de les dimensions de la CS.

Avaluació del control motor del core

L'equilibri en bipedestació pot ser avaluat per desviacions amb els braços per mantenir l'equilibri o el control del balanceig postural (Kibler et al., 2006). Les desviacions suggereixen déficits en la CS proximal, incloent les transferències de càrregues de la musculatura dels malucs (Kibler et al., 2006). Deficiències en la CS inclouen l'ús dels braços per mantenir l'equilibri i moviment excessiu del tronc (Kibler et al., 2006). En l'estudi de Waldhem i Li (2012) s'utilitzen tests de propiocepció i equilibri per avaluar el control motor del core, un test de reposició

passiva per a cada maluc i un test d'equilibri unipodal amb les dues extremitats inferiors amb ulls oberts i ulls tancats. El test de reposició passiva va ser adaptat al mètode proposat per Zazulak et al. (2007), de reposició de columna lumbar, adaptant-lo a la reposició de malucs. L'objectiu de les proves de reposició és que el participant aturi la part del cos que es avaluada a un grau determinat de moviment o *range of movement* (ROM) (Waldhelm i Li, 2012). Els dos tests es van realitzar amb l'instrument Biodex System 3 Pro utilitzant diferents modes, el passiu i el d'equilibri. Per avaluar l'equilibri i el control postural l'instrument més utilitzat és la plataforma de forces (Paillard i Noé, 2015) (S'ampliarà la informació sobre l'equilibri i el control postural en l'apartat 2.3).

Els tests de control motor lumbopelvià s'han utilitzat per mesurar el control motor de la zona lumbopelviana mitjançant la unitat de biofeedback per pressió o en anglès *pressure biofeedback unit* (PBU) (Liebenson et al., 2009; Zazulak i Medvecky, 2019). Destaca sobretot per ser un instrument econòmic de fàcil ús i transport. Es tracta d'un dispositiu inflable el qual registra el canvi de pressió durant diferents moviments de l'extremitat inferior, els canvis de la posició del cos modifiquen la pressió de l'aparell (França et al., 2012). Amb els tests de PBU s'avalua el control motor de la zona lumbopelviana, indicant millor rendiment quan la variació de la pressió es menor durant els moviments de les extremitats inferiors (Solana-Tramunt et al., 2019). El test de PBU consta de diferents tests segons els moviments que realitzen les extremitats inferiors en els diferents plans (Azevedo et al., 2013). Els més utilitzats són els següents:

- El test d'extensió de genoll o *Active Straight Leg Raise* (ASLR) en anglès. Consisteix en l'elevació de 15° d'una de les extremitats inferiors en extensió durant deu segons realitzant una flexió de maluc des de la posició de decúbit supí per avaluar el control motor de la zona lumbopelviana en el pla sagital del moviment (Liebenson et al., 2009; Roussel et al., 2007).
- El test de rotació interna/externa de maluc o *Bent Knee Fall Out* (BKFO) en anglès, que consisteix en realitzar un abducció i rotació de maluc amb l'extremitat inferior flexionada a 90° des de la posició de decúbit supí per avaluar el control motor de la zona lumbopelviana en el pla frontal i horitzontal (Comerford i Mottram, 2001).
- El test de flexió de maluc amb flexió de genoll o *Knee Lift Abdominal Test* (KLAT) en anglès, consisteix en realitzar una flexió de maluc amb el genoll flexionat des de la posició de decúbit supí per avaluar el control motor de la zona lumbopelviana en el pla sagital (Roussel et al., 2007).
- El test d'activació abdominal pron o *prone test* en anglès, consisteix en activar el transvers abdominal durant deu segons en la posició de decúbit pron per avaluar el control motor de la zona lumbopelviana (Lima et al., 2012).

Avaluació del moviment funcional

Les proves de reclutament muscular, força i resistència poden reflectir components aïllats de l'estabilitat del core, però sovint no proporcionen una imatge completa i global de la CS de l'esportista sota diferents càrregues, posicions i tasques (Huxel Bliven i Anderson, 2013).

Recentment, ha sorgit un canvi en l'avaluació dels patrons de moviment, afegint una altra perspectiva a les avaluacions aïllades de la funció muscular, la força i la resistència. El *functional movement screen* (FMS) tracta d'avaluar 7 patrons de moviment i examinar components d'estabilitat i mobilitat que quantifiquen la capacitat funcional (Minick et al., 2010). En aquestes proves, la CS proporciona una base estable per a la transferència de càrrega al llarg de la cadena cinètica des de i cap a les extremitats (Huxel Bliven i Anderson, 2013). La fiabilitat del FMS és prometedora i pot ser una forma beneficiosa de controlar el risc de lesions dels esportistes (Minick et al., 2010). Per avaluar el rendiment de la CS en l'esport potser caldria avaluar exercicis i moviments específics de cada esport a través d'experts o jutges que determinin que l'execució de l'acció és correcta.

Independentment dels tests que s'utilitzin per avaluar la CS, cal enfocar l'avaluació de manera equilibrada cap a la força muscular, la resistència i el sistema sensoriomotor en diverses postures (Huxel Bliven i Anderson, 2013). Sembla que pot ser més apropiat utilitzar una mesura dinàmica de la CS que imiti moviments complexos, explosius i en múltiples plans de moviment (Sharrock et al., 2011). No obstant això, en l'actualitat, la literatura no ofereix una mesura fiable i vàlida que s'ajusti a aquests criteris. Els moviments funcionals requereixen mobilitat i estabilitat dins de la cadena cinètica i semblen ser un mètode raonable per comparar l'estabilitat i el rendiment del core perquè tenen una naturalesa dinàmica (Sharrock et al., 2011). No obstant això, Okada et al. (2011) van demostrar que, en el millor dels casos, només es van trobar relacions febles entre la CS i moviments funcionals, i no hi havia cap relació significativa amb la FMS. Això suggereix que l'avaluació mitjançant FMS pot ser limitada en quant a la seva capacitat de predir el rendiment esportiu (Sharrock et al., 2011). Per tant, a l'hora d'avaluar el paper de la musculatura del core durant les tasques esportives, és important tenir en compte les demandes de totes les articulacions i músculs de la cadena cinètica, incloses les distals i properes al core. És poc probable que una sola articulació o múscul que actuï de forma aïllada contribueixi al rendiment o a disminuir el risc de lesions (Behm et al., 2010).

Els instruments més comunament utilitzats en la literatura científica per avaluar la CS són la EMG o les tècniques d'anàlisi de la posició mitjançant la plataforma de forces entre altres (Vera-García et al., 2015). S'ha de tenir en compte que aquests són d'elevat cost i ofereixen poques possibilitats de transport per realitzar avaluacions de camp, per la qual cosa no es respecta la validesa ecològica dels estudis amb esportistes en les seves instal·lacions habituals d'entrenament o competició (Castillo et al., 2018). Per tant, tests com els de PBU o tests de força i resistència de la CS poden ser opcions a considerar per avaluar el rendiment de la CS dels esportistes.

Una vegada revisades les formes d'avaluar la CS, continuarem amb els diferents programes d'entrenament que treballen el core i de quina manera es recomana realitzar-los.

2.2.4. Programes d'entrenament

En el món de l'esport professional i amateur són habituals els programes de condicionament físic de la musculatura del tronc, coneguts com entrenament del core o en anglès *core training* (CT) (Faries i Greenwood, 2007; McGill, 2010). Els objectius dels programes de CT acostumen

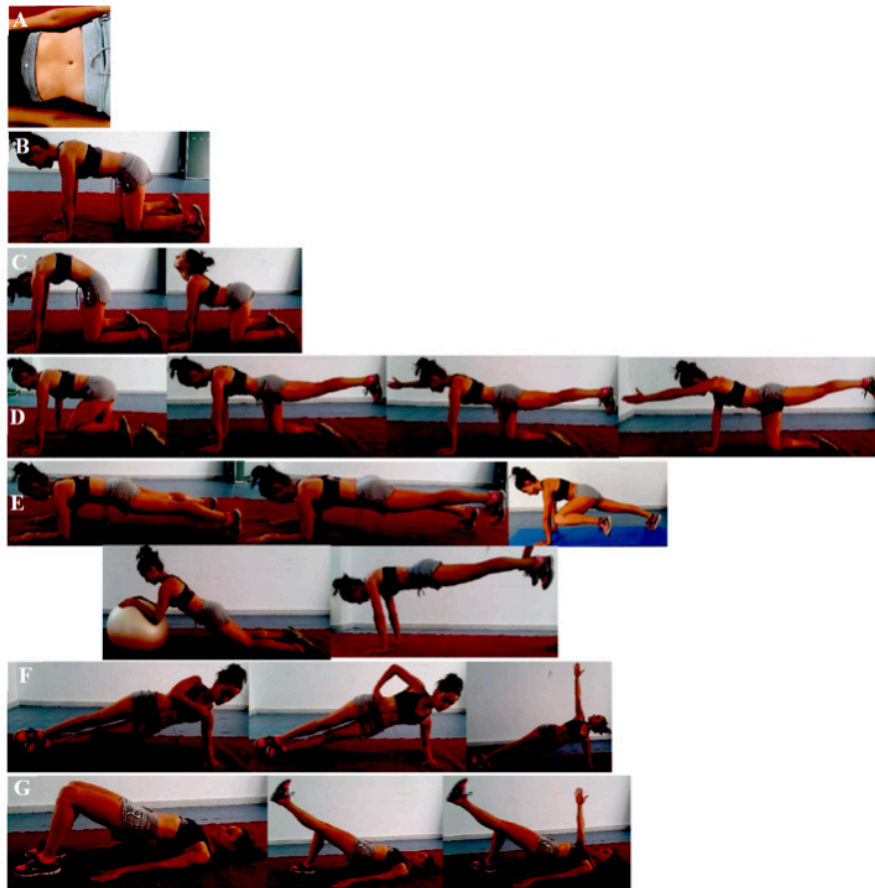
a ser de prevenció o recuperació de lesions i de millora del rendiment esportiu, mitjançant el desenvolupament de les diferents qualitats dels músculs del tronc, especialment la força, la resistència i l'estabilització de les estructures del core (Vera-García et al., 2015). La definició de rendiment, al igual que les definicions de CS i força del core, difereix entre els sectors de la rehabilitació i el de rendiment esportiu (Hibbs et al., 2008). En el sector de la rehabilitació, millorar el rendiment per a un pacient amb LBP seria la capacitat de realitzar tasques quotidianes sense dolor (Hides et al., 2001; McGill, 2001); mentre que en el sector de l'esport, un millor rendiment no necessàriament es caracteritzaria per no tenir dolor, sinó per millorar la tècnica per córrer més ràpid, llançar més lluny o saltar més amunt (Myer et al., 2005), encara que també podria incloure un resultat amb menys lesions, aspecte que millora el rendiment dels esportistes al no haver d'interrompre l'entrenament (Sharrock et al., 2011).

Segons Lee (2019) els programes de core per prevenir lesions haurien d'emfatitzar un treball dual de la capacitat muscular del core i el control neuromuscular. Zazulak i Medvecky (2019) proposen dues fases d'entrenament del core per prevenir lesions, una fase d'estabilització estàtica i una fase d'estabilització dinàmica. A la fase estàtica l'objectiu es treballar l'activació neuromuscular, la propiocepció, l'equilibri i un control coordinat de la musculatura del tronc. Els exercicis s'han de realitzar en diverses posicions incloent posició decúbit supí, decúbit pron, quadrúpeda, estirats lateralment i de peu per poder incidir en tota la musculatura del core. A la fase dinàmica, els components clau per intervencions exitoses inclouen entrenament propioceptiu, d'equilibri i entrenament d'estabilitat neuromuscular; ús de superfícies inestables, entrenament amb pertorbacions, suspensions i activitats propioceptives. A la fase dinàmica s'ha de donar èmfasi a exercicis de ritme ràpid i relacionats amb la tècnica de l'esport. La biomecànica específica de cada esport ha de ser considerada (Zazulak i Medvecky, 2019).

Lehman (2006) creu que degut a que només es requereix un mínim nivell de contracció muscular per estabilitzar la columna vertebral, la resistència muscular podria ser més important que la força muscular. Lehman (2006) va identificar diversos exercicis (planxes frontals i laterals, squats, abdominals asseguts aixecant la part alta de l'esquena, elevacions d'extremitats inferiors i superiors en la posició quadrúpeda) per desenvolupar la resistència muscular del core, ja que tots els exercicis activen suficientment tota la musculatura anterior, lateral i posterior del tronc sense excedir els límits de compressió i càrrega excessiva, la qual cosa podria predisposar el cos a lesions. Això està recolzat per McGill (1998), que suggereix que la resistència muscular és més important per a l'estabilitat que la força muscular, i per Faries i Greenwood (2007) que suggereixen que la resistència s'ha d'entrenar abans que la força i d'aquesta manera focalitzar-se en establir els sistemes correctes de control motor abans d'augmentar la força del core.

Un altre concepte crític per a al disseny del CT en prevenció i rehabilitació de lesions és que els detalls de la tècnica són importants (McGill, 2010). No es tracta de realitzar un exercici, sinó de realitzar-lo a la perfecció, la forma de l'exercici, les maniobres subtils per eliminar el dolor, el ritme, la durada i altres consideracions són extremadament importants (McGill, 2010) (Figura 22).

Figura 22. Proposta d'entrenament de core



Nota. Imatge extreta de Esteban-Garcia et al. (2021), basada en l'entrenament de core de McGill (2010). (A) Hollowing (buidat) ; (B) Bracing (suport); (B) Dissociation (dissociació); (C) Cat-Camel (gat-camell); (D) Quadrupedal (quadrúpede); (E) Front Bridge (pont frontal); (F) Side Bridge (pont lateral); (G) Supine Bridge (pont supí).

A causa de les diferents exigències durant les activitats esportives, s'entrenen exercicis més complexos (normalment moviments molt dinàmics amb resistència afegida) en comparació amb els que s'utilitzen per entrenar la població general (majoritàriament de naturalesa estàtica) (Faries i Greenwood, 2007). Com a resultat, les conclusions de les investigacions realitzades en pacients amb LBP i la població en general no es poden extrapolar a esportistes amateurs i d'elit (Hibbs et al., 2008). Aquesta incapacitat per generalitzar els descobriments juntament amb definicions inconsistentes de la CS dificulta la recopilació i l'aplicació de dades significatives i, sens dubte, ha conduït a descobriments contradictoris i no concloents obtinguts fins al moment (Hibbs et al., 2008). Així mateix, s'ha suggerit que és important tenir suficient força i estabilitat perquè el cos funcioni de manera òptima tant en entorns quotidians, com esportius i que, tenint prou estabilitat i força del core, podria ajudar a millorar el rendiment esportiu (Myer et al., 2005).

A més dels possibles beneficis del CT sobre la prevenció i la recuperació de lesions de l'aparell locomotor, autors com Kibler et al. (2006) també suggereixen que és possible optimitzar el rendiment dels esportistes a través del desenvolupament de la part central de les cadenes cinètiques implicades en la majoria d'accions esportives, facilitant la transmissió de forces, generades pels

membres inferiors, cap als membres superiors i viceversa. S'ha demostrat en estudis de EMG que l'activació dels músculs del tronc precedeix a la de les extremitats (Hodges i Richardson, 1997), el que ha estat interpretat com una forma de crear una base estable per al moviment de les extremitats. A aquest fenomen se l'ha denominat estabilització proximal per mobilització distal o en anglès *proximal stability for distal mobility* (Putnam, 1993). A més, tenint en compte que la part superior del cos constitueix les dues terceres parts del pes corporal total (Dumas et al., 2007) i que aquesta massa es troba generalment elevada en relació al terra, un control adequat dels moviments i la postura del tronc, és considerat un factor important per l'equilibri corporal (Preuss i Fung, 2008), capacitat clau per al rendiment en molts esports (van Dieën et al., 2012).

S'han suggerit diversos mètodes d'entrenament per millorar el control neuromuscular (part important de la CS), aquests inclouen exercicis d'estabilitat articular (Behm et al., 2002), exercicis de contracció (concèntrica, excèntrica i isomètrica) (M. L. Pollock et al., 1989), entrenament d'equilibri (Cosio-Lima et al., 2003), entrenament propioceptiu (amb pertorbacions), exercicis pliòmètrics i entrenament d'habilitats esportives específiques.

La pliometria, entrenament que inclou exercicis ràpids i repetitius d'estirament i contracció de la musculatura (saltos i rebots) per incrementar la potència muscular, facilita l'adaptació neuromuscular i emfatitza el control de tota la cadena cinètica. Els principis pliòmètrics han estat utilitzats al llarg del temps en els entrenaments de Rússia i Ucraïna (Verkhoshansky, 1967), aquests incideixen en el treball de potència i de CS. La pre-activació de la musculatura del core augmenta després d'haver realitzat entrenament pliòmètric, per tant, és altament recomanable realitzar entrenament pliòmètric per tal de millorar la funcionalitat de la CS (Myer et al., 2005). (Més informació sobre l'entrenament pliòmètric en l'apartat 2.4.3).

Fisiològicament, es creu que el CT condueix a una major potència màxima i un ús més eficient dels músculs de les espatlles, braços i cames (Lehman, 2006). Això teòricament té com a resultat un menor risc de lesions i efectes positius sobre el rendiment esportiu, en termes de velocitat, agilitat, potència i resistència aeròbica (Tse et al., 2005). Els programes d'entrenament que intenten millorar l'habilitat del core d'un individu inclouen estratègies per recuperar el control del lloc i la direcció de les deficiències de CS a un llinar adequat d'entrenament (Hibbs et al., 2008). Normalment, els programes estan dissenyats per:

- Incrementar l'amplitud de moviment de les articulacions i l'extensibilitat muscular
- Millorar l'estabilitat articular
- Incrementar el rendiment muscular
- Optimitzar la funció del moviment

En una revista especialitzada en CT s'indica que el core es pot entrenar per aconseguir múltiples objectius incloent l'activació muscular i correcció de disfuncions, augmentar diferents tipus d'estabilitat i/o desenvolupament de força muscular, potència i resistència (Schoenfeld i Contreras, 2011). Que el CT afecti d'una manera o un altre a l'esportista dependrà de com s'executin els exercicis. Per cada tipus de CT recomanen seguir unes pautes (Schoenfeld i Contreras, 2011):

- **Activació muscular i correcció de disfuncions:** Exercicis de càrrega baixa que incrementin la mobilitat i estabilitat articular així com el control motor priorititzant la correcta execució de l'exercici. Aquests exercicis serveixen per prevenció i recuperació de lesions.
- **Estabilitat:** Exercicis d'equilibri funcional que ajudin a millorar l'estabilitat segmental, de la columna o de tot el cos. Es treballa la propiocepció i la coordinació. Es poden utilitzar superfícies inestables i contraccions dinàmiques per incrementar l'estabilitat de la columna i normalment s'utilitzen exercicis de contracció isomètrica per aconseguir transmetre força a la resta del cos. Hi ha dos tipus d'exercicis comuns que treballen l'estabilitat; els isomètrics de tot el cos (p. ex. planxa de colzes) i els isomètrics de core amb moviment de les extremitats (p. ex. planxa amb només tres punts de recolzament).
- **Força:** Exercicis isomètrics o dinàmics. Es reporta que els exercicis isomètrics també serveixen per augmentar la força, però potser són més adequats per l'estabilitat i els exercicis de core dinàmics ajuden a augmentar més la hipertrofia muscular (Contreras i Schoenfeld, 2011).
- **Potència:** Una varietat de mètodes d'entrenament i velocitats de contracció que inclouen exercicis d'estabilitat del core, balístics i pliomètrics, exercicis de força explosiva i entrenament de resistència poden ajudar a maximitzar la potència del core. Aquesta potència de core és necessària per molts moviments de contracció ràpida inclosos en els esports com saltar, llençar o xutar.
- **Resistència:** Una alta repetició de sèries d'exercicis de core ajudarà a millorar la resistència. El treball de la resistència muscular del core es considera més important per la prevenció de LBP i altres lesions que per augmentar la força del core (McGill, 2001).

Molts CT específics per un esport no inclouen l'entrenament de control motor de baixa càrrega, el qual s'ha identificat com una part essencial en l'entrenament d'estabilitat i força del core (Comerford i Mottram, 2001). En descuidar els músculs locals, la força produïda pels músculs globals serà massa gran perquè els músculs locals la puguin controlar i comportarà un major risc de lesions (Faries i Greenwood, 2007). Es creu que l'entrenament amb càrrega elevada canvia l'estructura muscular, mentre que l'entrenament amb baixa càrrega millora la capacitat del SNC per controlar la coordinació muscular i, per tant, l'eficiència del moviment (Comerford i Mottram, 2001). Per tant, mitjançant la realització d'un programa ben estructurat i funcional que utilitzi entrenaments de baixa i alta càrrega, s'haurien d'aconseguir millores en tots els processos que contribueixin a l'estabilitat i la força del core, cosa que repercutirà en el rendiment esportiu (Hibbs et al., 2008). L'entrenament amb càrrega baixa i alta implica diferents tipus de moviments; per exemple, l'entrenament amb poca càrrega implica exercicis menys exigents i relacionats amb la postura, que se centren en el reclutament muscular, mentre que l'entrenament amb càrrega elevada pot implicar exercicis com squats amb sobrecàrrega i aixecament de cames amb el cos en suspensió, això provoca més tensió a la musculatura del core i també afavoreix el desenvolupament de la força del core (Hasegawa, 2004).

El tronc i el tors són capaços de mobilitzar-se en un nombre il·limitat de plans (Brittenham i Brittenham, 1997). A causa d'això, l'entrenament de força tradicional, estàtic i en un sol pla, no serveix per la millora de la CS en esportistes (Hedrick, 2000). En canvi, activitats que incorporin flexió, extensió, rotació i un nombre infinit de combinacions d'aquests tres moviments bàsics desenvoluparan el core de manera més completa (Hedrick, 2000). La majoria d'esports impliquen activitat en els tres plans de moviment. En canvi, els exercicis aïllats i inespecífics acostumen a implicar només un o dos plans de moviment. Els tres plans de moviment són els següents: a) Moviments en pla frontal, els quals inclouen flexió o inclinació lateral cap al costat dret i esquerre, b) Moviments en el pla sagital, els quals inclouen flexió i extensió del tronc cap endavant o cap enrere i, c) Moviments en el pla transversal, els quals inclouen rotacions o torsions cap al costat dret i esquerre (Cook i Fields, 1997). L'objectiu durant l'entrenament del tronc és que aquests tres plans de moviment estiguin integrats en els moviments i no aïllats complementant dels altres (Hedrick, 2000). La integració d'aquests moviments produeix activitat a través de la cadena cinètica, i no sempre és la força, sinó la coordinació, la que proporciona un moviment eficaç i eficient (Cook i Fields, 1997). També, a més de la força activa dels músculs, la pressió intra-abdominal contribueix a l'estabilitat de la columna (Cholewicki et al., 2002). En un principi s'havia recomanat realitzar els exercicis abdominals pressionant la paret abdominal contra la columna, (tècnica de *hollowing* en anglès) (Richardson i Jull, 1995). L'enfonsament la paret abdominal redueix el braç de palanca dels músculs oblics interns i externs i del recte abdominal, reduint així el seu potencial per estabilitzar la columna vertebral (Grenier i McGill, 2007a). Per contra, la generació de pressió intra-abdominal mitjançant la contracció de tots els músculs abdominals principals (tècnica de *bracing* en anglès) sembla estabilitzar millor la columna vertebral (Grenier i McGill, 2007a).

També és important integrar un programa específic de CS en activitats funcionals (Kibler et al., 2006). Els entrenaments de core haurien de ser funcionals en tots els esports i l'objectiu és que el reclutament muscular requeri esdevingui automàtic i aconseguir una coordinació adequada d'activació dels segments que formen part de la cadena cinètica en cada esport (Kibler et al., 2006). Sembla ser que els exercicis que s'utilitzen en el CT no són similars i estan fora de context dels moviments tècnics de cada esport, la qual cosa fa necessària la implementació de programes funcionals per la validació de l'entrenament de core per al rendiment esportiu (Lederman, 2010). Per tant, si volem implementar un entrenament de CS per gimnastes de rítmica és important incloure tècniques i moviments funcionals que després realitzaran en els exercicis de competició. Lederman (2010) va proposar un model de control de moviment per ballarins que pogués explicar l'estabilitat dinàmica i el control motor lumbopelvià dels ballarins i va suggerir que el control motor del moviment depèn de diversos factors bàsics, incloent la força, la velocitat, la resistència i el control sinèrgic i la coordinació de les contraccions i l'activació neuromuscular recíproca (Lederman, 2010). Tots aquests factors actuen junts; si hi ha algun trastorn o si es modifica algun dels factors, el control motor del moviment es veurà afectat (Lederman, 2010). Tot i que hi ha estudis que han trobat correlacions entre el CT i el rendiment esportiu, es necessita més recerca amb un programa d'entrenament adequat i protocols de mesura adients i sensibles (Borghuis et al., 2008).

En referència als entrenaments amb superfícies inestables, s'ha demostrat que incrementen la demanda de la musculatura de tronc i per tant, milloren la CS i l'equilibri (Borghuis et al., 2008). Kornecki et al. (2001) van informar que, situar-se sobre un suport inestable provoca que els miopotencials dels músculs estabilitzadors precedeixin l'instant d'aplicació de força. En la mateixa línia, Slijper i Latash (2000) van reportar un augment anticipat de l'activitat muscular de l'erector de la columna i el recte abdominal, d'entre altres i aquests ajustaments posturals anticipatius minimitzen la posterior desestabilització postural. L'entrenament en superfícies inestables desafiarà la musculatura i portarà a entrenar el cos davant pertorbacions inesperades, probablement ajudant a millorar l'equilibri i la propiocepció (Akuthota i Nadler, 2004). La idea bàsica de realitzar exercicis sobre superfícies inestables és que es requereix menys càrrega per crear la mateixa activitat en la musculatura sobre la que volem incidir, a més, s'ha assumit que les altes demandes coordinatives resultants del treball en superfícies inestables, requereixen una activitat més intensa dels músculs estabilitzadors del tronc, la qual cosa suposadament conduirà a un entrenament més eficaç de la força (Wirth et al., 2017).

Hi ha molts dispositius d'inestabilitat disponibles per al condicionament físic i esportiu (Behm et al., 2010). Potser el dispositiu d'inestabilitat més conegut es la pilota suïssa o «fitball» amb aire a pressió que es pot comprar en diversos diàmetres. Un altre dispositiu comú és la «fitball» amb forma hemisfèrica amb un costat de mitja pilota inflada i un costat pla de goma dura del qual es pot fer ús pels dos costats (per exemple, el BOSU). Altres dispositius inclouen discos inflables, taulers d'equilibri o balanceig, tubs d'escuma i plataformes d'escuma d'alta i baixa densitat. Les cintes i cordes suspeses es poden utilitzar per disminuir l'estabilitat mentre es realitzen exercicis com flexions i planxes. Les superfícies naturals (per exemple, sorra) també es poden utilitzar com a bases d'inestabilitat, cosa que suposa un major repte per equilibrar i forçar la producció en condicions inestables. Molts d'aquests dispositius s'han utilitzat anteriorment en entorns de rehabilitació per augmentar l'activació de la musculatura del core per a la salut de l'esquena, i ara també s'utilitzen àmpliament amb finalitats esportives (Behm et al., 2010).

Des del punt de vista de la rehabilitació, s'ha demostrat que l'ús de dispositius inestables és eficaç per disminuir la incidència del dolor lumbar i augmentar l'eficiència sensorial dels teixits tous que estabilitzen les articulacions del genoll i el turmell (Caraffa et al., 1996). Per altra banda, no s'han d'utilitzar dispositius inestables quan l'objectiu principal de l'entrenament és la hipertròfia, la força absoluta o la potència, ja que la generació de força, la producció de potència i la velocitat del moviment es veuen deteriorades i poden ser insuficients per estimular les adaptacions desitjades (Behm et al., 2010). Si s'han d'utilitzar dispositius inestables durant aquestes fases, haurien de ser només per entrenament complementari (per exemple, dies de descans actiu). A més, els entrenadors han de seguir observant els errors en la tècnica dels esportistes que poden provenir de la inestabilitat (Drinkwater et al., 2007).

Les demandes dels exercicis de resistència per estabilitzar la columna vertebral es poden regular mitjançant modificacions a la base del suport (per exemple, des d'una superfície estable a un dispositiu inestable), la postura (per exemple, des d'una postura asseguda a una de peu), el tipus de material utilitzat (per exemple, des de l'ús de màquines fins a l'ús de peses lliures), com es realitza l'exercici (per exemple, d'una tècnica o postura bilateral a unilateral) o afegir resistència addicional (Behm et al., 2002; Willardson, 2007b). Les millores en la capacitat d'estabilitzar

la columna vertebral poden produir-se de forma natural juntament amb el desenvolupament d'altres característiques (per exemple, l'equilibri) si els esportistes reben instruccions sobre un correcte posicionament pelvià i un reforç abdominal abans de realitzar els exercicis (Behm et al., 2010). En resum, s'ha trobat que hi ha una major activació dels músculs del core quan es realitzen exercicis similars sobre una superfície inestable, en lloc d'una superfície estable. No obstant això, realitzar exercicis de resistència en dispositius inestables també pot inhibir la força, la potència, la velocitat i el rang de moviment (Behm et al., 2010). Malauradament, no s'ha dut a terme cap estudi longitudinal que demostrï millores significatives en el rendiment de la musculatura del core mitjançant l'entrenament sobre superfícies inestables (Wirth et al., 2017).

2.2.5. Antecedents dels efectes de l'entrenament del core

Els estudis experimentals i/o descriptius que han analitzat la possible contribució de l'entrenament de CS (CST) al rendiment esportiu són escassos i presenten resultats controvertits (Jamison et al., 2012; Mills et al., 2005; Nesser et al., 2008; Sharrock et al., 2011). L'origen d'aquesta controvèrsia pot trobar-se en diverses limitacions dels estudis referits. Generalment, els exercicis de CS no són l'únic component dels programes d'entrenament, per la qual cosa és difícil aïllar directament els seus efectes sobre el rendiment (Reed et al., 2012). A més, molts dels estudis que han trobat els majors efectes, han estat realitzats amb individus que practicaven esport a nivell universitari o amateur i no poden ser generalitzats a l'esport d'elit o professional (Reed et al., 2012). Per exemple, en l'estudi de Tse et al. (2005) es va incorporar un entrenament de vuit setmanes de resistència de core en remers universitaris, en el qual es van trobar millores en paràmetres de resistència del core però no en els tests funcionals de rendiment esportiu. Altres investigacions més recents, recomanen la incorporació d'exercicis de CS en l'entrenament, com per exemple, l'estudi realitzat en nedadors de deu a dotze anys, el qual va aplicar vuit setmanes d'entrenament de core i va concloure que els moviments de core seleccionats tenien efecte sobre el rendiment de natació transferint força a través de la musculatura i d'aquesta manera ajudar a les habilitats tècniques de la natació (Eskiyecsek et al., 2020). Un altre estudi similar amb jugadors de voleibol, realitzant nou setmanes d'entrenament de core, va trobar que els esportistes milloraven la força del core i això porta a pensar que els programes de core afectaran positivament al rendiment en esportistes de voleibol (Boz, 2020). Una investigació realitzada amb jugadors juniors de futbol, també va trobar que vuit setmanes d'entrenament de CS sobre superfícies estables milloren l'estabilització en les recepcions dels salts i el rendiment en l'equilibri estàtic, i per tant, recomanen incorporar exercicis de core als entrenaments de futbol (Yildizer i Kirazci, 2017). També s'ha estudiat l'efecte de programes de CST en el desenvolupament de la força de les extremitats superiors en activitats de tennis (Ben Kibler, 1995), beisbol (Hirashima et al., 2002) i activitats que utilitzen colpejos amb els braços (Putnam, 1993), entre d'altres.

Pel que respecta als estudis realitzats en GR, fins on el nostre coneixement arriba, només s'han dut a terme dues investigacions amb gimnastes de rítmica. Una de les quals es va realitzar amb quaranta joves gimnastes de Malàisia pertanyents a dos clubs de Kuala Lumpur, on es va concloure que el CST ajuda a la millora de capacitats físiques i tècniques i recomana als entrenadors incloure el aquest entrenament com a mètode addicional (Nazari i Boon Hooi, 2019). L'altre recerca de GR es va dur a terme amb vint-i-quatre gimnastes adolescents d'un

club de nivell nacional espanyol, on es va concloure que la força isomètrica i la resistència del core va millorar significativament en el grup que va realitzar un entrenament de core durant dotze setmanes (Esteban-García et al., 2021). S'han trobat altres estudis realitzats en activitats gimnàstiques o artístiques com poden ser la gimnàstica artística o la dansa, els resultats dels quals podrien tenir transferència per la GR donada la similitud entre aquestes activitats. Bassett i Leach (Bassett i Leach, 2011), van concloure que l'entrenament de core tradicional és beneficiós per a les gimnastes en termes de millora de la resistència del core (en concret en l'habilitat de mantenir posicions isomètriques en planxa durant més temps), caldria esbrinar quins efectes tindrà en el rendiment de l'execució gimnàstica. Uns resultats similars es van donar en gimnastes universitàries, que va concloure que després d'un entrenament tradicional de core es va millorar la resistència del tronc (Durall et al., 2009). Un programa de CS de nou setmanes realitzat en ballarines de competició universitària va comportar una millora en els índexs de rendiment de dansa (millora en els girs), en les mesures d'equilibri (equilibri *passé*) i en les mesures del rendiment muscular del core (Watson et al., 2017). Un altre estudi realitzat en ballarines conclou que la identificació dels «punts febles» de la cadena cinètica, integrat amb una adequada planificació i aplicació d'exercicis correctius enriquits amb exercicis de CS, pot afectar positivament a la qualitat dels patrons bàsics de moviment en dansa (Skotnicka et al., 2017). Seguint amb investigacions realitzades en activitats gimnàstiques i artístiques, l'estudi dut a terme amb esportistes femenines de capoeira evidencia que l'entrenament de CS millora la cinètica de recepció dels salts tot i no millorar l'alçada, i també suggereix que es pot reduir el risc de lesió en les extremitats inferiors (Araujo et al., 2015). Tot i que fins on es coneix no s'han realitzat massa estudis de programes d'entrenament de core relacionats amb GR, aquests darrers estudis ens poden portar a pensar que els CST funcionals per gimnastes de rítmica podrien influir positivament en rendiment de GR, el qual és el nostre objecte d'estudi i a més a més, prevenir lesions d'esquena o de les extremitats inferiors, que tot i que no és el nostre objecte d'estudi, es un aspecte positiu a tenir en compte.

En aquest apartat hem analitzat i revisat els diferents estudis que han avaluat els efectes del CST. Amb això finalitzem l'apartat de CT, on hem vist contingut rellevant per aquesta tesi, a continuació aprofundirem en el concepte de control postural, el qual va ser avaluat en les gimnastes d'aquest estudi.

2.3. CONTROL POSTURAL

2.3.1. Conceptualització

El control postural s'entén com la capacitat que tenen els éssers humans de regular la posició del cos en l'espai amb l'objectiu de mantenir l'equilibri tan en posicions estàtiques com dinàmiques donant estabilitat i orientació al cos (Rama López i Pérez Fernández, 2004; Woollacott i Shumway-Cook, 2002). El control postural té dues funcions principals que són donar suport i equilibri al cos, a partir d'estratègies concretes que dependran de les aferències disponibles, les condicions externes i l'edat dels subjectes (Nashner i Cordo, 1981). Així mateix, el control postural també compren el control de l'equilibri durant el moviment, és a dir, durant la locomoció o canvis de postura, a més de donar resposta a pertorbacions que tinguin origen

sensorial o mecànic (Horak et al., 1997). Es per això que és considerat com una de les habilitats motrius fonamentals dels éssers humans, ja que permet interactuar amb l'entorn, desenvolupar habilitats motrius i realitzar moviments coordinats (Laufer et al., 2008).

De vegades, el terme «control postural» es confon o s'utilitza de manera indiferent amb altres termes com postura, equilibri o estabilitat postural. Tots ells estan relacionats, però realment no són el mateix. Per tant, a continuació, s'exposaran els diferents termes per a un millor enteniment.

Començarem parlant de la postura, aquesta es defineix com una posició relativa, és a dir, és un concepte purament descriptiu que determina la posició de les diferents parts del cos pel que fa a si mateixes, l'ambient o el camp gravitatori (Martín Nogueras, 2004) i pot caracteritzar-se segons dues propietats: l'estabilitat i l'orientació (Amblard et al., 1985). La postura depèn de factors individuals com l'edat, el sexe i la constitució (Apolo Arenas, 2016).

L'estabilitat postural és una de les qualitats bàsiques que influeixen en el control motor i en l'organització del moviment d'un subjecte, ja que permet que els segments s'estabilitzin i d'aquesta manera proporcionar una posició estable al cos (Duclos et al., 2017).

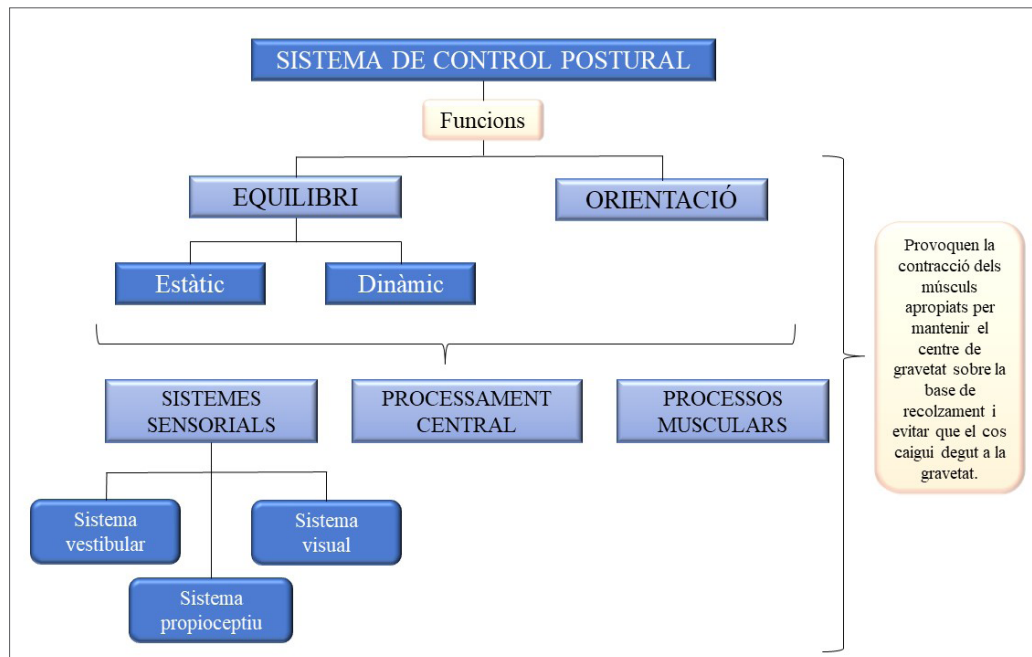
L'equilibri es conegut com la capacitat de regular de forma precisa la intervenció del propi cos en l'execució de l'acció justa i necessària segons la idea motriu prefixada, definint-se com la capacitat per mantenir el centre de gravetat (CoG) i el centre de pressions (CoP), dins de la base de sustentació (BoS), ja sigui de manera estàtica o dinàmica (Burton i Davis, 1992; Horak i Macpherson, 2010). A nivell biomecànic, l'equilibri és l'alineació de les diferents parts del cos i la correcta orientació dels segments corporals en l'espai, amb la finalitat d'imposar-se a la gravetat (Amblard et al., 1985). Per a vèncer aquesta força es necessita l'activació de diferents grups musculars (p. ex. l'erector de la columna en la regió dorsal del tronc, els músculs abdominals, el gluti mig, el tensor de la fàscia lata, entre altres), de manera que es produeix un re-equilibri postural constant, confirmant així que l'equilibri es oscil·lant (Winter et al., 2003).

A més de la força gravitacional, existeixen altres tipus de forces que actuen sobre el cos, externes i internes. Dins les externes trobem la gravitacional i la de reacció del terra, que és la que es transmet a través dels peus quan ens trobem en la posició dempeus (Loram i Lakie, 2002). Les internes fan referència a les alteracions fisiològiques com la respiració o a les possibles perturbacions que puguin produir els grups musculars que s'activen a l'hora de mantenir la postura (Loram i Lakie, 2002).

Es constata que s'aconsegueix l'equilibri, estàtic o dinàmic, quan totes les forces estan completament contrarestades, és a dir, que la suma de les forces exercides i els seus moments és igual a zero (Martín Nogueras, 2008). No obstant, no existeix un equilibri perfecte, ja que no s'arriba mai al manteniment d'una postura completament estàtica, sinó que el cos sempre es troba en continu moviment, com a conseqüència de la força de la gravetat i l'acumulació de massa corporal al tren superior, i d'aquesta manera, es produeix un continu desequilibri (Villarrasa-Sapiña, 2019). Per tant, es considera que un individu es troba en equilibri quan el seu CoG i CoP es troben dins de la BoS sense sobrepassar els límits d'estabilitat (Horak i Macpherson, 2010).

A continuació es mostra un esquema per observar com es relacionen entre si els diferents conceptes que configuren el sistema del control postural (Figura 23).

Figura 23. Esquema del sistema de control postural



Nota. Esquema adaptat de Rama López i Pérez Fernández (2004).

Perquè l'equilibri es produeixi és necessari que hi hagi una regulació neural continuada, que integri i gestioni la informació sensorial que indica la posició que mantenen els segments corporals amb respecte a altres parts del cos i de l'espai, així com també l'habilitat de generar forces (Bustillo Casero, 2021). Aquestes forces són generades mitjançant contraccions musculars que pretenen contrarestar els desequilibris (Apolo Arenas, 2016; Deliagina et al., 2007). És a dir, han d'actuar i interaccionar els sistemes tant sensorials com motors els quals estan regits pel sistema nerviós central (SNC) (Coxon, 1979). Per tant, en el mecanisme del control postural intervenen diferents factors, que s'integren en les aferències perifèriques, que són les encarregades de l'entrada de la informació sensitiva a través de diferents vies: el sistema somatosensorial, el sistema vestibular i el sistema visual. A continuació, explicarem les diferents bases neurofisiològiques involucrades en el control postural.

a) El sistema nerviós central (SNC)

El SNC s'encarrega de la regulació del control postural i cal destacar la funció que duen a terme cinc estructures d'aquest (Figura 24): tronc cerebral o encefàlic, ganglis de la base o basals, cerebel, hemisferis cerebrals a nivell de l'àrea motora suplementària i el lòbul parietal dret.

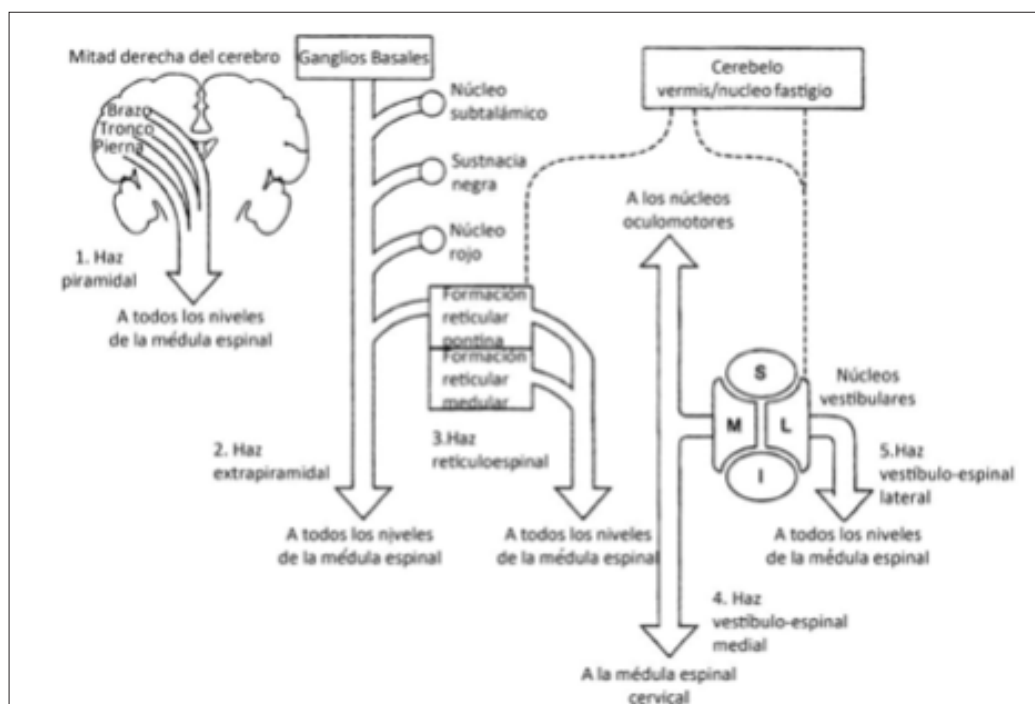
D'una banda, tenim el tronc cerebral o encefàlic (bulb raquidi, pont i mesencèfal) i els ganglis de la base o basals (nucli caudat, putamen, globus pàl·lid, substància negra i nucli subtalàmic) que s'encarreguen de regular els ajustos posturals, a més d'actuar en el procés de retroalimentació de les accions executades (Amblard et al., 1985; Martín Nogueras, 2004). El tronc encefàlic conté els nuclis vestibulars que formen connexions amb altres estructures del SNC. Els ganglis de la base, tenen la funció de controlar els patrons

complexos d'activitat motora apresos, i també la de participar en el control cognitiu de les seqüències de patrons motors i regular la intensitat i la durada dels moviments (Amblard et al., 1985).

El cerebel s'encarrega de la regulació del moviment a nivell de les sinergies musculars i és una de les estructures que més aferències rep dels nuclis vestibulars (Bustillo Casero, 2021).

Els hemisferis cerebrals a nivell de l'àrea motora suplementària i el lòbul parietal dret s'ocupen de la representació corporal i l'elaboració de la resposta motora (Amblard et al., 1985; Martín Nogueras, 2004).

Figura 24. Les cinc vies relacionades amb el control dels moviments coordinats del cos i extremitats



Nota. Imatge extreta de Shepard (2002).

b) Aferències perifèriques

Per a un bon control postural cal que s'integri tota la informació possible, i les responsables d'aportar tota aquesta informació són les aferències perifèriques propioceptives o somatosensorials, vestibulars i visuals (Bustillo Casero, 2021).

La informació somatosensorial es rep a través de aferències musculars, articulars i cutànies. Les aferències musculars s'encarreguen d'informar sobre l'activació i relaxació de les fibres musculars, controlats pels fusos musculars, els corpuscles de Ruffini, el corpuscle de Pacini i l'òrgan tendinós de Golgi (Forget i Lamarre, 1990; Riemann i Lephart, 2002). Els fusos musculars són els encarregats de detectar qualsevol canvi en la longitud del múscul i en la rapidesa d'aquest. Estan constituïts per dos tipus de terminacions; les terminacions primàries que es connecten a les fibres aferents de

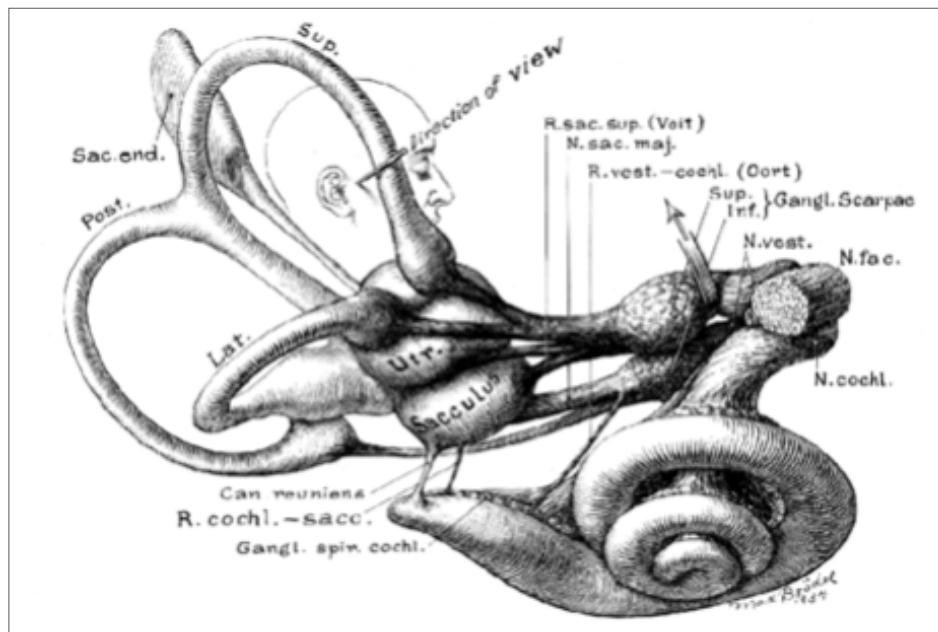
tipus Ia i són sensibles als estiraments ràpids i de baixa amplitud. I les terminacions secundàries que es connecten amb les fibres aferents de tipus II i tenen una major sensibilitat a la posició (Martín Nogueras, 2004). D'altra banda, l'òrgan tendinós de Golgi està innervat per axons sensorials de tipus Ib i té la funció d'informar el SNC de les possibles forces internes i externes que puguin afectar el control postural. Aquest s'activa quan es produeix una gran tensió muscular (tensió alta al tendó) i per protegir la unió múscul-tendinosa, les fibres Ib envien una senyal a la medul·la espinal, perquè s'inhibeixin les motoneurons alfa del múscul, provocant la relaxació del múscul agonista i estimular la musculatura antagonista. Pel que fa al corpuscle de Ruffini i de Pacini, es localitzen a la càpsula articular i són sensibles a la pressió i tensió capsular (Martín Nogueras, 2004).

D'altra banda, els receptors cutanis, fan referència als mecanoreceptors que es troben a la pell de la planta dels peus. Aquests proporcionen la informació a través de les diverses fibres nervioses aferents, per la pressió que exerceixen els peus sobre una superfície i per vibracions (Lacour et al., 2003). Al mateix temps, tenim els nociceptors que són sensibles al dolor (Martín Nogueras, 2004).

El sistema vestibular està ubicat en l'òrgan auditiu, el qual està format per l'oïda externa, l'orella medial i l'oïda interna. Concretament, el sistema vestibular es troba en l'oïda interna (Figura 25) format per dos tipus de receptors: els otòlits (utricle i sàcul) que perceben la gravetat i el moviment lineal del cap, i pels canals semicirculars que són sensibles als moviments de rotació del cap i a les acceleracions angulars d'aquesta (Patton i Thibodeau, 2013). Quan la informació és transmesa als nuclis vestibulars pels otòlits apareixen els reflexos vestibulocervicals (Breinbauer, 2016) que regulen el to muscular i els moviments de cap i extremitats. En canvi quan la informació és transmesa pels canals semicirculars es donen els reflexos vestibulooculars que tenen la funció d'estabilitzar l'entorn visual (Breinbauer, 2016).

Tota la informació generada per les aferències vestibulars és transmesa als nuclis vestibulars del tronc encefàlic i el cerebel. Posteriorment a la seva transmissió apareixen els reflexos vestibulocervicals i els reflexos vestibulooculars, amb l'objectiu d'esmenar els moviments inesperats que han estat realitzats pel cap. Per això, ajusten la posició del coll i dels ulls, mantenint la mirada fixa sobre algun punt (Breinbauer, 2016).

Figura 25. Anatomia del sistema vestibular



Nota. Imatge extreta de Schubert i Shepard (2008).

A més, el sistema visual també intervé durant el control postural. Les aferències que intervenen són la visió central, que es caracteritza per ser de precisió i la visió perifèrica caracteritzada per ser menys precisa (Duclos et al., 2017). De manera que després que el SNC rebi tota la informació vestibular, visual i propioceptiva, aquest processa tota la informació posant en marxa els efectors musculars per donar una resposta adequada (Bustillo Casero, 2021).

c) Efectors musculars

Els efectors musculars fan referència a la intervenció del sistema múscul-esquelètic en el manteniment de l'equilibri. Aquest actua, mitjançant l'activació de la musculatura axial i perifèrica, per mantenir el control postural i l'equilibri, oposant-se a la força de gravetat (Apolo Arenas, 2016; Martín Nogueras, 2004). Pot actuar de dues maneres: de forma passiva, quan participa el component viscoelàstic (to muscular), i de forma activa, quan hi ha un reclutament muscular automàtic (to muscular) (Diener i Dichgans, 1988; Martín Nogueras, 2004). Per al manteniment de l'equilibri participa musculatura de diferents parts del cos. A nivell cervical i dorsal trobem tota la musculatura extensora de la raquis, a causa de la seva activitat antigravitatòria. A nivell lumbar i de maluc intervé el gluti, el psoes ilíac i els isquiotibials. Mentre que, en les extremitats inferiors, els elements capsulolligamentosos són els que permeten una posició equilibrada i el quàdriceps s'activa bloquejant el genoll quan aquesta perd la seva extensió. Finalment, el tríceps sural és el principal encarregat de mantenir l'equilibri a la regió del turmell (Martín Nogueras, 2004).

A més, també hi ha una sèrie de mecanismes de control postural estàtics i dinàmics, dels quals es distingeixen tres tipus de mecanismes motors (Apolo Arenas, 2016; Shepard, 2002).

El primer és el reflex miotàtic que participa en la regulació de l'estabilitat de les articulacions que intervenen en el control postural. Aquest s'origina quan hi ha un estirament exogen al múscul que activa els fusos musculars, el que produeix que s'inhibeixi la contracció dels músculs antagonistes i es contreguin els agonistes (Apolo Arenas, 2016).

En segon lloc, tenim la resposta muscular automàtica (resposta d'estirament funcional). Aquesta pretén la recuperació de l'equilibri després que es produeixi una pertorbació externa que desestabilitza el CoG corporal. Aquestes respostes són estereotipades, però tenen capacitat d'adaptació, i solen ser moviments coordinats del segments corporals com el maluc o el turmell (Horak et al., 1990). Per a la seva posada en marxa es tenen en compte les aferències propioceptives (Horak i Nashner, 1986). La resposta que es produeixi dependrà fonamentalment de la intensitat de l'estímul propioceptiu desencadenant, de la informació visual, vestibular i de l'experiència de l'individu (Apolo Arenas, 2016; Nashner i Berthoz, 1978).

És important afegir que el sistema de control postural té la capacitat d'adaptar-se. Això es deu al fet que el cos té l'habilitat de modificar la resposta muscular automàtica emesa per les aferències musculars (Apolo Arenas, 2016; Shepard, 2002). Finalment, trobem el moviment voluntari, que és un moviment intencional après (Lirola Delgado, 2010) que està regulat per les àrees corticals sensorials motores (Apolo Arenas, 2016). En l'adquisició i execució dels moviments voluntaris també intervenen els reflexos específics, com són el reflex vestibular (Nashner et al., 1988) i el reflex de correcció, relacionats tots dos amb el sistema vestibular (Lirola Delgado, 2010). Segons Berthoz, Lacour, Stoechting i Vidal (1979) citats en Lirola Delgado (2010) la informació més important per al control postural és la somatosensorial. Tot i que, quan les tasques es compliquen, el sistema vestibular i visual prenen més protagonisme. Sent aquest últim, el sistema visual, important encara que no crític, podent ser suprimit sense major transcendència en individus sense alteracions de l'equilibri (Lirola Delgado, 2010).

2.3.2. Ajustos posturals

Davant nombroses situacions pertorbadores, que poden provocar un desequilibri, i per aconseguir així que el CoG es mantingui dins de BoS, és necessari que s'activin els grups musculars i actuïn sinèrgicament. Per això és indispensable una correcta regulació neuronal i la integració de la informació sensorial. Per tal d'assolir això, es produeixen una sèrie d'estratègies i ajustos posturals, que són els procediments utilitzats pel SNC per compensar l'efecte pertorbador que provoca el moviment i així reduir al màxim el desplaçament del CoG. En altres paraules, es generen una sèrie de contraccions musculars en diferents músculs que ajuden a controlar les oscil·lacions (Kandel et al., 2000).

Entre les funcions dels ajustos posturals trobem: estabilitzar el cos i el cap davant les forces externes, aconseguir que el CoG i el CoP es mantinguin dins de la BoS i obtenir una bona estabilitat mentre es genera el moviment mitjançant la interacció entre els moviments dinàmics i estabilitzadors (Alexander i Kinney LaPier, 1998; Apolo Arenas, 2016). Aquests paràmetres poden ser de dos tipus:

- Ajustaments posturals anticipatoris: per predir i anticipar aquells factors que desestabilitzen, és a dir, generen oscil·lacions, i poder contrarestar-los, es generen una sèrie de forces i moments voluntaris que ajuden a aquesta finalitat. Per tant, voluntàriament es produeixen una sèrie d'ajustos posturals previs a aquestes oscil·lacions, que depenen en gran mesura de les experiències prèvies. Aquesta anticipació del desequilibri ajuda a que aquest sigui previsible i que el control postural no sigui deficient (Coxon, 1979; Kandel et al., 2000).
- Ajustaments posturals compensatoris: gràcies als sistemes visual, vestibular i propioceptiu, s'obté una informació útil perquè el sistema neuromuscular dugui a terme una sèrie d'ajustos posturals que contrarestin l'efecte de forces externes desestabilitzadores (Coxon, 1979).

Cal destacar la possibilitat d'aprenentatge. L'aprenentatge motor és molt important perquè l'ésser humà vagi millorant la capacitat de mantenir l'equilibri. A través d'aquest procés d'aprenentatge es van adquirint varietat de patrons, models i mecanismes per poder reajustar la postura mitjançant el sistema neuromuscular, per així aconseguir l'equilibri del cos i una estabilitat corporal (Lirola Delgado, 2010).

L'ésser humà presenta diferents tipus de reaccions davant la pèrdua del control postural i l'equilibri. Aquestes reaccions són automàtiques i es van adquirint durant el desenvolupament psicomotor. En l'edat adulta ja estan integrades, però en el cas dels nens moltes vegades poden ajudar a determinar dèficits en el mecanisme de control postural i establir el nivell de desenvolupament psicomotor (Apolo Arenas, 2016).

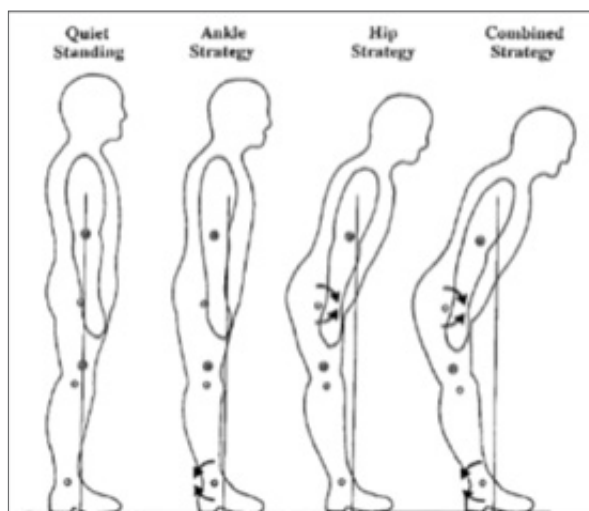
Aquestes reaccions són: les reaccions d'equilibri, que són reaccions petites associades als canvis de to, que succeeixen contínuament al voler sempre reequilibrar-se davant petits desplaçaments de pes, que s'efectuen constantment (ritme cardíac, respiració, circulació, deglució...) i que no es poden realitzar voluntàriament (Bustillo Casero, 2021). També existeixen les reaccions de redreçament que es duen a terme quan es produeix un desequilibri però el centre de gravetat encara està dins dels límits de la estabilitat. Aquestes reaccions es poden realitzar de forma voluntària (Bustillo Casero, 2021). I, finalment, les reaccions de suport que succeeixen quan es vol proporcionar una nova base de sustentació quan es desplaça el centre de gravetat als límits d'estabilitat per evitar la caiguda. Aquestes reaccions, segons Paeth (2000) citat per Apolo Arenas (2016) es produeixen tant en els membres superiors, amb el suport, i en els membres inferiors, amb pas anterior o lateral.

Cal destacar que les estratègies posturals més conegudes, en bipedestació, són les que es produeixen en el pla anteroposterior i es classifiquen com a estratègia de turmell, de maluc i de suspensió (Cordo i Nashner, 1982; Lacour, 2013). Quan un subjecte pateix perturbacions lleugeres i lentes, es posa en marxa l'estratègia de turmell (Bortolami et al., 2003), sent el propi

turmell el punt de partida. La musculatura que intervé és el tibial anterior, tríceps sural (turmell), els isquiotibials (cuixa) i els paravertebrals (tronc). Aquesta estratègia mitjançant el balanceig del cos, té la finalitat de produir un canvi del CoG del subjecte, per això, es diu que el subjecte oscil·la com un pèndol invertit (Figura 26), sent el moviment dels genolls i maluc el mínim (Martín Nogueras, 2004; Nashner i Cordo, 1981).

En canvi, quan un subjecte és sotmès a pertorbacions ràpides i grans o la superfície de suport és petita, s'activa l'estratègia de maluc (Figura 26) (Bortolami et al., 2003). Aquesta acostuma a activar-se després de produir-se un balanceig cap enrere, ja que s'activa per evitar la caiguda (Martín Nogueras, 2004). La musculatura que intervé són els músculs abdominals i el quàdriceps (Nashner i Cordo, 1981). Mitjançant aquesta estratègia el que es pretén és la reubicació del CoG per flexió o extensió del maluc. Winter et al. (1996) afegeixen que la musculatura del maluc s'encarrega de controlar més les oscil·lacions en la direcció mediolateral (ML) i la musculatura del turmell les oscil·lacions en direcció anteroposterior (AP). Finalment esmentar l'estratègia de recolzament, que s'activa quan les pertorbacions són molt llargues i ràpides (Bortolami et al., 2003), o prou fortes per desplaçar el CoG fora de la BoS. Aquesta estratègia rep aquest nom a causa de que es tendeix a desplaçar un peu cap endavant o flexionar les extremitats inferiors (Gandia Delegido, 2020).

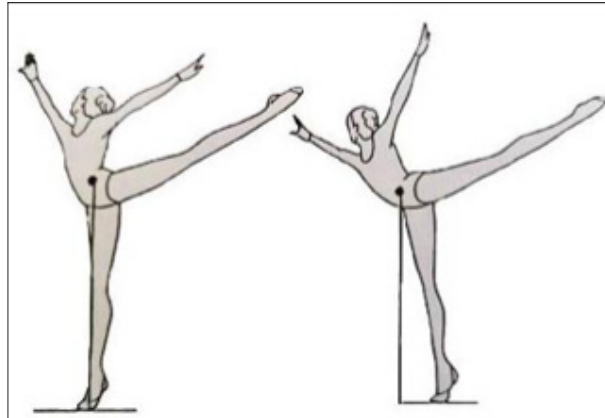
Figura 26. Representació gràfica de l'estratègia de turmell i l'estratègia de maluc



Nota. Imatge extreta de Winter et al. (1995).

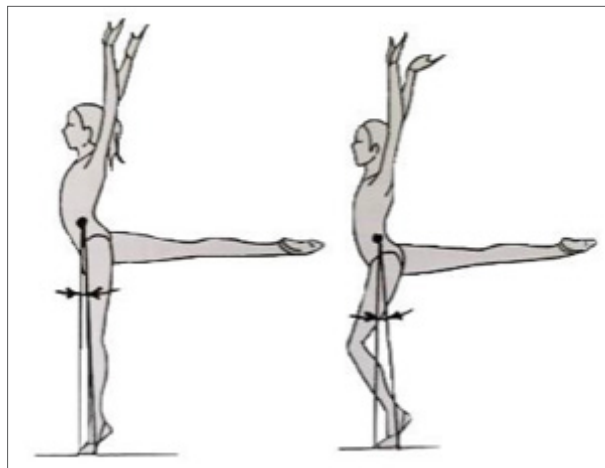
Des d'un punt de vista biomecànic, la distribució del centre de gravetat per sobre de la superfície de suport és la condició principal per mantenir l'equilibri (Tinca, 2020). Com es pot veure en les figures 27 i 28 amb exemples d'equilibris gimnàstics, una distribució del CoG fora de la superfície de suport dona lloc a la pèrdua de l'equilibri de la gimnasta. L'estabilitat de l'esportista està determinada per la mida de la superfície de suport, l'alçada de la centre de gravetat per sobre d'aquesta superfície, i l'alineació del centre de gravetat.

Figura 27. Desviacions del centre de gravetat en un equilibri gimnàstic



Nota. Imatge extreta de Tincea (2020).

Figura 28. Alçades del centre de gravetat en un equilibri gimnàstic



Nota. Imatge extreta de Tincea (2020).

2.3.3. Control postural i edat

Són molts els factors que influiran en les respostes del control postural, ja que qualsevol situació que alteri les funcions dels diferents mecanismes, ajustaments i estratègies que intervenen en el control postural repercutirà en la resposta produïda (Gandia Delegido, 2020). Els factors més significatius nomenats pels autors són la informació sensorial, la coordinació, la gamma de moviments de l'articulació, la força muscular, l'amplitud de la BoS, la ubicació del CoG, l'estabilitat, la complexitat de la tasca, la posició i el moviment del cap i els peus, la quantitat d'informació que rebí l'organisme, el sexe i l'edat (Apolo Arenas, 2016; Palmieri et al., 2002).

En aquest estudi, un dels factors que més ens interessa és l'edat, ja que els participants són infants i adolescents, i per tant, és important conèixer el desenvolupament del control postural en aquestes etapes de la vida.

Mansilla (2014b) classifica les etapes del creixement en: prenatal (des de la concepció fins al naixement), infantesa dividida en la primera infància (0 a 5 anys) i segona infància (6 a 11

anys), adolescència (12-17 anys), joventut (18 a 24 anys), adultesa dividida en els adults joves o primaris (25 a 40 anys), adults intermedis (41 a 50 anys), adults majors o tardans (51 a 64 anys), senectes (65 a 74 anys), ancians (75 a 84 anys), longeus (85 a 94 anys) i prolongeus (més de 95 anys). En el nostre treball aprofundim en la segona infància i l'adolescència.

Durant la nostra infància els reflexos primitius que posseïm són controlats per la medulla espinal i el tronc encefàlic. Però a mesura que l'ésser humà va madurant, el mesencèfal i el tàlem exerceixen una major influència sobre els centres inferiors que permeten l'aparició de reaccions corregides. En conseqüència, a poc a poc la escorça cerebral comença a controlar els centres inferiors, aspecte que permetrà l'aparició de reaccions d'equilibri, que defineixen l'equilibri madur (Woollacott i Shumway-Cook, 1990).

Hem de saber que, durant l'adolescència, període de 12 a 17 anys, es produeixen canvis a nivell quantitatiu, els quals fan referència a canvis morfològics, com poden ser l'augment d'estatura i pes corporal. Després trobem canvis a nivell qualitatiu, com l'adquisició i millora de les funcions motores. Aquests canvis influeixen en les capacitats motores (Ré, 2011).

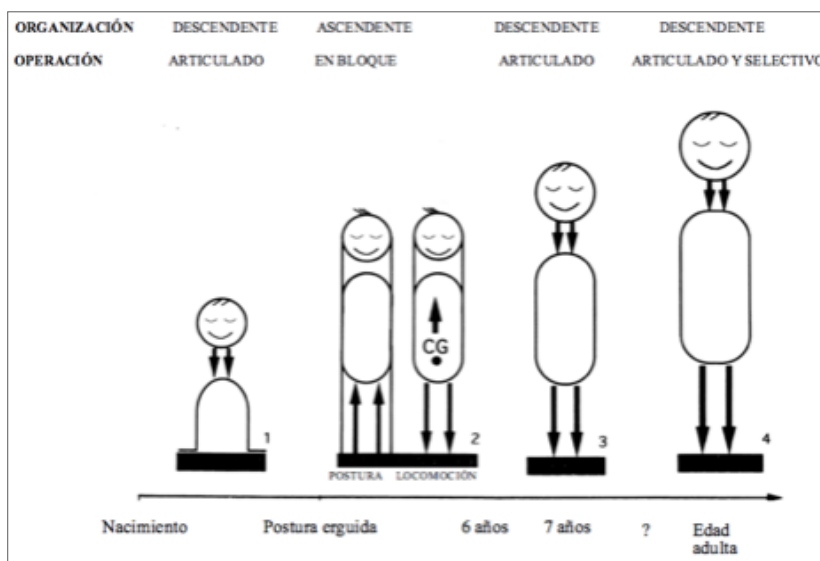
L'adolescència és una etapa on es manifesten canvis ràpids pel que fa a la mida i la composició del cos, amb un augment de la massa muscular, a més d'una maduració biològica associada a la producció de les hormones, testosterona en homes i estradiol en dones (Ré, 2011). Hem de saber que el pic de creixement de l'alçada màxima d'un home és als 14 anys (Ré, 2011), produint sis mesos després, aproximadament, un augment de la massa muscular (Rogol et al., 2002). Pel que fa a les noies, el pic de creixement de l'alçada màxima passa al voltant dels 12 anys, i després d'aquest fet no hi ha un augment de la massa muscular degut a que no augmenta la producció de testosterona (Malina et al., 2000; Rogol et al., 2002). En canvi, es produeix la menarquia, procés associat a una major producció d'estradiol (hormona femenina). Segons diversos autors (M. A. Jones et al., 2000; Malina et al., 2000) les noies abans de la menarquia poden desenvolupar una major coordinació motora.

D'altra banda, pel que fa al desenvolupament o ontogènesi del control de l'equilibri segons Assaiante (1998) (Figura 29) hi ha quatre períodes:

- Primer període des del naixement fins a la posició dreta.
- Segon període des de l'adquisició de la postura alçada fins als 6 anys.
- Tercer període que s'inicia als 7 anys i continua fins a un límit d'edat superior que encara és desconegut.
- Quart període s'assoleix durant l'edat adulta.

Tenint en compte aquest model no tenim certesa d'on acaba el tercer període i en conseqüència el començament del quart. Per tant, hi ha un gran camp d'investigació sense resoldre dins dels períodes de desenvolupament del control postural.

Figura 29. Esquema de l'evolució de l'organització de les activitats postural-cinètiques durant la vida útil



Nota. Imatge extreta de Assaiante i Amblard (1995).

Alguns autors (Nolan et al., 2005; Wolff et al., 1998; Woollacott i Shumway-Cook, 1990) consideren que entre els 7 i 10 anys d'edat es produeix la maduració dels sistemes d'organització del control postural. En aquesta mateixa línia Schmid et al. (2005) esmenten que la maduració que es produeix entre els 9 i 11 anys proporciona una major estabilitat, gràcies al fet que durant les oscil·lacions s'empren un menor nombre d'ajustos posturals.

Tot i això, a nivell general, Rival et al. (2005) assenyalen que els nens i nenes fins als 10 anys són menys eficaços que els adults en el control de l'equilibri, tant estàtic com dinàmic, degut a què s'obtenen oscil·lacions més àmplies tant en la direcció AP com la ML (Roncesvalles et al., 2001), el que suggereix una major àrea de desplaçament del CoG (àrea de l'el·lipse).

D'altra banda, autors com Nolan et al. (2005), que van treballar amb nens de 9 a 16 anys van observar que alguns aspectes del control postural segueixen desenvolupant-se passats els 9-10 anys d'edat. Es pot dir que, durant la infància, el desenvolupament del SNC i l'adquisició de noves estratègies posturals milloren l'estabilitat postural (Olivier et al., 2013), apareixent un altiplà en aquesta evolució entre els 9-10 i 11-12 anys (Palluel et al., 2010). És per això que alguns autors (Y. S. Hsu et al., 2009; Shumway-Cook i Woollacott, 1985) comenten que la maduració del sistema sensorial es produeix als 12 anys.

En canvi, altres autors (Nolan et al., 2005; Steindl et al., 2006) esmenten que el sistema de control postural arriba a assolir el nivell maduratiu d'un adult sobre els 14-15 anys. Per tant, hi ha un desenvolupament de l'equilibri des de molt jove (Foudriat et al., 1993) i la maduració dels diferents sistemes (propioceptiu, visual i vestibular) depèn de l'edat i presenta canvis progressius fins a l'edat de 16 anys (Cumberworth et al., 2007).

Hem de recordar que l'adolescència és un període dinàmic de desenvolupament que implica canvis ràpids en la grandària, la forma i la composició del cos i afecta tant al desenvolupament (Giedd et al., 1999) com al comportament (Buchanan et al., 1992). No obstant això, tot i els

continus canvis biològics a l'adolescència, no hi ha molta evidència sobre l'efecte de l'edat en l'estabilitat postural (Ruffieux et al., 2015).

Finalment, respecte a la preponderància sensorial, Rival et al. (2005) van observar que a l'edat de 9-11 anys els nens i nenes són visualment més dependents que els adults, aspecte que condiona l'equilibri quan la informació visual és eliminada (ulls tancats). En l'estudi d'Olivier et al. (2013) s'esmenta que els adolescents als 14-15 anys encara prioritzen les informacions visuals, desestimant temporalment les propioceptives. En canvi, durant l'adulthood, el sistema sensorial que més informació aporta per al manteniment de l'equilibri és el sistema propioceptiu (Shumway-Cook i Woollacott, 1985).

Per tal d'aconseguir bons esportistes a l'edat adulta, es molt important parar atenció al desenvolupament relacionat amb les capacitats motores (com pot ser el control postural) en edats primerenques, per tal d'assegurar un desenvolupament corporal complet i harmònic en cada fase de l'esportista (Ricotti, 2011).

Relacionant l'equilibri amb el core, les dades experimentals d'un estudi d'Assaiante (2005) demostren que el primer marc de referència utilitzat per a l'organització del control de l'equilibri durant la locomoció és la pelvis, especialment en nens petits. Sembla que tant el control d'orientació com el control de l'equilibri requereixen el tronc com a marc de referència inicial que implica un desenvolupament del control postural (Assaiante et al., 2005). Això suggereix que el control i l'estabilitat del core poden jugar un paper fonamental en l'equilibri durant la infància.

2.3.4. Avaluació

Els diferents estudis sobre control postural han proporcionat informació valuosa sobre el mateix i les adaptacions que es produeixen davant de diferents situacions o condicions experimentals (Woollacott i Shumway-Cook, 2002).

Gràcies a això, podem dir que el control postural en bipedestació s'ha anat analitzant de forma qualitativa, al mesurar els aspectes mecànics i neurofisiològics (Paillard i Noé, 2015) però també de forma quantitativa, al analitzar variables com:

- Base de sustentació (BoS): Entesa com l'àrea que sorgeix de la unió, de manera imaginària, dels suports corporals que es troben sobre una superfície. Quan s'està de peu aquesta àrea es genera al voltant dels peus del subjecte, pel fet que aquests són el punt de suport. A la figura 30 podem veure diversos exemples en funció de com es realitza el suport (Izquierdo i Redín, 2008).

Figura 30. Diferents tipus de bases de sustentació, en funció del tipus de recolzament dels peus



Nota. Imatge extreta de Izquierdo i Redín (2008).

- Centre de Masses (CoM) i Centre de Gravatat (CoG): Aquests dos conceptes són similars, però no idèntics. El CoG està relacionat amb la força de la gravetat i amb el pes, mentre que el CoM està relacionat amb la massa. Per tant, el CoM és el punt mig on es concentra la massa corporal. Hem de saber que la massa d'un cos, independentment d'on es mesuri, sempre és la mateixa (Izquierdo i Redín, 2008; Winter, 1995).
- Pel que fa al CoG, es pot definir com un punt sobre el qual actua tot el pes d'un cos, a causa de la força de la gravetat (Izquierdo i Redín, 2008) (Figura 31). Altres autors el defineixen com «la resultant de tots els centres de gravetat segmentaris pel que fa a la gravetat» (Bienfait, 2006, p. 204). Per tant, és un punt d'equilibri, ja que tenim la mateixa quantitat de pes tant cap amunt com cap avall, i tant cap a un costat com cap a l'altre. Si la projecció del CoG està dins de la BoS, el cos està en equilibri. Un aspecte important que cal saber sobre la CoG és que pot estar fora del propi cos (Izquierdo i Redín, 2008).

Figura 31. Desplaçament del centre de gravetat en funció de la posició corporal



Nota. Imatge extreta d'Izquierdo i Redín (2008).

- Centre de pressions (CoP): És un punt sobre la superfície de l'àrea en contacte amb el terra (superfície de suport), on es concentra la mitjana ponderada de totes les forces de reacció vertical que actuen sobre un cos (Winter, 1995). Hem de saber que quan un subjecte està en bipedestació i la seva CoP està dins de la BoS, aquest estarà en equilibri.

En canvi, quan més a prop estigui el CoP dels límits de la base de sustentació, majors seran els desequilibris als quals es veurà sotmès el cos (Figura 32).

Figura 32. Representació gràfica de la relació entre la base de sustentació i el centre de presions



Nota. Imatge extreta de Villarrasa-Sapiña (2019).

- Límits d'estabilitat: Segons Winter (1995) i Duarte i Freitas (2010) aquest concepte expressa la proporció de la BoS que pot utilitzar un individu, és a dir, la que és funcional per a romandre en equilibri. Això vol dir que és una àrea que determina els límits als quals pot arribar el CoP sense provocar la desestabilització del cos. Per tant, «es considera que un cos té millor estabilitat quan el desplaçament del CoP és més gran i no sobrepassa els límits d'estabilitat, mostrant que els límits d'aquesta estabilitat estan més allunyats del centre de la BoS» (Villarrasa-Sapiña, 2019, p. 52).

El control postural es pot avaluar quantitativament mesurant el moviment del CoM, el CoP i els segments corporals, però també mesurant activitats electromiogràfiques i avaluacions de la contribució de les diferents dades sensorials. L'anàlisi qualitativa consisteix a descriure com s'organitza el control postural en relació amb els aspectes mecànics i neurofisiològics (Paillard i Noé, 2015).

El control postural es pot caracteritzar en termes de rendiment segons la condició postural considerada. El rendiment postural es refereix a la capacitat de mantenir l'equilibri corporal en condicions posturals desafiantes (per exemple, una postura monopodal) i evitar així el desequilibri postural i les caigudes (Paillard i Noé, 2015). El rendiment postural també es pot caracteritzar per la capacitat de minimitzar el balanceig corporal en condicions posturals més convencionals (per exemple, una postura bípeda estàtica) (Paillard i Noé, 2015).

Les proves utilitzades per avaluar la capacitat d'un subjecte per mantenir l'equilibri s'han desenvolupat des de 1851, una de les proves originals és la prova de Romberg (Briggs et al., 1989). En la prova de Romberg, els subjectes es mantenen amb els peus junts mentre l'examinador observa la quantitat de balanceig corporal que presenten els subjectes, primer realitzant l'equilibri amb els ulls oberts i després amb els ulls tancats (Briggs et al., 1989). S'han utilitzat una gran varietat de proves d'equilibri i modificacions de la prova de Romberg, per exemple el test de postura amb recolzament sobre una cama (SLST), que requereix que el

subjecte mantingui l'equilibri mentre està dret sobre una cama (Briggs et al., 1989; Zumbrunn et al., 2011).

Per avaluar joves esportistes sans, s'utilitzen els mètodes quantitius, i els instruments més emprats per excel·lència són les plataformes de forces (Figura 33), les quals estudien la cinètica del control postural (Paillard i Noé, 2015).

Figura 33. *Plataforma de forces*



Nota. Imatge extreta del manual de la plataforma de forces Kistler (Kistler Mars, s.d.).

El CoP és el paràmetre més utilitzat per calcular les diferents variables de mesura que avaluen el rendiment postural (Duarte i Freitas, 2010). Hi ha moltes variables derivades del CoP, en aquest estudi hem utilitzat les següents:

- Àrea de l'elipse: l'àrea o superfície d'el·lipse quantifica el 90 o 95% de l'àrea total coberta en la direcció ML i AP mitjançant una el·lipse per ajustar les dades. Es considera un índex de rendiment postural general: com més petita sigui la superfície, millor serà el rendiment (Asseman et al., 2004).
- La velocitat del CoP: aquesta es calcula dividint la oscil·lació del CoP pel temps de la prova. Es poden considerar els components ML i AP o la velocitat resultant (VML i VAP). Reflecteix l'eficiència del sistema de control postural (com més baixa és la velocitat, millor és el control postural) mentre caracteritza l'activitat neuromuscular neta necessària per mantenir l'equilibri (Paillard i Noé, 2006) i s'ha considerat com la mesura amb major fiabilitat entre els intents dels tests (Duarte i Freitas, 2010).
- *Sway area* o àrea total (AT): Calcula l'àrea de balanceig que descriu la trajectòria del CoP per unitat de temps (mm^2/s). Com més petita és l'àrea, millor és el rendiment del control postural (Caron et al., 2000).

Per realitzar els tests s'utilitzen diverses condicions posturals per tal de facilitar o dificultar la tasca. S'han d'escollir unes condicions o altres segons els subjectes a avaluar i l'objectiu de l'estudi.

- **Condicció visual:** La majoria de les vegades les proves posturals es completen sense i/o amb informació visual. La supressió de les indicacions visuals es pot produir tancant els ulls o amb els ulls embenats, però també posant els subjectes en una foscor total. A més, l'aportació de senyals visuals (calculades amb variables quantitatives i qualitatives obtingudes en la condició d'ulls tancats en comparació amb les mateixes variables mesurades en la condició d'ulls oberts) constitueixen dades rellevants en l'anàlisi del control postural en subjectes sans i amb patologies (Paillard i Noé, 2015).
- **Condicció de l'equilibri:** Els equilibris poden ser estàtics o dinàmics. En aquest estudi ens centrarem en l'estudi dels equilibris en condició estàtica.
- **Durada dels tests:** Per tests d'equilibri en condició estàtica es suggereix una durada de 25 a 40 s, ja que en aquest cas els paràmetres posturogràfics són constants i fiables. La durada recomanada és de 30 s de manteniment amb 5 s d'ajust abans de començar l'enregistrament (Scoppa et al., 2013).
- **Postures dels equilibris:** S'acostumen a realitzar els tests en posicions monopodals o bípedes. En una postura monopodal (Figura 34), la cama de suport pot ser la cama dominant o la cama no dominant segons l'objectiu de la prova postural. La cama de suport pot estar estirada o flexionada segons els requisits de l'experiment. La cama lliure es pot aixecar i flexionar 90° al nivell del genoll o aixecar-se de manera que el dit gros del subjecte toqui lleugerament el mal·lèol medial de la cama de suport (sense suport). Els dos malucs es col·loquen en posició neutra (0° de flexió o lleugera flexió si els dits toquen el mal·lèol medial). Els braços poden estar estesos al costat, flexionats a la cintura, creuats sobre el pit o relaxats al costat. Segons la literatura actual, les condicions posturals ecològiques (específiques de l'esport) resulten ser més adequades per investigar el rendiment esportiu i el rendiment postural (Paillard, 2019). Atès que el rendiment postural es pot estudiar en condicions posturals ecològiques i no ecològiques (condició específica versus condició no específica o descontextualitzada) en relació amb l'esport considerat, val la pena estudiar la relació entre el rendiment postural i el rendiment esportiu en aquestes dues condicions posturals (Paillard, 2019). Per tant, un aspecte a tenir en compte alhora d'avaluar el control postural en un esport, en aquest cas la GR, és l'especificitat. Tal i com diu Cardinale et al. (2011) la major especificitat dels tests s'aconseguirà quan el moviment utilitzat per realitzar el test s'assembli més als gestos de l'esport que s'està avaluant. També és important que els esportistes tinguin clara la tècnica i l'execució del moviment a avaluar per poder obtenir dades vàlides i fiables i assegurar-nos que no es lesionaran i d'aquesta manera poder extreure el valor màxim dels tests (Cardinale et al., 2011).

Figura 34. Test d'equilibri unípede sobre una plataforma de forces



Nota. Imatge extreta del manual de la plataforma de forces Kistler (Kistler Mars, s.d.).

Una vegada revisada la manera d'avaluar el control postural, en el següent apartat s'indagarà sobre quins programes d'entrenament s'utilitzen per la millora del control postural.

2.3.5. Programes d'entrenament

Els programes d'entrenament actuals que inclouen exercicis per millorar el control postural, tenen com a objectiu millorar el rendiment i prevenir lesions en esportistes (Hrysomallis, 2011), prevenir caigudes en persones grans (Sherrington et al., 2008) i rehabilitar la funció neuromuscular després de les lesions (Zech et al., 2009).

El tipus d'entrenament, els exercicis o la durada d'un entrenament per millorar el control postural d'un subjecte dependrà de factors com ara els objectius de l'entrenament, la població amb la qual es du a terme o el context de treball (Kümmel et al., 2016). A dia d'avui, els programes d'entrenament inclouen exercicis multifacètics que consisteixen en exercicis d'enfortiment de la musculatura inferior (quàdriceps, bessons), agilitat a través d'exercicis com fer marxa i caminar per diferents superfícies, pliomètrics a través de salts i d'equilibri estàtic o dinàmic sobre diferents plataformes i postures (Kalra i Roitman, 2010).

Pel que fa a la durada, no hi ha una evidència que concreti el nombre exacte de sessions o temps de sessió, ja que s'ha comprovat que el període de la intervenció no és un factor determinant (Kalra i Roitman, 2010). Així i tot, s'arriba a la conclusió a través de les revisions bibliogràfiques al respecte, que el període mínim d'entrenament per produir millores en el control postural tant estàtic com dinàmic és mínim 10 min d'exercicis destinats a aquesta millora, durant quatre setmanes amb una continuïtat de tres dies per setmana (Kalra i Roitman, 2010; Kümmel et al., 2016; Lesinski et al., 2016).

En esportistes, l'entrenament neuromuscular (NT) es un dels mètodes per millorar l'equilibri, així com la sensació de posició i moviment articular, patrons d'activació muscular i la força (Caraffa et al., 1996; Hewett et al., 1999) (Figura 35).

Figura 35. Exemples d'entrenament neuromuscular



Nota. Imatge extreta de Fort Vanmeerhaeghe (2010).

S'han desenvolupat programes per a millorar el control del sistema neuromuscular mitjançant superfícies inestables (Caraffa et al., 1996), així com entrenaments de caire funcional (saltos i recepcions) (Hewett et al., 1999) i programes d'agilitat o tasques amb perturbacions (Eils i Rosenbaum, 2001). Tots aquests mètodes es basen en la capacitat per a controlar les accions estàtiques i dinàmiques de forma unípede i/o bípede. En quant a adaptacions, aquest tipus de treball comportarà una millora del control neuromuscular i per tant la millora de l'estabilitat de l'articulació (Fort Vanmeerhaeghe, 2010).

En la revisió realitzada per Hewett et al. (2006), es va observar com l'entrenament neuromuscular era efectiu quan els exercicis anomenats de pliometria, equilibri i força s'incorporaven de forma global en els protocols d'entrenament. Els protocols necessitaven, a més a més, d'un mínim de freqüència setmanal de més d'una sessió, i que la durada mínima del programa fos de sis setmanes. No obstant això, l'objectiu d'aquest entrenament estava enfocat a la reducció de lesions i no al rendiment esportiu. Utilitzant aquest mateix entrenament en esportistes, es va comprovar que hi havia millores en mesures de rendiment com el control i la potència neuromuscular de les extremitats inferiors i la disminució de diferències entre la cama dominant i la no dominant (Myer et al., 2006). Amb això van concloure que tant exercicis pliomètrics com exercicis d'estabilització dinàmica de les extremitats inferiors son recomanables per la millora del rendiment en esportistes (Myer et al., 2006).

Una major estabilitat de la regió del core proporciona les bases per a una millor generació de força i transició de les extremitats i, per tant, juga un paper clau en la millora de l'estabilitat postural (Kaji et al., 2010). Els resultats d'un estudi realitzat amb adults sans i joves van suggerir

que l'entrenament de l'estabilitat del core podria ser beneficiós per millorar l'equilibri reforçant aquells músculs més sovint associats amb el control de la columna lumbar (Kahle i Gribble, 2009). Això podria suggerir que un entrenament que implica la musculatura del core pot ser beneficiós per millorar el control postural.

A la secció 2.2.4 (Programes d'entrenament del core) s'han detallat els entrenaments que contenen treball de core i utilitzen superfícies inestables.

En l'estudi realitzat per Kaji et al. (2010), l'aplicació d'exercicis de core va fer disminuir el recorregut del CoP dels subjectes. Els autors argumenten aquesta millora observant que en els exercicis de core els subjectes havien de mantenir el tronc, els malucs i les extremitats inferiors en línia recta, aquesta alineació dels segments corporals, tot i ser en posició horitzontal (es a dir al terra), pot comportar una transferència del control propioceptiu en la posició vertical (de peu) i per tant, proporcionar més estabilitat postural al subjecte. Els resultats d'un altre estudi que realitza exercicis de core en joves adults, suggereixen que l'entrenament de l'estabilitat del core podria ser beneficiós per millorar l'equilibri ja que enforteix els músculs més sovint associats amb el control de la columna lumbar (Kahle i Gribble, 2009).

Per altra banda, l'entrenament que realitzen els esportistes podria comportar per si mateix una millora del control postural. Hrysmallis (2011) va realitzar una revisió significativa sobre la capacitat d'equilibri i el rendiment esportiu sobre la base de l'anàlisi quantitativa de les habilitats posturals (desplaçament del CoP). Tanmateix, no es va considerar la comparació de condicions posturals relacionades o no relacionades amb l'esport practicat, és a dir, condicions ecològiques (condició postural específica) versus condicions no ecològiques (condició postural descontextualitzada), tot i que sembla que pot influir en la relació entre el nivell d'expertesa motriu i el nivell d'habilitats posturals. De fet, en condicions ecològiques, com ara gimnastes d'artística que executen verticals mentre mesuren els desplaçaments de la seva CoP, comporta que la possible relació entre l'experiència motriu (esportiva) i les habilitats posturals podria ser forta, ja que l'amplitud del balanceig corporal (en situacions estacionàries) és un criteri de rendiment en gimnàstica (depenent de l'avaluació dels jutges) (Asseman et al., 2008). En comparació, en condicions posturals no ecològiques o descontextualitzades, com per exemple, la postura bípeda estàtica, aquesta relació entre experiència motriu i habilitats posturals podria ser més feble o inexistent (Paillard, 2017). Les evidències extretes de la revisió de Paillard (2019) suggereixen que els esportistes amb més èxit en termes de competició esportiva tenen el millor rendiment postural tant en condicions posturals ecològiques com no ecològiques. No obstant això, en condicions no ecològiques, les tasques posturals han de ser preferentment desafidores o relativament properes a la postura de la pràctica esportiva. La relació entre el rendiment esportiu i el rendiment postural no és sistemàtica quan les condicions posturals són allunyades de les de la pràctica esportiva (Paillard, 2019).

Alguns estudis conclouen que l'entrenament que acostumen a realitzar les gimnastes ajuda a millorar l'equilibri, ja que normalment aquestes obtenen més bons resultats en quan a l'equilibri respecte esportistes d'altres modalitats (Calavalle et al., 2008; Gautier et al., 2008; Vuillerme i Nougier, 2004) i gimnastes d'alt nivell respecte gimnastes d'iniciació (Kioumourtzoglou et al., 1997).

En GR, la repetició és una de les estratègies més utilitzades en l'entrenament, aquesta ajuda a la gimnasta a mantenir l'equilibri a través d'una rutina (Tincea, 2020). El mecanisme corporal de la memòria muscular, o propiocepció, és la capacitat del cos d'entendre i coordinar cadascuna de les parts del cos, una respecte a l'altra, sense referència dels tradicionals sentits de la vista, el so, l'olfacte, etc. Si la gimnasta entén repetidament on estan posicionats els elements musculoesquelètics a mesura que es realitza un moviment, el cos arribarà a l'equilibri sense necessitat dels altres sentits (Tincea, 2020).

Alhora de confeccionar un programa d'entrenament per a la millora del control postural haurem de tenir en compte els diferents tipus d'entrenament que s'han utilitzat per millorar aquesta qualitat i les experiències motrius dels esportistes. Sembla ser que en GR repetir aquells moviments que requereixen estabilitat postural pot ser una manera de millorar el control postural. A continuació analitzarem els diferents estudis que han dut a terme programes d'entrenament relacionats amb el control postural i així com per millorar les seves variables.

2.3.6. Antecedents dels efectes de l'entrenament del control postural

Com s'ha vist en l'apartat anterior, no hi ha un únic protocol d'entrenament que ajudi a millorar el control postural, sinó que s'acostumen a utilitzar entrenaments molt diversos com la pliometria, entrenament de força de les extremitats inferiors, entrenament de core, equilibris sobre superfícies inestables...etc. Per tant, els estudis que han mesurat paràmetres de control postural han utilitzat protocols d'entrenament molt diversos.

Alguns estudis realitzats en altres esports o activitats presenten resultats interessants per a l'abast d'aquesta investigació, com ara l'estudi de Myer et al. (2006) que van afirmar que una combinació d'entrenament pliomètric i d'equilibri d'estabilització dinàmica pot millorar significativament el rendiment neuromuscular en esportistes. Kaji et al. (2010) van suggerir que la pràctica d'exercicis de core com a part de l'escalfament podria ser útil per esportistes que requereixen reduir el balanceig corporal durant les activitats competitives. Una recerca realitzada amb joves esportistes va concloure que sis setmanes d'entrenament neuromuscular (que incloïa entrenament d'equilibri, de core, de resistència, i pliomètric) pot millorar l'equilibri postural sobre una extremitat inferior mesurat sota l'índex d'estabilitat total i estabilitat en la direcció AP, però en canvi no en la direcció ML (Paterno et al., 2004). Un estudi amb esportistes universitàries va indicar que incorporar exercicis pliomètrics als règims d'entrenament de dones esportistes pot reduir el risc de lesions millorant l'estabilitat funcional de les articulacions de l'extremitat inferior (Chimera et al., 2004).

Estudis realitzats en activitats més similars a la GR, com una recerca implementada amb ballarins de ballet, assenyala que un programa d'entrenament integrat que incloïa propiocepció, pliometria i exercicis d'estabilitat del core va comportar una millora en les variables d'equilibri (Lin et al., 2021). De manera similar, Liu et al. (2018) van indicar que un entrenament de força del core pot ajudar a millorar l'equilibri en ballarines de dansa moderna. En la mateixa línia, millores en la força de la musculatura abdominal a través d'entrenament d'estabilitat del core van conduir a una millora de l'equilibri estàtic i dinàmic en ballarines (Watson et al., 2017).

Hi ha alguns estudis realitzats específicament en GR, com el de Dobrijević et al. (2016) realitzat amb gimnastes de set a vuit anys, el qual reporta que un entrenament propioceptiu pot millorar significativament l'habilitat de mantenir l'equilibri. Un altre estudi realitzat amb dues gimnastes de rítmica recomana que l'entrenament de GR ha d'incloure exercicis d'enfortiment muscular que actuïn sobre les articulacions del turmell i els malucs, cosa que podria ajudar a millorar l'estabilitat d'aquestes articulacions durant la realització dels equilibris en posicions complexes (com ho són habitualment els equilibris de GR) (Sobera i Rutkowska-Kucharska, 2019). La millora de la funció estabilitzadora d'aquests músculs ajuda a minimitzar els moviments AP en aquestes articulacions (Sobera i Rutkowska-Kucharska, 2019). En una tesi doctoral s'indica la millora en la durada del manteniment de l'equilibri estàtic així com la millora de la puntuació d'equilibris específics en joves gimnastes de rítmica després de vuit setmanes de CT (Nazari, 2019).

Sembla ser que entrenaments que incloguin exercicis de core, pliometria i equilibri podrien ajudar a millorar l'equilibri de gimnastes de rítmica, no obstant, segons el nostre coneixement, no s'ha estudiat l'impacte d'un entrenament funcional de core que inclogui aquests tipus d'exercicis sobre el control postural de joves gimnastes de rítmica.

En aquest apartat hem analitzat i revisat el concepte de control postural, el qual s'avalua en les gimnastes d'aquesta tesi, a continuació aprofundirem en el concepte de força explosiva, que per una banda s'utilitza en la confecció de l'entrenament funcional juntament amb el core, i per l'altre, també s'avalua en les gimnastes d'aquest estudi.

2.4. FORÇA EXPLOSIVA

2.4.1. Conceptualització

La força és la mesura del resultat de la interacció de dos cossos, ve definida bàsicament com el producte de la massa per l'acceleració ($F = m \times a$) i la seva unitat de mesura internacional és el newton (N). Des d'un punt de vista fisiològic és la capacitat de produir tensió en el múscul al activar-se (González-Badillo i Ribas-Serna, 2002).

Les accions esportives realitzades a màxima o gairebé màxima velocitat, com els salts, els llançaments, les acceleracions, desacceleracions o canvis de direcció son determinants del rendiment en molts esports. La capacitat per realitzar amb èxit aquests tipus d'acció depèn de la màxima expressió de la força explosiva i la potència dels grups musculars implicats en aquestes (Bompa, 2004).

A banda de la força explosiva i ha altres manifestacions i classificacions de la força, per a un millor coneixement del concepte de força, detallarem les principals classificacions segons Bompa i Buzzichelli (2017), que depenen de; les qualitats de la força, la corba força-temps, el tipus d'acció muscular, el pes corporal de l'esportista i el grau d'especificitat.

Classificació de la força segons les **qualitats de la força**:

- **Força màxima:** És la màxima força que pot exercir el sistema neuromuscular durant una contracció. Aquesta qualitat augmenta mitjançant una combinació d'adaptació estructural (hipertrofia) i, sobretot, adaptació neuronal (a través de la millora de la coordinació intermuscular i intramuscular). La força màxima es refereix a la càrrega més pesada que un esportista és capaç d'aixecar en un intent i s'expressa com el 100% del màxim o 1RM (repetició màxima). Els esportistes han de conèixer la seva força màxima en els exercicis més importants o fonamentals, ja que és la base per calcular les càrregues de l'entrenament de força.
- **Potència:** És el producte de dos capacitats, la força i la velocitat, i és la capacitat d'aplicar força màxima en el període més curt possible. En la majoria d'esports es disposa d'un límit de temps per poder aplicar la màxima força possible. Un exemple podrien ser els salts, aquest tipus de moviments milloren la freqüència d'activació de les unitats motores. Només es pot millorar la potència utilitzant mètodes d'entrenament específics després d'haver realitzat una fase d'entrenament de força màxima.
- **Resistència muscular:** És la capacitat del múscul per realitzar una tasca durant un període perllongat en el temps. La majoria d'esports contenen un component de resistència, i els mètodes per treballar la resistència muscular entrenen els aspectes neuronal i metabòlic específics de cada esport.

Classificació de la força segons la corba de **força-temps**:

- **Força inicial:** Aquesta s'expressa a l'inici d'una acció concèntrica i sol mesurar-se als 50 milisegons. El seu nivell depèn de la capacitat per reclutar voluntàriament tantes unitats motores com sigui possible (coordinació intramuscular) a l'inici del moviment.
- **Força explosiva:** És la velocitat amb que augmenta la força a l'inici de l'acció concèntrica. El seu nivell depèn de la capacitat per reclutar més unitats motores o incrementar la freqüència d'activació de les unitats motores amb la finalitat d'augmentar la producció de força.
- **Potència:** En conjunt, la força inicial i la força explosiva representen el que considerem potència, o també anomenada «velocitat-força». Per destacar en els esports, acostuma a ser necessari un nivell elevat de potència degut al temps limitat disponible per l'aplicació de la força en accions esportives.
- **Força màxima:** És la quantitat màxima de força que un esportista genera en un moviment.

Classificació de la força segons l'**acció muscular**:

- **Força concèntrica:** En una acció concèntrica, el múscul genera tensió i s'escurça per moure una articulació. En general, la força màxima es mesura com la càrrega més elevada que s'aixeca concèntricament, ja sigui precedida o seguida per una acció excèntrica.

- **Força isomètrica:** En una acció isomètrica, el múscul genera tensió sense escurçar-se ni allargar-se, això es dona quan la força generada iguala a la resistència externa o quan la resistència externa és inamovible.
- **Força excèntrica:** En una acció excèntrica, un múscul crea menys tensió que la resistència externa, de tal manera que aquest s'allonga. Per exemple per realitzar salts s'aconseja posseir un elevat nivell de força excèntrica. Aquesta pot ser fins a un 40% major que la força concèntrica.

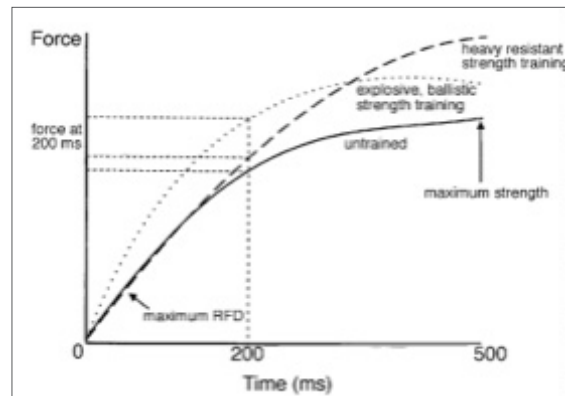
Classificació de la força segons la relació amb el **pes corporal:**

- **Força absoluta:** És la capacitat d'un atleta per exercir força màxima independentment del seu pes corporal.
- **Força relativa:** És la relació entre la força màxima i el pes corporal. Per exemple un elevat nivell de força relativa és important en gimnàstica, ja que hi ha moviments on la força absoluta ha de ser capaç de contrarestar el pes corporal del/la gimnasta.
- **Força general:** Constitueix el fonament de tot programa d'entrenament i hauria de ser d'interès principal durant els primers anys d'entrenament esportiu. Una força general baixa potser limita el progrés general de l'esportista, aleshores el cos es propens a lesions i a un desenvolupament potencialment asimètric, o a una menor capacitat per desenvolupar força muscular o habilitats específiques de l'esport.
- **Força específica:** L'entrenament específic de la força té en compte les característiques de l'esport com la ergogènesi (contribucions dels sistemes d'energia), els plans de moviment, els músculs agonistes, el grau de mobilitat de les articulacions i les accions musculars. Com el mateix terme indica, aquest tipus de força és específica de cada esport i exigeix una anàlisi en profunditat.
- **Reserva de força:** És la diferència entre força màxima i força requerida per realitzar una habilitat en condicions de competició.

Un cop definits els diferents tipus de força, analitzarem la relació entre la força i el temps, aquesta pot venir expressada a través de la corba força-temps (Cf-t). Parlar d'aquesta corba és parlar de força explosiva (Bonitch, 2006). La força explosiva s'entén com la millor raó matemàtica entre la força aplicada i el temps necessari per a fer-ho (Bonitch, 2006). Es mesura en $N \cdot s^{-1}$.

La C.f-t pot utilitzar-se tant en avaluacions estàtiques, com dinàmiques (Figura 36). Qualsevol modificació positiva en la C.f-t es produeix quan la corba es desplaça cap a l'esquerra (González-Badillo i Ribas-Serna, 2002).

Figura 36. La relació força-temps

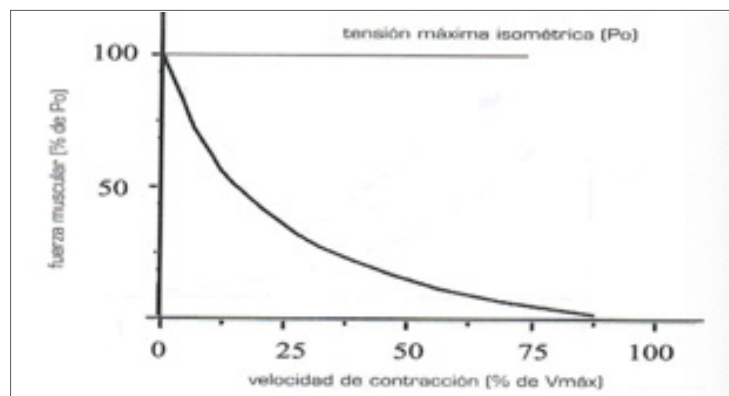


Nota. Imatge extreta de Bompa i Buzzichelli (2017).

Quan la força es mesura en una acció dinàmica, la C.f-t té el seu equivalent en la corba força-velocitat (C.f-v). Qualsevol canvi en la C.f-t vindrà reflectida en la C.f-v i viceversa (González-Badillo i Ribas-Serna, 2002).

A la figura 37 veiem la relació de la força que es realitza i a la velocitat en què aquesta es pot produir.

Figura 37. Corba força-velocitat



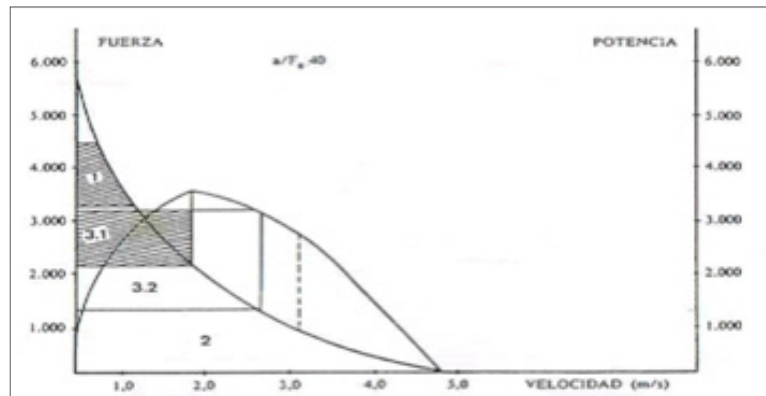
Nota. Imatge extreta de Cometti (2019).

Força i velocitat tenen una relació inversa en un gest esportiu (González-Badillo i Gorostiaga, 1995). Com més velocitat d'escurçament se li demani a un múscul, menys força podrà exercir i viceversa.

La mesura del grau d'escurçament d'un múscul respecte al temps que consumeix aquest escurçament és el que proporciona el valor de la velocitat que s'utilitza en les corbes força-velocitat (González-Badillo i Ribas-Serna, 2002).

La potència ve associada a la Cf-v, per tant també existeix una corba de potència associada a la Cf-v (Figura 38). La potència màxima de contracció s'aconsegueix amb càrregues sub-màximes a velocitats mitges (Siegel et al., 2002).

Figura 38. Corba de potència i relació amb la corba força-velocitat



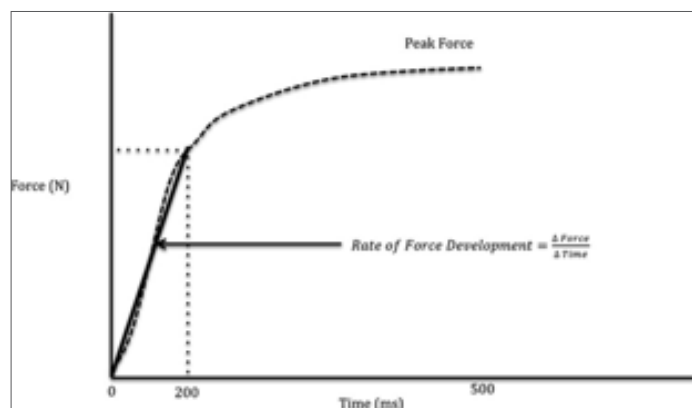
Nota. Imatge extreta de Tihany (1989).

Per tant a la Cf-v distingirem tres zones:

1. Zona d'utilització de màxima o gran força i mínima velocitat. La potència desenvolupada és mitja o baixa.
2. Una zona en la que la força i la velocitat presenten valors mitjos. En aquest cas la potència aconseguix el seu màxim valor.
3. Zona en la que s'aconsegueix una gran velocitat però davant de resistències petites. La potència tampoc serà molt elevada.

A la literatura també trobem un concepte de força explosiva denominat «*rate of force development*» (RFD) (Maffiuletti et al., 2016). Que significa rati de desenvolupament de la força o producció de força per unitat de temps, expressada en $N \cdot s^{-1}$ i correspon a la pendent de la Cf-t en el punt considerat (Aagaard et al., 2002) (Figura 39). El RFD reflexa l'habilitat del sistema neuromuscular de generar augments molt forts de la força muscular en fraccions de segon a l'inici de la contracció, aquesta habilitat té un significat funcional important per a la força i la potència generades durant moviments ràpids i explosius (Aagaard et al., 2002).

Figura 39. Corba força-temps amb pendent de rati de desenvolupament de força



Nota. Imatge extreta de Haff & Nimphius (2012).

Si parlem de la força en referència al salt, un dels conceptes més importants de l'acció muscular és el cicle d'estirament-escurçament (CEA), que es basa en l'acumulació d'energia elàstica generada en l'estirament bruscat del múscul i el seu ràpid pas a la contracció o escurçament aprofitant aquesta energia (Cardinale et al., 2011). Per tant, aquest tipus de treball o acció, té importància en l'entrenament de la força explosiva, com hem dit present en moltes accions esportives i, concretament, en els salts (Rajic, 2012).

Es pensa que la capacitat per acumular l'energia elàstica i la seva posterior aplicació, dependrà de les forces i càrregues externes aplicades, al igual que té importància també el sexe, on les dones podrien aprofitar millor les tècniques per a beneficiar-se de l'energia elàstica acumulada en els extensors de cames durant el CEA, obtenint una millor qualitat d'acció, tot i tenir possibilitats de produir una força màxima inferior als homes (Komi i Bosco, 1978).

Com més gran sigui la potència o la força explosiva generada per un grup muscular, més gran serà el rendiment produït. En el cas del salt, aquest augment en el rendiment, es veu expressat per un increment en la velocitat d'enlairament de terra per part de l'esportista; aconseguint d'aquesta manera una major elevació del seu CG, és a dir un increment en l'alçada del salt. Aquesta millora en el rendiment es veu reflectida per un increment en la magnitud de l'impuls de força necessari per projectar el cos de l'esportista cap amunt durant un salt vertical (Rajic, 2012). Aquest impuls mecànic no és altra cosa que el producte entre la força exercida per l'esportista contra el terra i el temps durant el qual és aplicada. D'això es desprèn, lògicament, que hi ha una relació òptima entre la força i el temps d'aplicació de la mateixa, que garanteix el major impuls mecànic, representat per la major àrea sota la corba de força en funció del temps (Bompa i Buzzichelli, 2017; Zatsiorsky i Kraemer, 1995).

Amb el que s'ha exposat, la importància de l'entrenament de la força explosiva en els músculs responsables del rendiment en el salt vertical, és crucial, pel que resulta inevitable la inclusió d'aquests conceptes en les bases de l'entrenament de salts en GR.

La manifestació explosiva de la força en el salt, implica un desenvolupament elevat de força exercida a una velocitat molt alta. Això es tradueix en un impuls vertical expressat per la força exercida durant un període de temps molt curt i representat per l'àrea sota la corba de la força en funció del temps. Aquest concepte va ser establert per Hochmuth (1967) sota el nom de «Principi de força inicial», el qual expressa que com més gran sigui l'impuls vertical, major serà la modificació positiva de la quantitat de moviment, el que suposa incrementar la seva velocitat de desplaçament vertical i, conseqüentment, arribar a una alçada de salt més gran, ja que la massa es manté constant (Potteiger et al., 1999; Verkhoshansky, 2006).

La velocitat de contracció muscular i la força inicial, tindran més importància a menor resistència externa i major rapidesa d'execució del moviment esportiu. Per contra, a major resistència externa, té més importància la força màxima del subjecte i l'acceleració (Rajic, 2012).

El mecanisme que realitza l'esforç explosiu, porta el següent ordre cadencial:

1. La velocitat de contracció muscular
2. La força inicial

3. La força d'acceleració
4. El potencial de la força muscular

Pràcticament, tots els moviments esportius tenen el mateix objectiu: anul·lar la resistència utilitzant la força inicial i la força d'acceleració (Bompa i Buzzichelli, 2017).

Quan els músculs es contrauen durant el moviment (Verkhoshansky, 2006), la força muscular realitzada pot dependre de:

- La longitud muscular (*force-length*)
- El temps necessari per realitzar la força (Cf-t)
- La velocitat a la que es realitza la força (Cf-v)

Tot i que la relació força i GR no sembla a priori molt estreta, la força és una qualitat de gran transcendència en el rendiment en GR en moltes de les seves manifestacions. La majoria dels elements característics d'aquest esport atorguen un protagonisme important al tren inferior i als requeriments de diverses manifestacions de la força del mateix (Pagola Aldazabal, 2010).

La força de salt es posa especialment de manifest en un grup d'elements de la tècnica corporal: els Salts. Aquest grup corporal es caracteritza per impulsions aïllades o successives del tren inferior que han de guardar una elevació mínima per a ser considerades com a tal (Pagola Aldazabal, 2010). S'ha ampliat la informació dels salts en GR en els apartats 2.1.4 i 2.1.5.

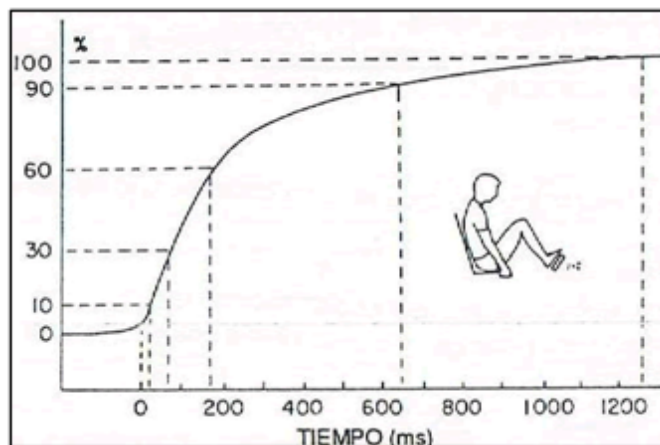
A continuació revisarem les maneres d'avaluar la força explosiva en l'esport.

2.4.2. Avaluació

Per valorar la força explosiva en l'esport, el que hem de mesurar és el pic de força aconseguit i el temps necessari per assolir-lo (González-Badillo i Ribas-Serna, 2002). En aquest sentit, segons González-Badillo & Gorostiaga (1995) és clau considerar dues relacions de vital importància:

- Relació producció de força i el temps necessari per a fer-ho (Figura 40 i 41).
- Relació manifestació de força i la velocitat de moviment (Figura 41).

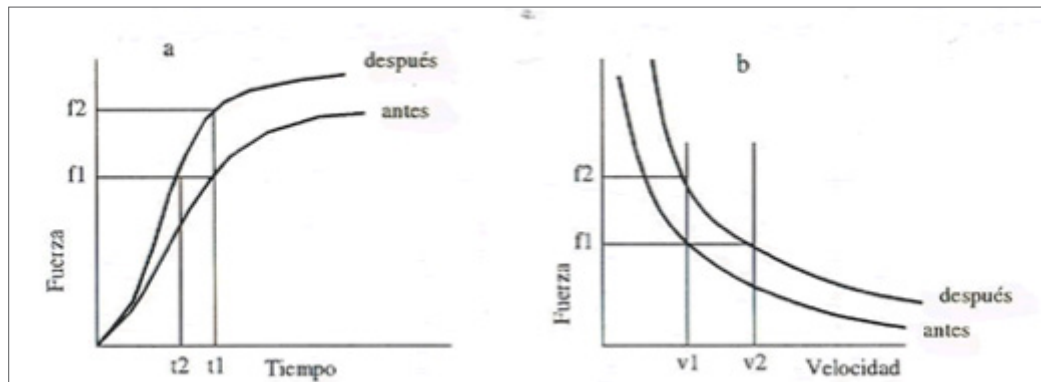
Figura 40. Exemple de corba força-temps



Nota. Extreta de Hakkinen et al. (1984).

La C.f-t i la C.f-v, són dues referències fonamentals en l'entrenament. En qualsevol gest esportiu que es pretengui millorar, aquest, hauria de ser analitzat en la Cf-t o Cf-v, per tal d'acabar quina zona de la corba és la que interessa millorar i una vegada conegut aquest paràmetre, prescriure el sistema d'entrenament que més s'adapti a la millora del gest específic i a la zona específica de la Cf-t o Cf-v del gest esportiu analitzat (Ibáñez, 2015). Els canvis produïts en la Cf-t són equivalents als produïts a la Cf-v abans i després de l'entrenament (Figura 41).

Figura 41. Equivalència de canvis en les corbes força-temps i força-velocitat abans i després de l'entrenament



Nota. Imatge extreta de González Badillo i Gorostiaga (1995).

Tal i com hem comentat a l'apartat 2.4.1. el RFD es una mesura de la força explosiva durant una contracció muscular. S'ha considerat que els resultats del RFD tenen importants conseqüències funcionals a causa de la seva similitud temporal respecte a l'esport i les activitats diàries (Aagaard et al., 2002) i per la seva correlació positiva tant amb el rendiment de tasques diàries com esportives i funcionals (Maffiuletti et al., 2010).

Per avaluar la força explosiva del tren inferior es realitzen tests de salts verticals analitzant la Cf-t. Bosco et al. (1983) van dissenyar un sistema basat en la mesura de l'alçada de salts verticals realitzats amb una sèrie de condicions que permet la valoració funcional de la força del tren inferior.

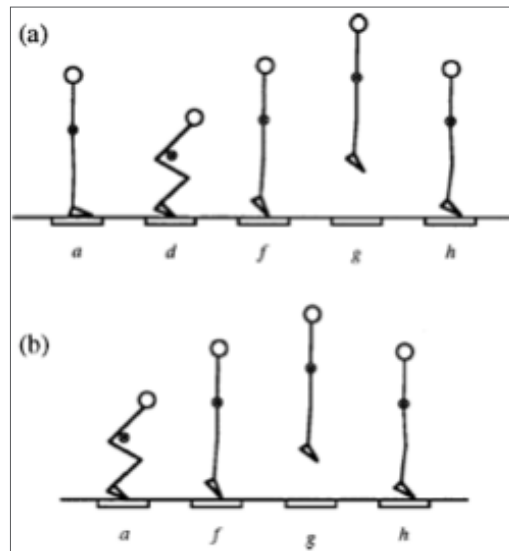
Hi ha dos patrons de moviment de salt vertical similars, però diferents, que s'utilitzen per avaluar la força explosiva del tren inferior, el salt amb contramoviment i el salt a partir de les accions musculars només concèntriques; que s'utilitzen respectivament per avaluar el CEA i les capacitats només concèntriques de l'esportista (McMaster et al., 2014).

La figura 42 mostra els moviments implicats en el salt amb contramoviment (CMJ) i en un sense contramoviment «*Squat Jump*» (SJ). En un salt de contramoviment, el saltador comença en posició vertical de peu, fa un moviment preliminar cap avall mitjançant la flexió dels genolls i els malucs, després immediatament fa una extensió ràpida dels genolls i els malucs per saltar verticalment de terra. Un salt amb contramoviment és un exemple d'un moviment que es beneficia del CEA (Linthorne, 2001).

Molts moviments humans com córrer, saltar i llençar impliquen accions musculars en què es troba el moviment desitjat precedit d'un moviment en sentit contrari. Es diu que els músculs estan «preestirats» abans d'escurçar-se en la direcció desitjada. Els experiments han demostrat

que un estirament avançat millora la producció de força i la producció de treball del músculs en el moviment posterior (Linthorne, 2001).

Figura 42. Accions de salt amb contramoviment i sense contramoviment



Nota. Seqüència d'accions (a) en un CMJ i (b) en un SJ. El centre de massa del saltador (indicat per •) es mou estrictament en direcció vertical. El saltador es mostra en moments clau durant el salt, tal com indiquen les lletres. Imatge extreta de Linthorne (2001).

En un SJ, el saltador comença des d'una posició de semi sentadeta i després estén vigorosament els genolls i els malucs per saltar verticalment del terra (Figura 42b). El saltador no emprava una fase preliminar de contramoviment i, per tant, el salt no implica el pre-estirament dels músculs. Un SJ és un moviment més artificial que poques vegades s'utilitza a la pràctica, en canvi el CMJ és un moviment molt més natural i ajuda a saltar diversos centímetres més a munt (Linthorne, 2001).

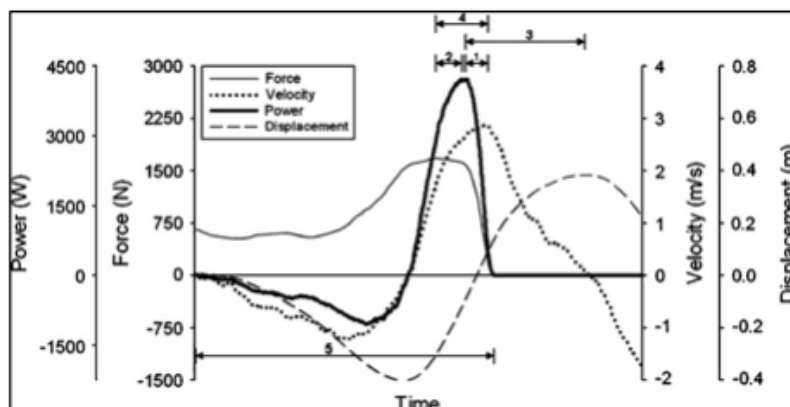
El CMJ també es pot executar des d'una cama, salt amb contramoviment des d'una sola cama (SLCMJ), per tal d'extreure diferències entre la cama dominant i no dominant (Stephens et al., 2007). L'avaluació del SLCMJ també pot ser útil per avaluar a les gimnastes de Rítmica ja que molts salts en GR es realitzen des d'una sola cama (Federación Internacional de Gimnasia, 2018).

El CMJ ha estat una de les proves de salt més utilitzades per avaluar la potència muscular de les extremitats inferiors (McMaster et al., 2014).

La tecnologia que s'utilitza per avaluar els esportistes està en constant evolució. La plataforma de forces és un instrument fiable per avaluar el salt i predir l'alçada del salt a partir de la velocitat d'enlairament mitjançant diferents mètodes que inclouen la integració de la corba acceleració-temps, el teorema d'impuls-momentum i el teorema d'energia de treball (McMaster et al., 2014). La plataforma de forces també calcula la potència a partir de la força de reacció a terra i la velocitat del centre de masses integrades a partir de la corba acceleració-temps (McMaster et al., 2014). S'han reportat alts índexs de replicabilitat del CMJ mesurat amb plataformes de força (ICC = 0.92-0.98, CV = 1.3-4.1) (Hori et al., 2009).

Les variables més utilitzades per descriure el rendiment en el CMJ són el pic de força, el pic de potència, el pic de velocitat i l'alçada aconseguida (McMaster et al., 2014). Una sèrie de variables es poden extreure de les corbes de temps, potència, força, velocitat i desplaçament i examinant el temps entre pics (Figura 43). No obstant això, no existeix un consens total en la literatura sobre quines són les variables que tenen major sensibilitat per predir el rendiment en un salt vertical (Cormie et al., 2009).

Figura 43. Les corbes de temps de potència, força, velocitat i desplaçament durant una prova representativa d'un test de salt amb contramoviment



Nota. Les variables d'acoblament s'indiquen amb les fletxes numerades: 1 = temps entre la potència màxima i la velocitat màxima; 2 = temps entre la potència màxima i la força màxima; 3 = temps entre la potència màxima i el desplaçament màxim; 4 = temps entre la força màxima i la velocitat màxima; 5 = temps des del començament del moviment fins a l'enlairament. Extreta de Cormie et al. (2009).

Per realitzar una avaluació més específica de l'esport, s'han de tenir en compte i escollir moviments el més propers possibles als gestos tècnics i les demandes de l'esport que s'està avaluant (Cardinale et al., 2011).

Un cop analitzades les maneres d'avaluar la força explosiva, a continuació s'exposen els programes d'entrenament esportiu utilitzats per millorar la força explosiva.

2.4.3. Programes d'entrenament

L'objectiu d'un programa d'entrenament de força explosiva és realitzar més força en menys temps (Bompa, 2004). Això és un gran desafiament ja que, a mesura que augmentem la velocitat o es redueix el temps de produir força, la força aplicada tendeix a ser menor (Bompa, 2004). Per tant, s'han de buscar entrenaments que ens produeixin adaptacions que frenin o inverteixin aquesta tendència i que ens permetin aplicar més força en menys temps o a més velocitat sense modificar la resistència a superar (Bompa, 2004). Això exigeix que per una banda hem de millorar la força màxima i per l'altre la velocitat d'escurçament muscular. En la majoria d'esports l'objectiu es millorar la potència màxima i sobretot la potència específica, ja que la potència és el producte de la força per la velocitat (Bompa, 2004).

L'ús de mètodes d'entrenament que tinguin components d'exercici explosiu poden millorar la capacitat de l'esportista de generar grans potències. Exercicis explosius en general utilitzen RFD que s'aproximen gairebé al màxim o valors màxims i potencien la capacitat de l'esportista

per generar altes taxes d'acceleració (Schmidtbleicher, 1992). Les taxes més altes registrades de RFD s'han demostrat en esportistes masculins que treballen exercicis explosius de càrregues variables en els seus règims d'entrenament (Haff et al., 1997). Per tant, sembla ser que els exercicis explosius tendeixen a millorar la capacitat d'un esportista per generar taxes elevades de RFD (Haff et al., 1997), mentre que els exercicis lents tendeixen a deteriorar aquesta capacitat (Hakkinen et al., 1989). Gairebé qualsevol exercici es pot realitzar de forma explosiva en funció de la resistència utilitzada (Haff et al., 2001).

En el conjunt de coneixements científics contemporanis, és evident que la força màxima, el RFD i la capacitat de generació de potència màxima són atributs importants que cal desenvolupar a l'hora d'implementar programes de força i condicionament (Haff i Nimphius, 2012).

Si considerem l'explosivitat com la relació entre el nivell de tensió generat per el múscul i el temps per obtenir-lo, no podem parlar d'explosivitat en termes absoluts sinó que existiran diferents graus d'explosivitat depenent de la càrrega (Bonitch, 2006). Per tant, l'especificitat de l'entrenament hauria de millorar la relació de força-temps davant d'aquells nivells de càrrega més propers a la situació esportiva específica (González-Badillo i Ribas-Serna, 2002).

Se sap que, per millorar el rendiment de la força explosiva, s'ha d'utilitzar la càrrega a la qual s'obté la potència màxima per a l'entrenament i la velocitat d'execució dels exercicis sempre ha de ser màxima (Cardinale et al., 2011). S'ha demostrat que aquest enfocament de la formació de força produeix una millora notable de la potència mecànica (Hakkinen, 1994).

No es fàcil trobar els estímuls òptims que ens portin a aconseguir la màxima potència en accions específiques de competició, per aconseguir-ho, s'han proposat diferents combinacions d'exercicis i totes elles inclouen exercicis de CEA intensos, o el que és el mateix, exercicis pliomètrics (Bompa, 2004). Verkhoshansky (1968) va ser dels primers investigadors en estudiar l'efecte de diferents tipus d'exercicis pliomètrics sobre la força explosiva dels esportistes i va trobar millores en la velocitat de contracció muscular. El motiu principal de la utilització d'exercicis pliomètrics és la necessitat d'activar les unitats motores amb més rapidesa i per tant generar una millor adaptació neurològica.

En els exercicis pliomètrics és preferible realitzar menys repeticions a màxima velocitat que moltes repeticions que portin a la fatiga i per tant la velocitat sigui molt poca (Bompa, 2004). A continuació exposem algunes consideracions sobre l'entrenament pliomètric (PT) extretes de Bompa (2004, p. 31):

- El múscul es contrau més enèrgicament i ràpidament des de la posició de pre-estirament.
- Quan més ràpid sigui el pre-estirament més enèrgica serà l'acció concèntrica muscular.
- És essencial aprendre la tècnica correcte per realitzar els exercicis pliomètrics (impuls dels dos peus de manera simultània, impuls des d'un peu amb l'alineació del centre de gravetat i coordinació de l'impuls de braços i cames).
- És important assegurar-se que l'esportista cau al terra amb pre-estirament de cames o braços flexionats.
- La contracció d'escurçament es produirà immediatament després del pre-estirament.
- La transició de pre-estirament serà lenta, continuada i el més aviat possible.

- El PT produeix:
 - La ràpida realització d'activitats que requereixen una major innervació.
 - El reclutament de la majoria, sinó de totes les unitats motores i les seves corresponents fibres musculars.
 - Un increment en l'índex de descàrrega de les motoneurons.
 - Una transformació de la força muscular en potència explosiva.
- La pliometria desenvolupa el sistema nerviós perquè reaccioni a la màxima velocitat d'elongació del múscul; en canvi, desenvoluparà la capacitat d'escurçar-lo (contraure'l) ràpidament i amb la màxima força.
- L'entrenament reactiu repetit provoca un cansament que afecta a la capacitat del treball excèntrica i sobretot a la concèntrica, el cansament es caracteritza perquè augmenta la durada del temps de contacte.

També considerem important tenir en compte els principis d'entrenament aplicats a la pliometria, extrets de Bompà (2004):

1. Principi d'especificitat: Els exercicis realitzats han d'implicar els grups musculars específics i les pautes de moviment implicades en l'esport seleccionat.
2. Principi d'individualització: Abans d'aplicar qualsevol entrenament s'han de tenir en compte factors personals com; l'edat cronològica i de maduració, l'historial d'entrenament, capacitat individual de treball i rendiment, l'estat de salut, la quantitat d'entrenament i ritme de recuperació de l'esportista, i l'estat físic particular de cada esportista. Per tant, són més eficients els mètodes de gradació o ondulatoris que els mètodes d'augment de càrrega lineal. Per tant és necessari que hi hagi una fase de descàrrega perquè es tornin a produir adaptacions a l'entrenament.
3. Principi d'augment progressiu de la càrrega: s'ha de tenir en compte que la millora de les funcions i reaccions del sistema nerviós es produeix de manera gradual, així com la millora de la coordinació neuromuscular i la capacitat psicològica per fer front a l'estrès produït per altes càrregues d'entrenament. També és important no repetir al llarg del temps els mateixos estímuls estàndards (mateixa quantitat de treball perllongada) per tal d'evitar l'estancament i que no hi hagi evolució.

El PT realitzat amb càrregues lleugeres augmenta la capacitat dels esportistes per generar la força muscular durant curts períodes de temps, és a dir, la força muscular ràpida (Rajic, 2012). Això és dona com a conseqüència del temps de contacte de l'esportista amb el terra, fent que el salt vertical no superi els 350 milisegons, ja que la força muscular produïda s'ha de generar durant un període de temps molt curt (Komi i Bosco, 1978).

Cal assenyalar, que a l'inici d'un PT s'ha de realitzar una formació inicial d'intensitat baixa a moderada i posar èmfasi en el domini tècnic dels exercicis per evitar lesions (Bishop et al., 2009). A més, els exercicis han de ser específics als moviments en els quals la producció d'energia es més gran, i la sobrecàrrega s'hauria d'anar augmentant gradualment incrementant la intensitat i el volum de l'entrenament (Marina i Jemni, 2014).

El PT no acostuma ser un programa d'exercicis autònoms, sinó que es combina amb altres tipus d'entrenament (Bompa, 2004; Bompa i Buzzichelli, 2017). Com s'ha observat anteriorment en adults, es poden observar guanys significativament més grans en el rendiment quan es combina PT amb entrenament de resistència a la força (Almoslim, 2014). També s'acostuma a utilitzar el treball isomètric per valorar la contracció muscular, la qual es pot definir com, «l'activació muscular (producció de força muscular) mentre que la longitud de la unitat múscul-tendó no canvia, i el treball mecànic és nul» (Rajic, 2012). La utilització de la força isomètrica en moviments humans juga un paper molt important pel que fa a la pre-activació del múscul, abans d'una contracció de CEA (Komi et al., 1978). Els exercicis de força isomètrica són un mètode innovador i altament eficaç per augmentar la massa muscular, tonificar i desenvolupar nivells de força per millorar el condicionament físic i el rendiment esportiu (Bompa i Buzzichelli, 2017; Zatsiorsky i Kraemer, 1995). Aquesta afirmació suggereix que exercicis isomètrics de core podrien ajudar a augmentar la força muscular d'aquesta zona del cos. A més, Bompa (2004) també afirma que la columna vertebral és essencial per oferir estabilitat al cos, recolzament del pes corporal i el més important, amortiment dels salts, a més, en aquesta zona del cos es troba el centre de gravetat. També s'ha de tenir en compte que l'acceleració o desacceleració dels segments corporals en el rendiment esportiu depenen de la musculatura del core per regular les extremitats superiors i inferiors (Hodges i Richardson, 1997). De tal manera que el core es considera el vincle cinètic entre les extremitats inferiors i superiors i és important en la transferència efectiva de força a través del cos (Kibler et al., 2006; Willardson, 2007b). Per tant, un programa de CS podria ser beneficiós per la millora de la força explosiva en esportistes.

En els últims temps, l'objectiu dels entrenaments de preparació física i millora del rendiment dels esportistes és realitzar programes que integren diferents tipus d'entrenament per tal de garantir l'entrenament de més capacitats i habilitats i per tant, optimitzar el temps de l'entrenament (Cabrejas, Morales, et al., 2022). Myer et al. (2011) van definir el NT com un programa d'entrenament que incorpora activitats de condicionament i força general (p. ex. exercicis fonamentals) i específica (p. ex. moviments específics de l'esport), com són exercicis de resistència, estabilitat dinàmica, equilibri, força del core, pliometria i exercicis d'agilitat amb l'objectiu de millorar els components de la forma física relacionats amb la salut i les habilitats esportives i prevenir lesions (també explicat en l'apartat 2.3.5). Segons aquesta definició, l'agilitat, l'equilibri, la pliometria, la potència, l'estabilitat i l'entrenament de força són subconjunts de NT. Això pot suggerir que un programa que contingui exercicis de core, pliomètrics i exercicis de força isomètrica podria ser beneficiós per la millora del rendiment esportiu i en concret per la millora del rendiment dels salts.

La GR requereix entrenament de força per millorar la capacitat de salt, però, un grau baix de la hipertròfia muscular és un requisit previ »d'esveltesa» i «lleugeresa» (Di Cagno et al., 2010). Les gimnastes de rítmica han de realitzar diversos moviments, incloent salts verticals i canvis freqüents de moviment, postura i tensió (Agostini et al., 2017). Molts d'aquests atributs es desenvolupen simplement practicant rutines gimnàstiques tradicionals, però complementar-ho amb PT sembla facilitar el progrés de les gimnastes a desenvolupar força i velocitat (Hewett et al., 1996). Força explosiva, temps de reacció contra el terra, flexibilitat i les característiques antropomètriques representen el 41% d'èxit en el rendiment de GR (Miletić, Katić, et al., 2004).

A continuació s'exposen els aspectes a tenir en compte a l'hora de realitzar entrenament de força explosiva en joves esportistes, ja que aquest estudi s'ha desenvolupat amb joves gimnastes de rítmica.

2.4.4. Entrenament de la força explosiva en joves esportistes

L'entrenament de la força en els nens ha estat històricament un tema controvertit (Bompa, 2005). Un temps enrere, els programes d'entrenament que incloïen entrenament de força (balístic o pliometric) eren controvertits en poblacions pre-adolescents (Brady et al., 1982; Komi, 1986). Avui en dia, el desenvolupament de la potència muscular no només és important en esportistes d'elit adults, sinó també ho és en esportistes en edat infantil i especialment en esportistes adolescents (Slimani et al., 2018). Lloyd i Oliver (2012) van proporcionar proves en el seu model de desenvolupament físic per joves esportistes, conclouent que la potència muscular s'hauria de desenvolupar durant tots els períodes de maduració (és a dir, abans, al voltant i després del PHV). Els joves esportistes amb nivells d'aptitud física insuficients (per exemple, potència i força muscular) que no esdevinguin competents en els primers anys de la vida, tindran menys probabilitats de participar en activitats físiques diverses com a adults (Robinson et al., 2015). Per tant, és important que els joves esportistes entrenin i millorin la potència muscular en les primeres etapes per evitar deficiències neuromusculars i esdeveniments adversos per a la salut més endavant (Bergeron et al., 2015). Hi ha evidència que demostra que els programes de força i condicionament dissenyats adequadament tenen el potencial d'estimular el desenvolupament motor/esportiu de joves esportistes i ajudar a prevenir lesions agudes i causades per repetició excessiva (Faigenbaum et al., 2016; Lloyd et al., 2016).

Els efectes positius de l'entrenament de força i NT en joves esportistes estan ben documentats avui dia (Granacher et al., 2018). Les conclusions de treballs originals, revisions sistemàtiques i metaanàlisi han demostrat l'eficàcia de programes de NT sobre la força muscular, les habilitats motores, el rendiment esportiu, la resistència a les lesions, la salut metabòlica i mental en joves no atlètics (Granacher et al., 2016; Myer, Faigenbaum, Chu, et al., 2011).

Els programes de NT que integren una varietat de moviments fonamentals dissenyats per millorar tant la salut com el rendiment esportiu poden ser més beneficiosos si s'inicien durant la pre-adolescència (Myer, Faigenbaum, Ford, et al., 2011). L'entrenament neuromuscular integrat mantingut durant tota la infància i l'adolescència probablement millorarà la biomecànica del moviment, minimitzarà el risc de lesions relacionades amb l'esport i promourà resultats de salut positius durant l'edat adulta (Myer, Faigenbaum, Ford, et al., 2011).

En referència als programes de PT, l'objectiu d'un article de revisió va ser esbrinar si els programes de pliometria són beneficiosos i segurs per millorar el rendiment motor d'esportistes pre-puberals de cinc a catorze anys (Johnson et al., 2011). Van concloure que el PT té un gran efecte en la millora de la capacitat de córrer i saltar i reporten que també té un gran efecte en l'augment de la distància de xut, l'equilibri i l'agilitat. L'evidència actual suggereix que un programa de dues vegades per setmana, durant vuit-deu setmanes, que comença amb 50-60 salts en una sessió, i augmenta la càrrega d'exercicis setmanalment, dona lloc a un millor rendiment de carrera i salt (Johnson et al., 2011). Per a nens que no tenen la capacitat o tolerància per fer

un PT dos cops per setmana es pot realitzar un programa alternatiu de baixa intensitat amb una durada més llarga. Aquesta investigació va suggerir que el PT és segur per als nens quan: els pares donen el consentiment, els nens accepten participar i les pautes de seguretat s'incorporen a la intervenció (Johnson et al., 2011). La durada mínima d'un entrenament pliomètric ha de ser de sis setmanes per obtenir beneficis significatius i un augment del rendiment en joves esportistes (Myer et al., 2005).

El creixement, desenvolupament i maduració afavoreixen la millora de la força i el rendiment motor (Beunen i Thomis, 2000; Blimkie, 1989; Malina et al., 2004). La força i el rendiment físic de les extremitats inferiors augmenten constantment amb l'edat i aquest augment tendeix a durar 0,5-1,5 anys després del PHV en ambdós sexes (Beunen i Thomis, 2000; Blimkie, 1989; Malina et al., 2004). En els estudis que apliquen programes de PT realitzats amb joves esportistes és important controlar l'estat de maduració dels subjectes analitzats per saber si la millora ve donada per l'evolució madurativa o l'entrenament, així com assegurar que els grups control i experimental realitzen les mateixes hores d'entrenament i no s'afegeix una càrrega d'entrenament addicional (Moran et al., 2019). També es reporta que amb edats adolescents seria convenient reduir la càrrega de PT a causa dels canvis patits en aquesta franja d'edat i substituir aquesta càrrega per entrenament del core o entrenament de la tècnica de l'esport (Moran et al., 2017). Per tant, alhora d'implementar un programa de PT o NT haurem de tenir en compte que el rendiment físic augmenta amb l'edat i la maduració dels esportistes. A això se li haurà de sumar, que el nivell inicial de gimnastes entrenades, pel que fa al rendiment pliomètric, serà més gran que en poblacions no entrenades (Marina i Jemni, 2014).

Sembla ser que la pliometria i el treball de força explosiva són adequats i beneficiosos per infants i adolescents esportistes si es planifiquen bé. A continuació veurem quins tipus d'entrenament ajuden a millorar la força explosiva, així com quins efectes provoca l'entrenament de força explosiva en els esportistes adults i joves.

2.4.5. Antecedents dels efectes de l'entrenament de la força explosiva

A la bibliografia trobem que estudis que comprenen comparacions transversals i longitudinals, han demostrat millores en la velocitat màxima i el desplaçament induïdes per l'entrenament esportiu durant diversos moviments de salt (Cormie et al., 2009). Amb aquests resultats extraïem que l'entrenament esportiu ajuda a millorar variables de la força explosiva. En la mateixa línia, un altre investigació reporta que esportistes entrenats obtenen velocitats màximes superiors en comparació amb individus no entrenats, així com en esportistes que participen en entrenaments d'alta velocitat versus entrenaments que impliquen velocitats de moviment inferiors (McBride et al., 1999). De la mateixa manera, es va produir una millora de la velocitat màxima durant un test de CMJ després de programes d'entrenament de potència que obligaven els esportistes a aconseguir velocitats de moviment elevades (és a dir, moviments balístics de càrrega lleugera) (McBride et al., 2002). Aquests resultats han estat recolzats per investigacions que demostren una millora en el test de CMJ després de diversos programes d'entrenament de potència, pliomètrics i de musculació del tronc inferior (Hakkinen et al., 1985; Holcomb et al., 1996; McBride et al., 2002).

Millores en el desenvolupament del RFD durant tests de salt i tests isomètrics després de realitzar entrenaments de potència també s'han observat en diversos estudis (Hakkinen et al., 1985; K. Jones et al., 2001).

La majoria d'estudis que s'han trobat han aplicat programes de PT en moltes modalitats esportives per millorar el rendiment dels esportistes, com per exemple, un estudi amb nedadors adolescents va reportar que incloure un PT ajuda a millorar el salt d'inici en les proves de natació (Bishop et al., 2009). La millora del rendiment dels esportistes mitjançant un programa de PT, també s'ha reportat amb futbol (Chelly et al., 2010) i basquetbol (Khlifa et al., 2010), en aquest segon estudi, afegeixen que aplicar sobrecàrrega a un programa de PT tradicional pot ajudar a millorar els resultats de salt vertical i horitzontal. Un altre estudi conclou que vuit setmanes de PT afegit a l'entrenament tradicional d'atletisme va millorar la velocitat i la força explosiva de les extremitats inferiors de joves atletes (Fischetti et al., 2018). Resultats similars s'han vist en jugadores joves d'handbol, que milloren indicadors de rendiment després de nou setmanes de PT (Hammami et al., 2020). Segons diversos articles de revisió, s'ha vist que els programes de PT són beneficiosos per la millora del rendiment en esportistes adults, on es veuen millores moderades de variables de rendiment (Oxfeldt et al., 2019), així com també en joves esportistes femenines (Moran et al., 2019) i masculins (Moran et al., 2017).

En relació a programes de PT aplicats en gimnàstica, cal destacar, que les gimnastes produeixen una major potència mecànica durant exercicis repetitius de salt màxim que noies no esportistes de la seva edat, però també s'ha de tenir en compte que es cansen ràpidament (Kums et al., 2005). Un estudi realitzat amb gimnastes d'artística orientades a l'elit va recomanar realitzar un programa de PT combinat amb entrenament de resistència intensa, ja que les gimnastes van millorar la seva capacitat de salt tot i el seu alt nivell inicial (Marina i Jemni, 2014). Un altre estudi realitzat amb gimnastes d'artística va avaluar l'efecte d'una intervenció de sis setmanes de PT sobre el rendiment del flic-flac realitzat en l'aparell de salt i el desenvolupament de la potència en les extremitats inferiors. Es van trobar diferències significatives en el temps de vol de les gimnastes (Hall et al., 2016). En un estudi també realitzat amb gimnastes d'artística es conclou que la potència explosiva augmenta en el grup experimental en comparació amb el grup control després d'haver realitzat un programa de PT (Mirela et al., 2014). Els resultats d'aquest estudi condueixen a la conclusió que l'exercici pliomètric indueix a un ajust elàstic mecànic en sentit oposat i un augment del to muscular (Mirela et al., 2014). La interacció del PT provoca un canvi en l'elasticitat-contractilitat del múscul sol·licitant el cicle: estirament - força explosiva (Mirela et al., 2014). En contrast amb els estudis realitzats amb gimnastes d'artística, aquest estudi realitzat amb joves gimnastes d'artística (de set a nou anys) reporta que un programa de PT no va augmentar el rendiment del salt del grup experimental respecte del grup control, ja que ambdós van millorar per igual, mentre que sí va augmentar el rendiment de l'esprint i de canvis de direcció amb el PT més que l'entrenament tradicional de gimnàstica (Bogdanis et al., 2019).

S'han trobat diversos estudis que han avaluat l'efecte d'un programa de PT en gimnastes de rítmica (Agostini et al., 2017; Nitzsche et al., 2022; Taktak et al., 2013). El primer estudi es va realitzar amb vint gimnastes de rítmica d'entre disset a vint anys d'edat i es va trobar una millora de 6 i 7 cm d'alçada del grup experimental en els tests de SJ i el CMJ respectivament després de quatre setmanes de PT, mentre que el grup control només va millorar 1cm en els

dos tests (Taktak et al., 2013). Amb aquests resultats s'indica que la realització del programa de PT va mostrar un significatiu augment de la força explosiva de les gimnastes i es va fer el seguiment d'aquestes gimnastes durant un any i es va comprovar que el PT mantenia els efectes de força explosiva en les gimnastes. Aquests resultats coincideixen amb el segon estudi realitzat amb trenta gimnastes de categoria juvenil, en aquest estudi, l'addició de dotze setmanes de PT a l'entrenament tradicional, va millorar el rendiment de les gimnastes desenvolupant una major potència en les extremitats inferiors, augmentant la seva capacitat de salt vertical i horitzontal i una millora en l'agilitat (Agostini et al., 2017). En l'estudi més recent, realitzat amb quinze gimnastes de rítmica, de competició nacional i internacional, i amb edats puberals i prepuberals, es va concloure que la força dinàmica i reactiva es pot incrementar després de realitzar sis setmanes de PT (Nitzsche et al., 2022).

A més de la millora del rendiment i de la força explosiva, cal destacar que les dones que van participar en un programa de pliometria van presentar una reducció significativa del nombre de lesions greus al genoll (Hewett et al., 1996) com a resultat d'adaptacions neuromusculars que milloren l'estabilitat dinàmica del genoll i el rendiment (Hewett, 2000).

A la literatura també trobem antecedents d'estudis que han avaluat la força explosiva després d'haver realitzat programes de NT. En gimnàstica artística un estudi realitzat amb 34 gimnastes pre-puberals va concloure que un programa de NT (el programa incloïa exercicis de resistència muscular del tronc, exercicis bàsics de moviment (p. ex. la sentadeta), estabilització dinàmica, pliometria i entrenament de força, va millorar alguns indicadors de rendiment com la resistència del tronc i el coneixement i eficiència del moviment, però no van millorar la força reactiva ni la rigidesa de les cames (Moeskops et al., 2018). Els autors apunten que aquests resultats podrien ser deguts a la falta d'estímul en els exercicis pliomètrics i que gimnastes pre-puberals potser requereixen càrregues o intensitats més altes.

En referència als efectes d'un entrenament de core sobre la força explosiva, s'ha trobat un estudi que indica que estudiants d'un institut van millorar la força explosiva mesurada mitjançant el salt horitzontal a peus junts, després d'haver realitzat un CT amb exercicis de core estàtics i dinàmics (Sarkar i Datta, 2019). Un altre estudi realitzat amb futbolistes en període de desenvolupament, suggereix que un programa de vuit setmanes de CT és un mètode eficaç per desenvolupar la força muscular abdominal i la força explosiva (Bavli i Koç, 2018). De la mateixa manera que un estudi amb jugadors de bàsquet va demostrar que 12 setmanes d'entrenament pliomètric i CT van produir una millora significativa en la força explosiva dels jugadors (Lukose i Senthilkumar, 2016).

En gimnàstica artística, s'ha trobat una tesi doctoral que reporta que l'aplicació d'un programa de sis setmanes de CT no millora l'equilibri dinàmic i variables de força explosiva mesurada a través de salt (González Sepúlveda et al., 2019).

Respecte a estudis amb gimnastes de rítmica, en una tesi doctoral s'avalua el salt vertical en gimnastes de rítmica a Malàisia després d'haver realitzat un entrenament de vuit setmanes de core (Nazari, 2019). També s'avaluen exercicis específics de GR com el salt de tisoires a través de la puntuació de jutges. Aquest estudi reporta que després de realitzar un CT les gimnastes de rítmica milloren el rendiment del salt vertical, així com la puntuació del salt de tisoires. Per altra

banda, s'ha trobat un estudi que avalua els salts en GR després de realitzar estiraments estàtics i suggereix que aquest tipus d'entrenament realitzat abans dels salts pot afectar negativament al seu rendiment (Di Cagno et al., 2010). En la mateixa línia un altre estudi reporta que el rendiment del CMJ en gimnastes de rítmica no millora després d'haver fet un entrenament específic d'estiraments estàtics i dinàmics (Fraga Silva et al., 2018).

No s'ha trobat cap estudi que implementi un entrenament integrat de core i pliometria però s'ha trobat un estudi que va implementar un entrenament integrat de Pilates i exercicis pliomètrics a l'aigua, el qual inclou exercicis de core (integrats en els exercicis de Pilates) i exercicis pliomètrics, tot i que amb resistència de l'aigua, es reporta que les sis gimnastes d'elit avaluades milloren l'alçada del salt i la força explosiva (Hutchinson et al., 1998).

Segons la literatura i els diversos estudis trobats, es suggereix que programes que continguin pliometria poden ajudar a millorar la força explosiva de les gimnastes. No tan clarificadors han estat els resultats obtinguts per entrenaments neuromusculars i de core en referència a la millora de la força explosiva. S'haurà de comprovar si un entrenament de core integrant pliometria i estabilització dinàmica ajuda a millorar variables de la força explosiva i salt en joves gimnastes de rítmica.

2.5. ENTRENAMENT FUNCIONAL

Funció és essencialment un propòsit. Quan apliquem aquest terme als esports estem parlant d'un entrenament esportiu amb un propòsit (Boyle, 2016). Aquest concepte es va originar a la medicina esportiva, es va pensar que els exercicis per retornar l'esportista a la pràctica després d'una lesió serien també els òptims per mantenir i millorar la seva salut (Boyle, 2016). No s'ha de confondre amb el terme entrenament específic ja que aquest es refereix a l'entrenament que es duu a terme de cada esport en el context propi (camp, tapís, piscina...etc.) amb els patrons de moviment propis de cada esport, mentre que l'entrenament funcional es refereix a millorar el condicionament físic (Boyle, 2016).

Per entendre millor l'entrenament funcional ens podem plantejar tres preguntes:

- Quants esports es realitzen asseguts? Per exemple el rem, però la majoria no, i per tant, exercicis on els esportistes estiguin asseguts no es considerarien funcionals.
- Quants esports es realitzen en un entorn rígid on l'estabilitat ve proporcionada per una font externa? Hauríem de respondre que cap, ja que en els esports l'estabilitat ve proporcionada per l'esportista i l'entorn no és completament rígid i estable. Per exemple, les màquines d'aixecar pes proporcionen l'estabilitat de la càrrega i es podria dir que entrenar amb aquests instruments és segur ja que no provocarà lesions, però en les situacions esportives reals, a l'esportista li mancarà informació sensorial interna de la posició i el moviment (propiocepció) i l'estabilitat, cosa que podria portar a més risc de lesions.

- Quantes accions esportives es realitzen utilitzant el moviment d'una única articulació? Hauríem de tornar a dir que cap, moviments d'una sola articulació que aïllen músculs específics són molt poc funcionals, mentre que moviments multi articulars que integren grups musculars en patrons de moviments, són molt funcionals (Gambetta et al., 2002).

De les respostes a aquestes tres preguntes podríem resumir que els exercicis d'un entrenament funcional haurien de ser en contacte amb el terra, amb algunes poques excepcions, i sense l'ajuda de màquines.

L'entrenament funcional utilitza molts conceptes desenvolupats pels entrenadors esportius per millorar la velocitat, la força i la potència per millorar el rendiment esportiu i reduir el risc de lesió (Boyle, 2016).

L'entrenament funcional incorpora intencionadament l'equilibri i la propiocepció (consciència corporal) en l'entrenament amb la utilització d'exercicis unilaterals sobre un peu (Gambetta et al., 2002). També incorpora versions de moviments simples com la sentadeta, flexions cap endavant, fons, empènyer i estirar per proporcionar a l'esportista exercicis continus on suporten el seu propi pes i es desenvolupen en tots els plans de moviment. Com a apunt final, l'entrenament funcional entrena moviments i no músculs (Boyle, 2016).

La musculatura clau que requereix entrenament d'estabilitat és (Boyle, 2016):

- Abdominals profunds
- Abductors i rotadors dels malucs
- Estabilitzadors escapulars

A vegades per poder desenvolupar l'estabilitat d'aquests grups musculars primer es necessita realitzar exercicis aïllats sobre aquesta musculatura per poder després treballar-la correctament (aïllar per innervar). Per això, exercicis no funcionals d'una sola articulació poden ajudar a millorar el rendiment de tota l'extremitat inferior (Boyle, 2016). És una de les paradoxes de l'entrenament funcional. Però el que està clar, és que no podem realitzar moviments més difícils si els fonaments no estan estables. Per altra banda, quan realitzem entrenament de força, mai comprometem la seguretat de les articulacions per tal de realitzar el moviment més específics cap a l'esport.

En la majoria d'esports, inclòs la Gimnàstica, els millors esportistes són aquells que tenen més velocitat i potència, i no pas més resistència i flexibilitat. La força i l'agilitat són les qualitats més preuades en aquells esports de força explosiva (Boyle, 2016). Especialment quan entrenem amb joves esportistes, l'èmfasi s'ha de posar en el desenvolupament de la velocitat i la potència. La clau de l'entrenament funcional és desenvolupar força inestable (Boyle, 2016).

La força és necessària per millorar la potència i la velocitat. Per això hem de pensar amb la força com la base des d'on tota la resta es desenvolupa. Però no s'ha de pensar en un concepte simple de força bilateral, sinó més aviat força unilateral específica (Boyle, 2016).

Un programa de força és tan simple com empènyer, estirar, exercicis on predomina el genoll, el maluc i exercicis de core (Boyle, 2016).

Aspectes essencials per dissenyar un programa d'entrenament funcional de força (Boyle, 2016):

- Aprendre primer els patrons bàsics de moviment: S'han de dominar els moviments bàsics abans de considerar progressions per realitzar l'entrenament més funcional.
- Començar per exercicis simples amb el pes corporal: És molt important saber realitzar els exercicis amb el pes corporal abans d'afegir més pes.
- Progressar del més simple al més complex: Els exercicis segueixen una progressió funcional i s'ha d'afegir més nivell i dificultat en els exercicis fent servir el temps apropiat.
- Utilitzar el concepte de resistència progressiva: És la clau de l'èxit. Afegir més repeticions o pes cada setmana. Si l'esportista pot augmentar les repeticions, el manteniment de l'exercici o el pes que mou significarà que està progressant. És un principi de l'entrenament molt antic que segueix funcionant en l'actualitat.

2.5.1. Entrenament funcional i gimnàstica

Segons els principis de l'especificitat, la millor manera d'entrenar per a un esport és simplement fer l'esport en si. Òbviament, no hi ha un rendiment més específic d'una habilitat esportiva que la pròpia habilitat. Tanmateix, sabem que aquesta idea no té com a resultat un rendiment òptim ni màxim. Sovint, l'esportista és simplement massa dèbil, rígid o no té la resistència per realitzar les habilitats tècniques adequades, i en «intentar» realitzar l'habilitat final sense la força, la potència, la flexibilitat, etc. necessàries, l'esportista desenvolupa mals hàbits que afecten a la seva execució i són difícils de canviar (Sands et al., 2003). En el cas de la gimnàstica, no aconseguiríem el rendiment màxim només realitzant els exercicis de competició, així que hi ha d'haver un equilibri entre l'especificitat i la progressió (Sands et al., 2003). Els músculs, els moviments i les demandes fisiològiques entre l'exercici o progressió d'entrenament i l'exercici de competició haurien de ser força semblants. No obstant això, els moviments no haurien de ser del tot iguals perquè correrem el risc de tenir interferències negatives i un descens paradoxal del rendiment (Sands et al., 2003). Aleshores, els i les gimnastes, haurien de concentrar el seu entrenament augmentant la força, la potència, la flexibilitat i la resistència i després permetre que l'entrenament d'habilitats específiques de l'esport orienti les seves «qualitats motrius» millorades cap a les habilitats esportives de competició. Això posa de manifest la importància de millorar les qualitats físiques (força, potència, etc.) en els entrenaments de gimnàstica (Sands et al., 2003).

En un estudi de gimnàstica artística les gimnastes milloren la nota de l'exercici de terra després d'haver realitzat un entrenament funcional durant un període de 16 setmanes (Padte i Kadhavan, 2020). Resultats similars es van trobar en un estudi realitzat amb gimnastes de rítmica, en aquest cas, l'entrenament funcional va ser més curt, de quatre setmanes, programat amb la finalitat de millorar la CS i l'estabilitat dels membres inferiors i complementat

amb exercicis de força explosiva i resistència. Aquest entrenament va ajudar a millorar les puntuacions dels girs i els salts avaluats (Qin et al., 2021).

Segons la literatura, l'entrenament funcional adreçat a esportistes és una manera de preparar-se per a la competició donant molta importància al treball de les qualitats físiques bàsiques com són la força, la velocitat, la flexibilitat i la resistència, mentre s'entrenen les habilitats específiques de cada esport.

Després d'haver analitzat els aspectes teòrics relacionats amb aquesta tesi procedim a la justificació l'estudi.

JUSTIFICACIÓ DE L'ESTUDI

3. JUSTIFICACIÓ DE L'ESTUDI

La GR és un esport olímpic aparentment minoritari però que cada vegada més s'està convertint en un esport molt popular entre les nenes i adolescents. Segons l'Observatori Català de l'Esport (2014), és una de les activitats esportives més practicades a Catalunya i Espanya amb una àmplia majoria de practicants de sexe femení. Perquè aquesta pràctica esportiva sigui beneficiosa per totes les gimnastes, els entrenaments haurien de conduir a una millora del rendiment, sempre tenint present els aspectes saludables de les gimnastes. Seria convenient, per tant, poder disposar de més coneixement científic sobre l'entrenament de la GR. Tal i com hem observat al marc teòric, alguns autors han estudiat certes àrees d'aquest esport, però tot i així, hi ha molt camp per estudiar i experimentar.

S'ha demostrat que el treball de la condició física, entre altres, és un paràmetre imprescindible per la millora del rendiment de GR. Diferents estudis coincideixen que és necessari un equilibri entre el treball de flexibilitat i força per poder executar amb èxit els elements corporals marcats pel codi de puntuació. Sobretot és requereix el treball de la força explosiva per realitzar correctament els elements de salt inclosos dins del codi de GR. Per altra banda, també s'ha vist que el control postural és essencial per al rendiment de GR, per poder executar correctament la majoria dels moviments presents en l'esport així com el grup d'elements corporals d'equilibri inclosos també en el codi de puntuació. Una de les preguntes que ens plantejem és, l'entrenament tradicional de GR desafia suficientment la força explosiva i el control postural de joves gimnastes?

L'estabilitat del core (CS) és un fenomen que s'ha començat a estudiar fa relativament poc temps. S'ha demostrat que l'entrenament de l'estabilitat del core (CST) té efectes positius en la prevenció i la recuperació de lesions. Molts estudis afirmen que el CST ajuda a mitigar el dolor lumbar i les lesions en les extremitats inferiors en els esportistes. Molts investigadors també s'han interessat per l'efecte que el CST pot tenir en el rendiment dels esportistes. Tot i la falta de consens en la definició de CS i les característiques dels programes de CST per esportistes, sembla que aquest tipus d'entrenament podria ser beneficiós per millorar el control postural i la força explosiva dels esportistes. Alguns autors fan èmfasi en respectar la funcionalitat de l'esport en els programes de CST per tal d'augmentar el rendiment dels esportistes en el seu esport, i per això també es parla del fenomen d'entrenament funcional. Per tant, la següent pregunta que ens formulem és, un programa funcional de CST ajudaria a millorar el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de rítmica?

També s'ha vist que la pliometria és un dels mètodes d'entrenament més utilitzats per la millora de la força explosiva. L'entrenament proposat en aquesta tesi, per tant, integra la CS, el control postural i la força explosiva mitjançant exercicis funcionals de core, equilibri inestable i pliometria executats amb exercicis específics de GR.

L'estudi s'ha realitzat amb gimnastes de competició inicial i no amb gimnastes d'alt rendiment, ja que manquen estudis en aquest col·lectiu i són una mostra més apropiada per investigar si certs

factors antropològics afecten al rendiment. La correlació entre característiques morfològiques i millora d'habilitats específiques pot ser de molta ajuda per als primers estadis del procés de l'entrenament i el procés de selecció de l'esport. A la iniciació de la GR es molt important dur a terme un bon treball corporal de base per després poder coordinar cos i aparell, per aquest motiu, s'estudiarà el treball corporal de les gimnastes. Dels tres grups d'elements corporals de la GR s'avaluaran els equilibris i els salts, els girs no s'avaluaran, ja que requereixen primer de l'assoliment dels equilibris sobre un peu.

La present tesi doctoral pretén oferir un entrenament que tingui un efecte sobre el rendiment en GR així com promoure un entrenament saludable per les seves practicants. Per aconseguir-ho, es considera molt important treballar la GR d'una manera equilibrada i bilateral, sobretot en gimnastes joves, i tot i que avaluar les lesions de les gimnastes no és un dels objectius d'aquesta tesi, la promoció de l'entrenament saludable, equilibrat i bilateral a la GR sí que ho és. Pensem que aplicant correctament aquest entrenament es promoció un equilibri entre la flexibilitat i la força i una millora de la preparació física general i específica de les gimnastes promovent així una preparació òptima i possibilitant una disminució del risc de lesions.

A nivell personal he decidit investigar sobre la GR ja que és la meva passió, i el fet d'aportar coneixement a algun àmbit d'aquest esport em fa sentir plena i realitzada. Penso que és important que hi hagi cada vegada més estudis científics que ajudin a millorar l'eficiència de l'entrenament de GR. En la meva opinió, és molt important realitzar un bon treball de base de les gimnastes per allargar la seva vida esportiva, que malauradament, en l'actualitat té una curta durada, no només degut als entrenaments sinó també al poc suport institucional que rep aquest esport. Per això, m'agradaria poder fer més visible la GR i ajudar a promocionar l'esport femení.

OBJECTIUS I HIPÒTESIS

4. OBJECTIUS I HIPÒTESIS

L'objectiu d'aquest projecte és avaluar l'efecte d'un entrenament funcional integrat de core en l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de rítmica. A més, aquesta tesi pretén estudiar quins son els canvis en el rendiment de les gimnastes en variables específiques de GR.

Objectiu principal/general: Avaluar l'efecte de l'administració de vuit setmanes d'una proposta d'entrenament funcional de core, que integra exercicis d'estabilitat del core, equilibri i pliometria, en l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de rítmica.

Amb aquesta finalitat es portaran a terme tres estudis diferenciats però pertanyents a una mateixa línia d'investigació.

4.1. OBJECTIUS ESTUDI 1

- Objectiu 1.1: Avaluar l'efecte d'un programa de vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core, en el rendiment dels tests de control motor lumbopelvià en joves gimnastes de rítmica.
- Objectiu 1.2: Avaluar l'efecte d'un programa de vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core, en el rendiment dels tests de resistència del core en joves gimnastes de rítmica.

4.2. HIPÒTESIS ESTUDI 1

- Hipòtesi 1.1: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica millorarà el rendiment dels tests de control motor lumbopelvià en els moviments de flexió, extensió, abducció i rotació dels malucs del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.
- Hipòtesi 1.2: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica millorarà el temps de manteniment dels tests de resistència del core del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.

4.3. OBJECTIUS ESTUDI 2

- Objectiu 2.1: Avaluar l'efecte d'un programa de vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core, en el rendiment dels tests de control postural d'equilibri unípede en joves gimnastes de rítmica.

- Objectiu 2.2: Avaluar l'efecte d'un programa de vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core, en el rendiment d'equilibris específics de gimnàstica rítmica en joves gimnastes de rítmica.

4.4. HIPÒTESIS ESTUDI 2

- Hipòtesi 2.1: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica millorarà les variables del centre de pressions en els tests de control postural d'equilibri unípede amb cama dreta i esquerra amb ulls oberts i ulls tancats del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.
- Hipòtesi 2.2.1: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica millorarà les variables del centre de pressions dels equilibris específics de gimnàstica rítmica (*passé, arabesque* i cama al costat) del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.
- Hipòtesi 2.2.2: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica millorarà la puntuació dels equilibris específics de gimnàstica rítmica (*passé, arabesque* i cama al costat) del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.

4.5. OBJECTIUS ESTUDI 3

- Objectiu 3.1: Avaluar l'efecte d'un programa de vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core, en el rendiment dels tests de força explosiva en joves gimnastes de rítmica
- Objectiu 3.2: Avaluar l'efecte d'un programa de vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core, en el rendiment de salts específics de gimnàstica rítmica en joves gimnastes de rítmica.

4.6. HIPÒTESIS ESTUDI 3

- Hipòtesi 3.1: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica millorarà les variables de força explosiva en els tests de salt amb contramoviment d'una i dues cames del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.
- Hipòtesi 3.2: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica millorarà la puntuació dels salts específics de gimnàstica rítmica (*corza, tisoires i gambada*) del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.

ESTUDI 1

*L'efecte de vuit setmanes d'entrenament funcional de core
en l'estabilitat del core de joves gimnastes de rítmica:
Assaig clínic aleatoritzat*

5. ESTUDI 1:

L'efecte de vuit setmanes d'entrenament funcional de core en l'estabilitat del core de joves gimnastes de rítmica: Assaig clínic aleatoritzat

5.1. INTRODUCCIÓ

La gimnàstica rítmica (GR) és un esport que requereix una selecció precoç d'esportistes i un entrenament intensiu durant la infància i l'adolescència (Miletić, Katić, et al., 2004; Rutkauskaitė i Skarbalius, 2009). A banda de la flexibilitat, els predictors de rendiment més importants en la GR d'iniciació són la força i, en general, la condició física (Donti et al., 2016; Gateva, 2013). Les gimnastes de rítmica també requereixen un bon control postural per mantenir els elements d'equilibri inclosos en les dificultats corporals del codi de puntuació (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). Els elements d'equilibri en GR requereixen mantenir una posició corporal específica sobre una superfície mínima; per tant, la GR requereix una gran exigència respecte al control postural (Gateva, 2016).

L'estabilitat del core (CS) és la capacitat de controlar la posició i el moviment del tronc sobre la pelvis (Kibler et al., 2006), en conseqüència, té una funció important sobre el control postural. El core és una faixa muscular que funciona com una unitat per estabilitzar el cos i especialment la columna vertebral (Akuthota i Nadler, 2004). La CS és el producte del control motor i la capacitat muscular per produir la força del complex lumbopelvià (Gamble, 2007; Leetun et al., 2004). Tenir una bona CS és indispensable per transmetre eficientment la força a través del complex lumbopelvià (Leetun et al., 2004), proporcionant força del tronc, equilibri estàtic i dinàmic (Anderson i Behm, 2005; Kibler et al., 2006). Una bona CS ajuda a transmetre forces entre les extremitats superiors i inferiors de manera eficient i augmenta el rendiment en situacions en què el control postural és molt demandat (Kibler et al., 2006; Long et al., 2021).

L'entrenament de l'estabilitat del core (CST) en activitats d'alt nivell hauria de permetre el rendiment esportiu alhora que es manté la columna vertebral estabilitzada (Barr et al., 2007). Els programes de CST utilitzats amb finalitats terapèutiques poden no ser útils per al rendiment esportiu, ja que se centren principalment a preparar el pacient per dur a terme tasques quotidianes sense dolor, mantenint una postura alineada sense desafiar forces (Hides et al., 2001; McGill, 2001). En canvi, en el rendiment esportiu, el core haurà d'absorbir grans impactes, per exemple en la recepció de salts i en la transmissió eficient de les forces a les extremitats (Kibler et al., 2006; Long et al., 2021; Myer et al., 2005). En l'entorn esportiu, la CS implica controlar i transferir de forma dinàmica grans forces des de les extremitats superiors i inferiors a través del core per maximitzar el rendiment i promoure una biomecànica eficient (McGill, 2010). S'accepta que els programes d'entrenament de CS han de respectar les característiques funcionals dels esports per ser transferibles (Kibler et al., 2006; Lederman, 2010). Així, els exercicis de CS són funcionals per a un esport concret quan aquests exercicis condueixen a un reclutament eficient

i especialitzat d'unitats motores, per tal d'aconseguir la coordinació adequada dels segments implicats en la cadena cinètica de les habilitats específiques de l'esport. A més, els exercicis de CS realitzats conjuntament amb exercicis pliòmètrics es recomanen per millorar el rendiment esportiu (Willardson, 2007a). Diversos estudis van avaluar l'efecte de programes de CST sobre el rendiment esportiu, la majoria d'ells són de quatre a dotze setmanes de durada, la mitja està en programes de vuit setmanes (Boz, 2020; Esteban-García et al., 2021; S.-L. Hsu et al., 2018; Mills et al., 2005; Nazari i Boon Hooi, 2019; Sandrey i Mitzel, 2013; Tse et al., 2005; Yildizer i Kirazci, 2017). Aquests estudis proporcionen una base per a investigar com entrenar el core i avaluar el paper específic de la CS en el rendiment. Alguns estudis van trobar una associació entre la CS i el rendiment esportiu (Eskiyecek et al., 2020; Mills et al., 2005; Sandrey i Mitzel, 2013; Yildizer i Kirazci, 2017). No obstant això, s'accepta que encara hi ha una manca de programes de CST funcionals i protocols de mesura prou sensibles per avaluar el core (Borghuis et al., 2008).

Segons on el nostre coneixement arriba, els exercicis de CS utilitzats recentment en programes de CST per a GR no proporcionen estímuls específics per als moviments tècnics (Esteban-García et al., 2021; Lederman, 2010; Nazari i Boon Hooi, 2019). Per tant, aquest estudi té com a objectiu avaluar l'efecte d'un programa de CST funcional de vuit setmanes sobre la CS de joves gimnastes de rítmica. En aquest estudi es planteja la hipòtesi que una intervenció de vuit setmanes, que consisteix en un CST funcional que integra accions d'estabilitat i força del core mentre es realitzen diferents moviments, salts i postures de GR específiques, podria ser un mètode valuós per millorar la CS en joves gimnastes de rítmica.

5.2. MATERIAL I MÈTODES

5.2.1. Disseny

Assaig clínic paral·lel aleatoritzat

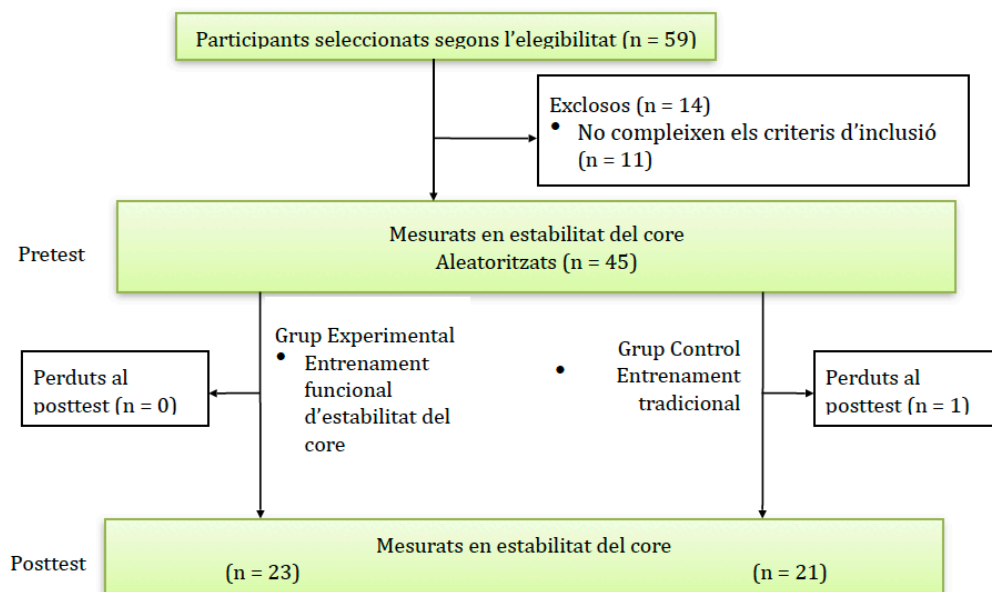
L'estudi es va realitzar segons els estàndards del CONSORT (Moher, 2010).

5.2.2. Participants

Es va utilitzar el programa GPOWER v3.1 (Bonn FRG, Universitat de Bonn, Departament de Psicologia) per calcular a priori la mida de la mostra necessària per obtenir una potència $(1-\beta) > 0,9$, mida de l'efecte = 0,4 i $\alpha = 0,05$, el resultat va ser d'una mostra total requerida de trenta-sis subjectes. Finalment, la mostra es va establir en quaranta-cinc participants inicials en previsió d'una possible pèrdua de mostra.

En l'estudi actual van participar quaranta-cinc joves gimnastes de rítmica. Totes les gimnastes van competir en competicions federades i escolars de GR i es van formar en un equip competitiu de nivell nacional de GR (Figura 44). Els criteris d'exclusió van ser: 1) gimnastes que entrenaven menys de tres sessions per setmana, 2) tenien menys d'un any d'experiència en la competició o, 3) tenien dolor o lesió que pogués alterar el desenvolupament de la prova o l'entrenament.

Figura 44. Diagrama de flux dels participants (estudi 1)



Els participants van ser assignats aleatòriament seguint procediments simples d'aleatorització (nombres aleatoris informatitzats) i es van assignar en dos grups: el grup experimental (GE, n = 23) i el grup control (GC, n = 22) (Figura 44).

Els participants no podien prendre cap beguda o medicament que pogués alterar el sistema nerviós. Les característiques descriptives dels participants es mostren a la taula 2. No es van trobar diferències significatives en les característiques demogràfiques i antropomètriques entre els grups abans de la sessió de prova.

Taula 2. Característiques de les participants (estudi 1)

Variables	GE (n=23)	GC (n=21)	T-Test (valor de p)
Edat (anys)	10,52 ± 1,90	10,43 ± 1,78	0,874
Pic de velocitat màxima de creixement (PHV) (anys)	12,25 ± 0,55	12,23 ± 0,67	0,917
Anys des de PHV	1,21 ± 1,41	1,10 ± 1,38	0,798
Alçada (m)	1,44 ± 0,10	1,44 ± 0,11	0,801
Pes (kg)	37,82 ± 9,83	38,2 ± 8,03	0,892
Índex de massa corporal (kg/m ²)	18,08 ± 2,56	18,06 ± 1,56	0,982
Alçada del centre de gravetat (m)	0,87 ± 0,07	0,87 ± 0,07	0,922

Nota. No hi ha diferències significatives entre els grups.

Segons l'última versió de la Declaració de l'AMM (associació mèdica mundial) de Hèlsinki, els subjectes estaven totalment informats i se'ls hi va proporcionar el consentiment informat per escrit abans de participar en l'estudi sobre els procediments experimentals i els riscos potencials. El comitè d'ètica de la Universitat Ramon Llull de Barcelona va aprovar la realització d'aquest estudi, número d'aprovació: CER- FPCEE Blanquerna, 1819007D. Els pares o tutors legals

respectius de tots els participants van completar el document de consentiment informat abans de l'estudi (annex 11.1).

5.2.3. Procediment

El GE es va sotmetre al programa funcional de vuit setmanes amb tres sessions per setmana. El GC va seguir l'entrenament tradicional durant les mateixes sessions per setmana.

El GE va completar el CST funcional integrat a la mateixa hora del dia que el seu entrenament programat des del 19 de març fins al 15 de maig de 2020. La durada de l'entrenament funcional va ser d'aproximadament trenta minuts durant vuit setmanes amb un total de vint-i-quatre sessions. Una professional qualificada de GR va observar les gimnastes del GE mentre realitzaven els exercicis per assegurar-se que l'entrenament es realitzava correctament. Tots els participants van ser avaluats una setmana abans i una setmana després de la intervenció. Abans dels tests, l'ordre dels subjectes i l'ordre de les proves aplicades es van determinar aleatòriament mitjançant un generador de nombres aleatoris per controlar el biaix. Les proves de CS es van realitzar en un dia en el pretest i posttest per una fisioterapeuta especialitzada en esport, que desconeixia el grup assignat als subjectes. Les gimnastes van dur a terme un escalfament de quinze minuts abans dels tests que consistia en exercicis d'activació cardiovascular i estiraments.

Les mesures antropomètriques es van recollir un segon dia en el pretest i posttest per la mateixa fisioterapeuta. Aquestes mesures ens van ajudar a estimar la maduresa biològica de les gimnastes amb la predicció de l'edat del pic de velocitat màxima de creixement (PHV), mitjançant la tècnica no invasiva proposada per Mirwald et al. (2002).

Protocol de CST funcional integrat

El present estudi es va registrar a clinicaltrials.gov amb el número NCT04663633. El programa de CST implicava exercicis que desafiaven l'equilibri i el control postural de les gimnastes i comprenia exercicis de força explosiva de cicle d'escurçament-estirament (CEA), executats amb elements i postures específiques de GR, amb càrregues més elevades que l'entrenament tradicional (taula 3).

Taula 3. *Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core de vuit setmanes (estudi 1)*

Exercicis	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep
Bloc 1																
Planxa lateral sobre el bossu	2	6	2	6	3	6	3	6	3	6	3	6	4	6	4	6
Planxa prono sobre pilota	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	4	6	4	6
Salts pliomètrics + Equilibris GR	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	3	6
Salts pliomètrics dobles + Equilibris GR	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	3	6
Salts pliomètrics de GR amb cons	2	8	2	8	4	8	4	8	4	8	4	8	6	8	6	8
Salts pliomètrics de GR amb tanques	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	6	8	6	8
Equilibris de GR sobre disc d'equilibri	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 10»	2	3 x 10»	2	3 x 10»
Bloc 2																
DJ + Equilibri passé	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
DJ + Equilibri arabesque	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri passé	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri arabesque	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri cama costat	0	0	0	0	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
DJ + Corza	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4
DJ + Tisores	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4
DJ + Gambada	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4

Taula 3. *Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core de vuit setmanes (estudi 1). Continuació*

Bloc 3																
Planxa lateral amb braç estirat	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	4	6	4	6
Planxa lateral sobre colze	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	4	6	4	6
Pont de malucs amb passé	2	4 + 8»	2	4 + 8»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»
Pont de malucs amb cama costat	2	4 + 8»	2	4 + 8»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»
Pont de malucs amb passé + rebots	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10
Pont de malucs amb cama costat + rebots	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10
Equilibri passé + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10
Equilibri arabesque + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10
Equilibri costat + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10

Nota. DJ = salt amb caiguda, JDJ = salt-caiguda-salt, S = setmana. Bloc 1 = Barreja d'exercicis de CS, equilibri i pliòmètrics. Tots els exercicis es van realitzar amb els costats dret i esquerre. Totes les planxes es van executar amb posicions de passé, cama costat i *arabesque* i es van mantenir durant 2 s en cada posició. Tots els DJ i JDJ es van realitzar amb un banc de 30 cm d'alçada.

Es va demanar a tots els participants que mantinguessin la seva zona lumbopelviana recta i estable mentre realitzaven diferents accions específiques com salts i equilibris. Se'ls va animar a endinsar el melic mentre exhalaven durant cada respiració i cada repetició, ja que les repeticions es comptaven per cicles de respiració.

Els participants van valorar la intensitat de les sessions mitjançant la taxa d'esforç percebut (RPE) amb l'escala de sessió (sRPE), un mètode vàlid per quantificar la intensitat d'un entrenament amb una gran varietat de tipus d'exercicis (Foster et al., 2001). Es va dur a terme una prova pilot del CST per comprovar la intensitat de l'exercici percebuda per les gimnastes. Per aconseguir un nombre prescrit de repeticions, es va ajustar la càrrega als valors de 7-8 de l'escala RPE (és a dir, mitja-alta intensitat). Trenta minuts després de cada sessió de CST, totes les gimnastes (GE i GC) van puntuar a l'escala sRPE (Foster et al., 2001). Per obtenir la sRPE, es va multiplicar la puntuació pels minuts de la sessió (Haddad et al., 2017). Aquest resultat es va utilitzar per modular la periodització de l'entrenament. Quan els valors eren inferiors a 7-8 sRPE s'afegia una sèrie en els exercicis que tècnicament estaven ben executats. De la mateixa manera, el temps de manteniment dels exercicis isomètrics executats correctament es va duplicar en sRPE més baixes de 7-8.

El CST funcional integrat contenia tres blocs: el primer bloc estava format per un circuit d'habilitats específiques amb superfícies inestables, cons i tanques, el segon bloc incloïa exercicis pliomètrics amb equilibris i salts específics de GR combinats amb accions de CS, i el tercer bloc incloïa una barreja de posicions d'equilibris específics de GR amb salts i exercicis de core isomètrics en posició horitzontal a terra. Vàrem seleccionar tres equilibris i tres salts molt comuns en GR (de nivell competitiu inicial-mig) per convertir els exercicis del CST integrats en un entrenament funcional específic de l'esport. Els equilibris seleccionats van ser l'equilibri *passé*, l'equilibri cama costat amb ajuda i l'*arabesque*. Els tres salts eren les tisores, la corza des d'*assemblé* i la gambada. Els elements de GR esmentats es van seleccionar a causa de la varietat de plans de la posició de les extremitats inferiors, així com les diferents tècniques que requereixen, ja que s'aconsella que es realitzin exercicis per desafiar la musculatura del core en els tres plans i diferents rangs de moviment per desenvolupar completament la CS (Panjabi, 1992). A més, tots els exercicis es van executar de manera equitativa per als costats dret i esquerre (els exercicis de cada bloc es mostren als annexos 11.2 i 11.3). Vàrem incloure superfícies inestables i pilotes toves per dur a terme exercicis de core i d'equilibri (Figura 45). Les gimnastes van realitzar tres exercicis del circuit sobre una superfície inestable, amb l'objectiu d'estimular els ajustos anticipats dels músculs estabilitzadors alhora que intentaven minimitzar la desestabilització postural (Slijper i Latash, 2000). Les investigadores (una fisioterapeuta experta en CS i una entrenadora professional de GR) van desenvolupar el protocol d'entrenament i els exercicis, i altres entrenadores professionals de GR ho van dur a terme.

Figura 45. *Exemple d'un exercici de core específic de gimnàstica rítmica sobre una superfície inestable*



Durant la intervenció del CST de vuit setmanes, tant el GE com el GC realitzaven un escalfament conjunt, consistent en una activació general i estiraments (trenta minuts aproximadament). Després, el GE continuava amb el CST i el GC portava a terme l'escalfament convencional habitual de GR, que consistia en un escalfament combinant flexibilitat, força, exercicis de core clàssics no funcionals (com abdominals, llançaments de cames i planxes), i tècnica corporal de GR a terra. Un cop finalitzada aquesta part de la sessió, ambdós grups duien a terme la resta de sessió prevista per cada dia (annex 11.4).

5.2.4. Instruments d'avaluació

Es va utilitzar una unitat de biofeedback per pressió (PBU) per avaluar el control motor lumbopelvià (CMLP) abans i després de la intervenció (Liebenson et al., 2009; Zazulak i Medvecky, 2019). El PBU (Stabilizer®, Chattanooga Group, Inc., Hixson, TN, EUA) és un dispositiu fiable, no invasiu i no dolorós que consisteix en un coixí inflable connectat a una cèl·lula de pressió. Aquest dispositiu registra els canvis de pressió en un comptador durant diferents moviments de les extremitats inferiors. El coixí conté 16,7 × 24 cm de material no elàstic. El comptador de pressió mesura de 0 a 200 mmHg, amb una precisió de 2 mmHg. Els canvis de posició del cos modifiquen la pressió, que és registrada per l'esfigmomanòmetre (França et al., 2012). El PBU és un dispositiu econòmic i de fàcil transport que pot ajudar a les gimnastes a tenir dades objectives sobre la capacitat per mantenir estable la seva zona lumbopelvià mentre es mouen les extremitats inferiors, com ho fan en el seu esport.

Es va utilitzar un cronòmetre manual (Namaste© model 898, Espanya) per quantificar la durada de deu segons de la prova ASLR i el temps total realitzat pels participants en la prova d'inclinació pelvià.

Es van realitzar dos tests de PBU per avaluar el CMLP:

Test ASLR

L'ASLR es va realitzar en posició supina segons Solana-Tramunt et al. (2019). El coixinet inflable es va col·locar horitzontalment sota la columna lumbar del participant, amb la vora inferior al nivell de les espines ilíiaques posteriors superiors i es va inflar a 40 mmHg. Es va indicar al subjecte que aixequés un membre inferior estès 20 cm i que el mantingués durant 10 s. La desviació absoluta de mmHg positiva o negativa es va registrar per a l'anàlisi. Les proves ASLR es van realitzar als costats dret i esquerre (Figura 46).

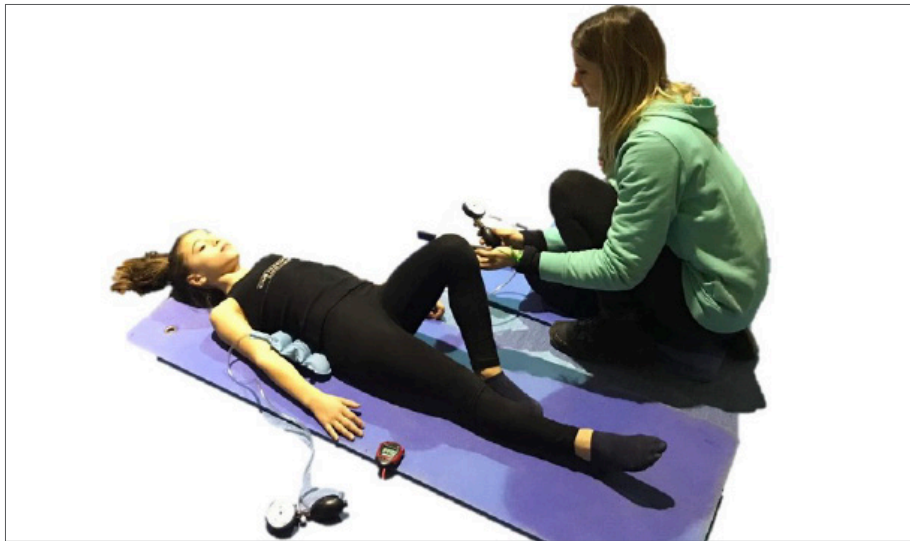
Figura 46. *Test de control motor lumbopelvià ASLR*



Test BKFO

Per al BKFO, els subjectes es van col·locar de la mateixa manera en posició supina. Els participants van flexionar un dels genolls 120° i se'ls va demanar que portessin lentament el genoll cap a l'exterior fins a aproximadament 45° d'abducció i rotació externa del maluc mentre mantenien l'altre extremitat en una posició neutral i després tornessin a la posició inicial, repetint el moviment tres vegades. Es van col·locar dues PBU unides sota el centre de l'esquena a nivell L3 i connectades al llarg de la columna per evitar diferències en el senyal tàctil lumbar, tot i que només es van considerar les dades de la PBU de l'extremitat en moviment (Solana-Tramunt et al., 2019). La desviació absoluta de mmHg positiva o negativa es va registrar per a l'anàlisi. Les proves BKFO es van realitzar als costats dret i esquerre (Figura 47).

Figura 47. *Test de control motor lumbopelvià BKFO*



A més, es va utilitzar el test d'inclinació pelviana per avaluar la resistència dels músculs responsables de mantenir estable la zona lumbopelviana en posició neutra (Vezina i Hubley-Kozey, 2000). Afegim la prova d'inclinació pelviana per comprovar la resistència dels músculs responsables de mantenir alineada la zona lumbopelviana.

Test d'inclinació pelviana

Les gimnastes es van col·locar en decúbit supí sobre un matalàs prim. Les participants van flexionar un genoll 120° mentre que l'altra extremitat inferior es va estendre. Es va demanar a les gimnastes que mantinguessin l'extremitat recta alineant les espatlles, el maluc, el genoll i el turmell mentre mantenien els dos genolls junts. El cronòmetre es va activar un cop el subjecte va fixar la posició, i es va col·locar l'anivellador (aplicació «Measure» d'iOS) sobre l'estómac per controlar que la inclinació de la pelvis no superés els 10° de diferència respecte a la posició inicial. Els participants van rebre instruccions per aguantar fins al seu límit de resistència. El cronòmetre es va aturar quan la pelvis de les gimnastes tocava el terra o hi havia més de 10° de diferència en la posició de la pelvis. Es van realitzar proves d'inclinació pelviana als costats dret i esquerre (Figura 48). El temps en segons es va registrar per a l'anàlisi.

Figura 48. Test d'inclinació pelviana



Pic de velocitat màxima de creixement (PHV)

Per estimar la maduració biològica i per distingir si els canvis en el rendiment físic es deuen a la maduració o a l'exposició a l'entrenament regular d'exercici, es va calcular el PHV (Lloyd et al., 2014). L'edat de PHV es va predir mitjançant una equació de regressió múltiple utilitzant les mesures antropomètriques d'alçada d'empeus, alçada asseguda, longitud de cames i pes (annex 11.6). L'equació calcula l'interval de temps en anys entre l'edat prevista de PHV i l'edat actual de l'individu. Els valors poden ser negatius si encara no s'ha arribat a l'edat de PHV, positius si l'edat de PHV ja ha passat, o zero (0) si l'edat actual és l'edat exacta de PHV (Mirwald et al., 2002). Un investigador certificat per l'ISAK va desenvolupar totes les mesures antropomètriques d'acord amb els procediments estàndards d'ISAK. TEM% Inter-observador 1-5,5% per plecs i 0,5-1% per la resta de mesures.

5.2.5. Anàlisi estadística

Les dades descriptives dels participants es presenten com a mitjana \pm desviació estàndard (DE). Les dades descriptives de l'anàlisi inferencial corresponen a les mitjanes marginals estimades amb un interval de confiança del 95% (IC; de límit inferior a límit superior). La normalitat es va avaluar mitjançant mesures de distribució estàndard, inspecció visual de gràfiques Q-Q i diagrames de caixa i el test de Shapiro-Wilk. Atès que les variables dependents no presentaven una distribució normal, hi havia la possibilitat que els resultats de les variables dependents tinguessin una variança diferent entre el pre i el post, per tant, vam utilitzar models lineals mixts per a dades longitudinals per analitzar els canvis dins i entre grups de variables dependents (Ma et al., 2012).

S'ha utilitzat el mòdul GAMLj (Gallucci, 2019), que utilitza la formulació R d'efectes aleatoris del programari Jamovi (*The jamovi project*, v1.6, 2021). GAMLj estima els components de la variança amb una probabilitat màxima residual (REML), produint estimacions de paràmetres de variança i covariança, a diferència de l'estimació prèvia de màxima probabilitat. El grup de factors intersubjecte (GE i GC), el factor temps intrasubjecte (pre i postintervenció) i la interacció

(grup × temps) es van establir com a efectes fixos. Els canvis intersubjecte i intrasubjecte es van avaluar per primera vegada mitjançant la prova *omnibus* ANOVA F utilitzant l'aproximació de *Satterthwaite* dels graus de llibertat i, en segon lloc, estimant els coeficients amb els seus IC del 95% per als efectes fixos en el model mixt. A més, es va obtenir la variança dels coeficients aleatoris i es va reportar com una correlació intraclasse (ICC) dividint-la per la suma de si mateix i la variança residual. L'anàlisi d'efectes simples es va fer a partir d'una ANOVA (sumes de quadrats tipus III) i el mètode *Kenward-Roger* per al càlcul de graus de llibertat. Els canvis dins del subjecte en les variables dependents es van analitzar mitjançant la superioritat estocàstica (Apost-pre), que representa la probabilitat que una puntuació posterior a la intervenció seleccionada aleatòriament sigui més gran que una puntuació prèvia a la intervenció seleccionada aleatòriament (Vargha i Delaney, 2000). Vam decidir aplicar aquest tipus de càlcul de la mida de l'efecte a causa de la distribució no normalitzada de les nostres variables dependents i, segons Vargha i Delaney (2000), la superioritat estocàstica és una mida de l'efecte de llenguatge comú que es pot aplicar directament a qualsevol variable discreta o contínua que s'escala almenys ordinàriament. Els valors de probabilitat de la superioritat estocàstica s'organitzen en una escala qualitativa de petit (0,56-0,64), a mitjà (0,65-0,71) i gran (>0,71) quan tendeixen a 1. Els valors entre 0,44-0,56 es consideren insignificants. Quan els valors tendeixen a 0 s'organitzen des de petits (0,43-0,36), fins a mitjans (0,37-0,29) i grans (<0,29) (Vargha i Delaney, 2000).

El nivell de significació es va establir en $p < 0,05$ en totes les anàlisis.

5.3. RESULTATS

La prova *omnibus* ANOVA va mostrar un efecte significatiu del factor temps ($p < 0,05$) en el test BKFO dret ($F_{1,42} = 4,60$; $p = 0,038$) i ambdues proves d'inclinació pelviana (dreta $F_{1,42} = 22,01$, $p < 0,001$; esquerra $F_{1,42} = 19,13$, $p < 0,001$). No hi va haver efectes d'interacció significatius. Els paràmetres estimats d'efectes fixos per al BKFO dret van mostrar que ambdós grups tenien menys variació de la pressió després de la intervenció en comparació amb la pre-intervenció ($\beta = -1,85$ mmHg, IC 95% = [-3,54 a -0,16], $t_{42} = -2,14$, $p = 0,038$). A més, la inclinació pelviana esquerra ($\beta = 37,0$ s, IC 95% = [20,4 a 53,6], $t_{42} = 4,37$, $p < 0,001$) va millorar 8,9 segons més que la inclinació pelviana dreta ($\beta = 28,1$ s, IC 95% = [16,3 s. a 39,8], $t_{42} = 4,69$, $p < 0,001$) considerant els dos grups junts. L'anàlisi simple d'efectes del grup dins del pre no va mostrar diferències entre el grup abans de la intervenció en cap de les variables analitzades. No obstant això, tot i que no hi va haver interacció en la prova *omnibus* ANOVA, l'anàlisi d'efectes simples del temps dins del grup va revelar que el BKFO va millorar en comparació amb pretest només al GE (BKFO dreta: $\beta = -3,13$ mmHg, IC del 95% = [-5,54 a -0,72].], $t_{42} = -2,62$, $p = 0,012$; BKFO esquerra: $\beta = -2,91$ mmHg, IC 95% = [-5,27 a -0,56], $t_{42} = 2,49$, $p = 0,017$).

Els canvis en el grup de factors es van analitzar a partir del concepte de superioritat estocàstica (Apost-pre), que representa la probabilitat que la puntuació seleccionada aleatòriament de la postintervenció sigui més gran que en la preintervenció. El GE va reduir la seva variació de pressió amb canvis mitjans i petits per a BKFO dret i esquerra, respectivament (taula 4). Per contra, GC dreta i esquerra BKFO no van canviar. El GE va millorar més que GC per a la prova d'inclinació pelviana dreta (mitjana vs. petita, GE vs. GC) i esquerra (gran vs. mitjana, EG vs. GC).

La taula 4 mostra les mitjanes marginals estimades i el seu IC del 95% de les variables dependents dels dos grups. S'ha calculat la importància de l'efecte simple del factor temps i la superioritat estocàstica de la postintervenció versus preintervenció (post-pre). La varianza dels coeficients aleatoris es representa com una correlació intraclasse (ICC, varianza del component aleatori dividida per la suma de si mateixa i la varianza residual).

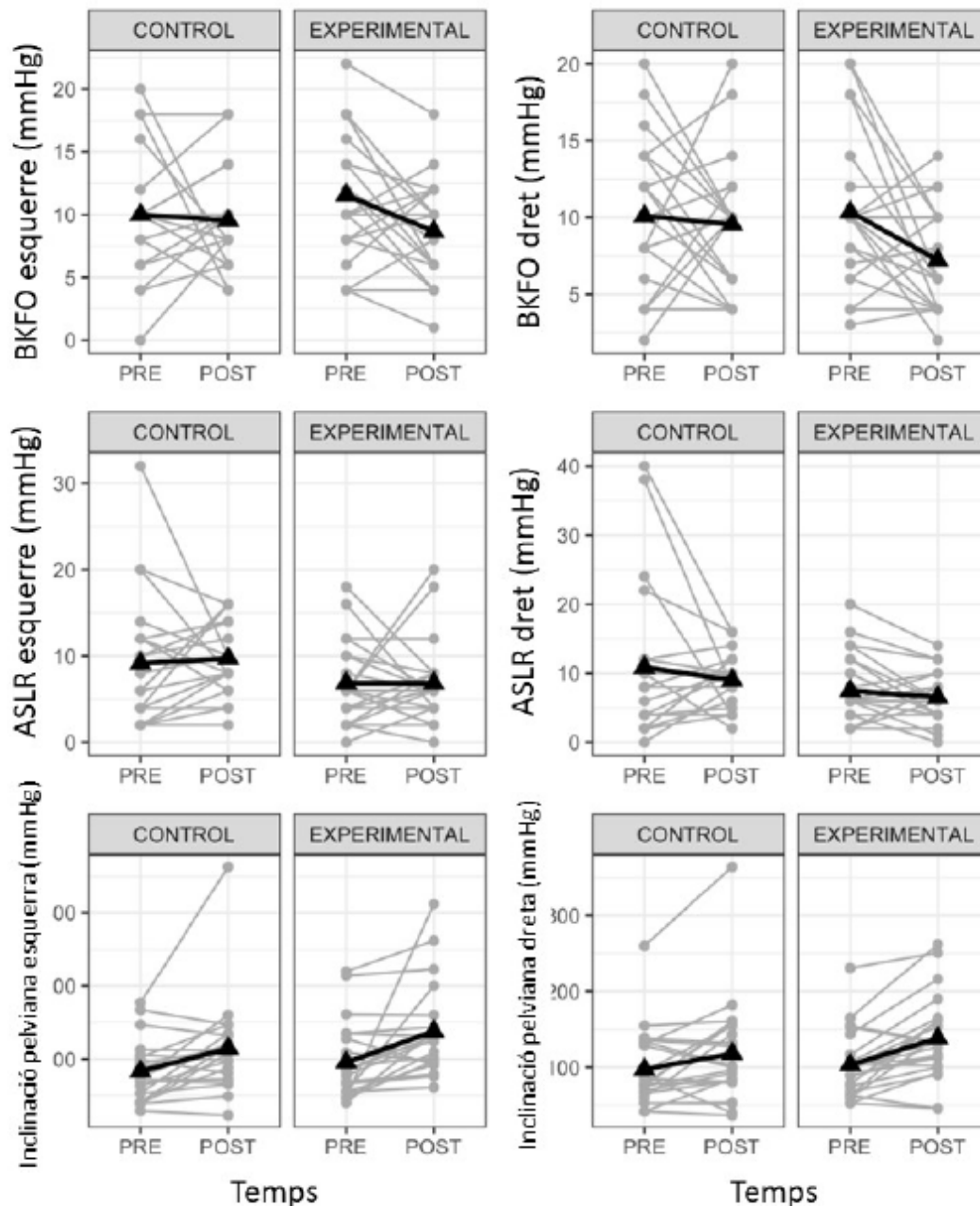
Taula 4. Resultats dels tests d'estabilitat del core

	GE		Apost-pre	Valor p-	GC		Apost-pre	Valor p-	Valor p	
	Pre-	Post-			Pre-	Post-			temps x grup	components aleatoris
BKFO Dret	10.4 [8.5;12.1]	7.2 [5.4;9.0]	0.69 petit	0.01*	10.1 [8.2;11.9]	9.5 [7.6;11.4]	0.53 insignificant	0.64	0.14	0.13
BKFO Esquerre	11.6 [9.7;13.4]	8.6 [6.7;10.5]	0.66 petit	0.01*	10.0 [8.0;11.9]	9.5 [7.5;11.5]	0.55 insignificant	0.69	0.15	0.22
ASLR Dret	7.5 [4.7;10.2]	6.6 [3.8;9.3]	0.52 insignificant	0.59	10.9 [7.9;13.7]	9.0 [6.1;11.8]	0.44 insignificant	0.30	0.71	0.24
ASLR Esquerre	6.9 [4.5;9.1]	6.9 [4.6;9.4]	0.49 insignificant	0.47	9.1 [6.7;11.5]	9.7 [7.3;12.0]	0.40 petit	0.33	0.78	0.22
Inclinació Pelviana dreta	103.4 [80.2;126.5]	138.6 [115.4;161.7]	0.29 mitjà	0.001*	97.3 [73.1;121.5]	118.3 [94.0;142.5]	0.38 petit	0.02*	0.24	0.74
Inclinació Pelviana esquerra	95.5 [72.3;118.6]	137.9 [114.7;161.1]	0.25 gran	0.001*	83.0 [58.7;107.2]	114.6 [90.3;138.8]	0.32 mitjà	0.01*	0.52	0.49

Nota. Mitjanes marginals estimades i IC del 95% per al test de BKFO, ASLR i d'inclinació pelviana. Tots els tests es van avaluar a la dreta i a l'esquerra. Una superioritat post-pre estocàstica (probabilitat i inferència qualitativa) de l'avaluació postintervenció versus preintervenció. Significança: * $p < 0,05$, ** $p < 0,001$.

A continuació, la figura 49 mostra els canvis individuals dels tests de CS abans i després de la intervenció. L'anàlisi de la component aleatòria mostra una major variació entre subjectes pel que fa a la variança residual en el cas del test d'inclinació pelviana dreta (ICC= 0,74, $p < 0,001$) i no va ser el cas del costat esquerre i de la resta de proves.

Figura 49. *Resultats de la variabilitat individual en totes les proves d'estabilitat del core*



Els valors mitjans de sRPE es van calcular per garantir que no hi hagués diferències d'entrenament de càrrega entre els grups. El rang de valors més baix i més alt de totes les sessions i de totes les gimnastes van ser 1050-1358 au per al GE, i 958-1335 au per al GC. No hi va haver diferències significatives entre grups.

5.4. DISCUSSIÓ

L'objectiu principal d'aquest estudi va ser analitzar l'eficàcia d'un programa funcional integrat de CST de vuit setmanes en la CS de joves gimnastes de rítmica. El GE va millorar en quatre proves: BKFO dreta i esquerra, i inclinació pelviana dreta i esquerra. Per altra banda, el GC només va millorar en ambdós costats a la prova d'inclinació pelviana, tot i que les diferències entre grups no van ser significatives, i va haver-hi una manca d'interacció, la qual cosa significa que no hi va haver efecte de temps en funció del grup al qual pertanyien les gimnastes. Segons el que sabem, aquest és el primer estudi que mesura la CS mitjançant proves de PBU i la prova d'inclinació pelviana en joves gimnastes de rítmica. El motiu principal per fer els tests triats va ser que, en joves gimnastes de rítmica, és molt més important centrar el CST en el control lumbopelvià que en la força del core. El PBU és un dispositiu econòmic que pot ajudar els practicants a tenir dades objectives sobre la capacitat per mantenir estable la seva zona lumbopelviana mentre es mouen les extremitats inferiors, com ho fan en el seu esport. Addicionalment, vam afegir la prova d'inclinació pelviana per comprovar la resistència dels músculs responsables de mantenir alineada la zona lumbopelviana. Totes aquestes proves ens van donar informació vàlida sobre l'estat del CMLP en GR i garantir la validesa ecològica de l'estudi.

Aquests resultats suggereixen que afegir un CST funcional a l'entrenament regular mostra una tendència a millorar el rendiment de les variables relacionades amb la CS, cosa que podria ajudar a millorar el rendiment específic en GR. Els nostres resultats coincideixen amb l'estudi de CST implementat en gimnastes de rítmica (Nazari i Boon Hooi, 2019). Els autors van concloure que el CST és un programa eficaç per millorar les característiques físiques i tècniques de les joves gimnastes de rítmica procedents de Malàisia. De la mateixa manera, un altre estudi recent va trobar millores de la força del core en gimnastes de rítmica joves després d'un CST tradicional de dotze setmanes (Esteban-García et al., 2021). No obstant això, aquests autors no van dur a terme un CST funcional integrat per a GR. Els autors d'un estudi de gimnastes d'artística van concloure que la resistència del core va millorar després d'un CST tradicional de vuit setmanes (Bassett i Leach, 2011). Tanmateix, aquest estudi també va implementar un CST tradicional en lloc d'un CST funcional. L'estudi implementat en ballarins (Watson et al., 2017) va informar que un programa intensiu d'entrenament de nou setmanes de CS va millorar el rendiment de la dansa, l'equilibri i la musculatura del core. Cal assenyalar que aquest estudi va dissenyar un CST funcional per a ballarins i va mesurar paràmetres de core i de rendiment la qual cosa afegeix interès als resultats. No obstant això, la GR té elements i normes específiques; per tant, aquests descobriments s'han de provar i adaptar a les gimnastes de rítmica.

Els resultats van indicar una variabilitat individual significativa en els tests BKFO dret i esquerre per al GE en comparació amb el GC després de la intervenció de CST. El GE va mostrar una millora mitjana per al test BKFO dret i una millora petita per al BKFO esquerre, mentre que el GC va mostrar resultats insignificants tant per als tests BKFO dret com per a l'esquerre. El BKFO és un test fiable per avaluar el CMLP realitzant una rotació externa del maluc (O'Brien et al., 2018). Aquesta prova indica la capacitat d'aixecar i girar l'extremitat inferior en el pla horitzontal i frontal i estabilitzar la zona lumbopelviana (Solana-Tramunt et al., 2019). El GE va aconseguir millors resultats en aquestes dues proves; per tant, podríem suposar que el CST funcional ajuda a millorar el control motor sobre els moviments de rotació

i abducció de les extremitats inferiors de les gimnastes. Aquestes millores es podrien transferir a una millor execució dels moviments de *rond de jambe* (una circumducció de la cama), *fouettés* (un moviment ràpid de la cama en diferents posicions), *battements* laterals (un gran llançament de cama al costat) i equilibris de GR que incloguin aquests moviments, tècniques molt utilitzades en GR que contenen moviments de rotació i abducció de les extremitats inferiors (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). Segons el nostre coneixement, aquest estudi ha estat el primer a avaluar BKFO amb el dispositiu PBU en joves gimnastes de rítmica; per tant, la comparació amb altres estudis transversals o d'intervenció no és possible.

El GE va tenir la millora més notòria a la prova d'inclinació pelviana en comparació amb altres proves després de la intervenció de CST de vuit setmanes. El GE va mostrar una millora gran en test d'inclinació pelviana esquerra i una millora mitjana al dret, mentre que el GC va assolir una millora mitjana i petita respectivament. La inclinació pelviana és un test de CS per mesurar la resistència del core (Vezina i Hubley-Kozey, 2000). Els músculs del core necessiten resistència per mantenir les postures i mantenir estable la zona lumbopelviana, per tant, s'han de fomentar els exercicis que comprometen la resistència del core (Zazulak i Medvecky, 2019). Això suggereix que el programa de CST funcional ajuda a millorar la resistència del core, especialment a la cama esquerra, però també indica que l'entrenament tradicional de GR millora la resistència del core de les gimnastes. En l'entrenament tradicional, les gimnastes realitzen més repeticions amb la seva cama hàbil, generalment la cama dreta, mentre que en el CST funcional, les gimnastes utilitzen les dues cames per igual. Això podria ser una explicació de millores més altes als tests d'inclinació pelviana esquerra en el GE en comparació amb el GC. En concordança amb els nostres resultats, en l'estudi de les gimnastes d'artística, el GE va millorar en la prova de la planxa supina (similar a la posició de la prova d'inclinació pelviana). En canvi, el CST era tradicional i no funcional, i el GC no va millorar en les proves de resistència del core (Bassett i Leach, 2011). Cal tenir en compte que la resistència del core és un component molt important que repercuteix en el rendiment de l'equilibri (Akuthota i Nadler, 2004). L'estudi realitzat en ballarins va indicar que les millores en la força muscular abdominal a través d'un CST, condueixen a un millor equilibri estàtic i dinàmic i a la capacitat de gir de les piruetes (Watson et al., 2017). Això suggereix que el CST funcional podria proporcionar a les gimnastes nivells més alts d'equilibri, un dels tres grups fonamentals d'elements corporals inclosos en els exercicis de competició de GR (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). Segons el nostre coneixement, aquest estudi és el primer a avaluar els efectes d'un CST funcional amb el test d'inclinació pelviana en joves gimnastes de rítmica; per tant, la comparació amb altres estudis transversals o d'intervenció no és possible.

En canvi, el GE i el GC no van mostrar diferències ni millores significatives pel que fa a als tests d'ASLR dret i esquerra de després del programa de CST integrat de vuit setmanes. L'ASLR és un test vàlid per avaluar el CMLP (Liebenson et al., 2009) mesurant el control de la flexió del maluc en el pla sagital i el control motor lumbar (Solana-Tramunt et al., 2019). Els nostres resultats suggereixen que ni l'entrenament tradicional de GR ni el CST desafien el control de la flexió del maluc en els moviments del pla sagital i el control motor lumbar. A més, el GC va mostrar resultats inferiors a la prova de l'esquerra ASLR després de les vuit setmanes.

És important assenyalar que hi ha una gran variabilitat individual en els resultats dels dos grups (Figura 49), especialment en els tests de BKFO i ASLR. La prova d'inclinació pelviana és molt més consistent i presenta més «*responders*» que els altres dos tests. L'ICC dels tests també es pot observar a la taula 4. Això suggereix que el test d'inclinació pelviana és més objectiu per mesurar la CS en GR que els tests de BKFO i ASLR. En conseqüència, aquests resultats també podrien significar que els tests PBU presenten una major variabilitat a causa de les seves característiques. Tot i que estudis recents han informat de la validesa de les proves de PBU (Azevedo et al., 2013; Faustino et al., 2021; Liebenson et al., 2009; Solana-Tramunt et al., 2019; Zazulak i Medvecky, 2019), també es discuteix que cap test de CS serveix com a estàndard d'or (Sharrock et al., 2011). En el nostre cas, els tests de BKFO i ASLR han estat menys consistents que el test d'inclinació pelviana per copsar millor els efectes i les millores del CST i l'entrenament tradicional de GR.

El nostre CST funcional és innovador, ja que està relacionat amb patrons motors de la GR. En el nostre estudi, les gimnastes van entrenar exercicis de core amb una demanda d'equilibri, control postural i força explosiva SSC. Els reptes imposats a la CS s'acosten a les exigències de les habilitats de GR. Aquesta afirmació és recolzada per Lederman (2010) que defensa que respectar la funcionalitat esportiva en un CST és necessari per millorar el rendiment esportiu. Com més específic és l'entrenament, s'aconseguirà més transferència a l'esport. Cal apropar-se a la realitat de l'esport i respectar, en el nostre cas, les necessitats funcionals de GR. En conseqüència, el nostre programa es considera més funcional que un CST tradicional perquè és un disseny holístic que inclou determinants importants del rendiment de la GR. Els nostres resultats mostren una mida d'efecte més gran al GE en el BKFO i especialment en el test d'inclinació pelviana, això suggereix que el CST tendeix a millorar les mesures de CS, però s'haurien de realitzar tests més específics de GR per avaluar que aquest CST funcional millora el rendiment GE.

Com hem esmentat, aquest entrenament específic integrava les demandes de control del core mentre es duïen a terme accions de força del core, desafiava l'equilibri i el control postural amb elements específics de GR. Investigacions anteriors han donat suport a CST integrats demostrant que el control neuromuscular es pot millorar mitjançant exercicis d'estabilitat articular, entrenament d'equilibri, entrenament amb pertorbacions i exercicis pliòmètrics o de salt (Wolff et al., 1998). El nostre entrenament inclou aquest tipus d'exercicis combinats i els resultats suggereixen que un CST integrat millora el control motor i la resistència del core.

Aquest entrenament també es pot considerar entrenament de preparació física ja que conté exercicis de força isomètrica del tronc i exercicis de força explosiva de les extremitats inferiors. S'ha esmentat que un nivell adequat de rendiment físic és un requisit previ per a un rendiment tècnic excel·lent en GR (Gateva, 2013). En particular, la preparació física específica d'una gimnasta desenvolupa tant la seva condició física com la capacitat de dominar els exercicis de GR (Douda et al., 2007). En conseqüència, aconseguir una millor resistència del core en el GE suggereix que aquest CST ajuda a millorar la condició física en GR. A més, el nostre CST pot ajudar a prevenir lesions de les gimnastes de rítmica, ja que el CST s'ha associat amb la prevenció i la reducció del risc de lesions (Hibbs et al., 2008; Hides et al., 2001; Long et al., 2021; Zazulak et al., 2007; Zazulak i Medvecky, 2019). Un control neuromuscular del core deficient predisposa els esportistes a patir dolor lumbar i lesions a les extremitats inferiors (Borghuis et al., 2008) i la CS disminueix el risc de lesions a les extremitats inferiors en els esportistes (Leetun et al., 2004).

A més, un estudi d'un CST específic de vuit setmanes implementat en gimnastes, va concloure que el CS pot ajudar a prevenir i reduir el mal d'esquena en aquesta població i recomana que el CST formi part de les sessions d'entrenament (Harringe et al., 2007). Els esportistes que tenen nivells més alts de CS tenen menys risc de lesions, per tant, no interrompen el seu programa d'entrenament (Sharrock et al., 2011).

En els estudis que es realitzen amb nens s'ha de ser conscient de la importància de la maduresa biològica i la seva relació amb el creixement i el rendiment físic. A més, per estudiar els efectes de l'entrenament esportiu hem de saber quina part de la millora es deu als canvis relacionats amb el creixement i la maduració i fins a quin punt reflecteix les adaptacions de l'entrenament (Georgopoulos et al., 1999). En el nostre estudi es va avaluar la maduresa i el creixement de les gimnastes mostrant un estat premenarcal i una edat PHV negativa de la majoria de gimnastes. La divisió aleatòria de grups (GE i GC) no va mostrar diferències significatives d'edat de PHV entre grups, per tant, no es va necessitar cap divisió de grups d'edat de PHV. Segons Georgopoulos et al. (2001) qualsevol avaluació de la maduració sexual hauria de tenir en compte els indicadors biològics de l'edat òssia i el PHV.

5.5. LIMITACIONS I LÍNIES FUTURES

Es troben certes limitacions pel que fa al disseny de l'estudi. Creiem que afegir més exercicis de CS en superfícies inestables podria millorar encara més la CS, ja que s'ha demostrat que les superfícies inestables condueixen a la millora de la CS i l'equilibri augmentant les demandes dels músculs del tronc (Borghuis et al., 2008). A causa de la manca de possibilitat d'adquirir material inestable per a totes les gimnastes del GE, només es van introduir superfícies inestables en tres exercicis del primer bloc del CST. Atès que el CST inclou vint-i-cinc exercicis, l'ús de superfícies inestables en aquest estudi pot no ser suficient per desafiar la CS. S'haurien de dur a terme més investigacions per provar l'efecte de les superfícies inestables sobre el rendiment de la CS de les gimnastes de rítmica mentre realitzen un CST funcional. A més, marcar els RPE pot ser més difícil per a les gimnastes petites. Pel que fa a la durada de l'entrenament, els programes de CS anteriors duts a terme amb esportistes van informar de resultats després d'intervencions de quatre a dotze setmanes (Araujo et al., 2015; Eskiyecek et al., 2020; Sandrey i Mitzel, 2013). Vam optar per un entrenament de vuit setmanes, ja que és en la durada mitjana del CST, a més, va respectar la logística de programació del club competitiu de GR. Potser les intervencions més llargues adquireixen majors adaptacions, ja que el control motor pot necessitar períodes d'entrenament més llargs (Solana-Tramunt et al., 2019). Encoratgem a futures investigacions a estudiar l'efecte d'intervencions de CST més llargues en el CS en gimnastes de rítmica.

Segons el nostre coneixement, només hi ha dos estudis que mesuren la CS després d'un programa de CST en gimnastes de rítmica (Esteban-García et al., 2021; Nazari i Boon Hooi, 2019). La majoria de les investigacions disponibles se centren en la realització de CST per a la rehabilitació, la prevenció i la reducció del risc de lesions en l'esport (Zazulak i Medvecky, 2019). Es suggereix que el CST podria ser beneficiós per al rendiment de GR, però, es necessita molta més investigació per desenvolupar proves de CS vàlides i fiables que siguin fàcils d'utilitzar

per a investigadors per avaluar els efectes del CST en gimnàstica, especialment els seus efectes sobre el rendiment; per avaluar l'eficàcia de diversos exercicis de CST i per determinar els efectes a llarg termini del CST.

A més, aquest estudi pretenia dur a terme un segon programa d'intervenció que permetés al GC realitzar el CST funcional. El disseny transversal no s'ha pogut acabar a causa de la pandèmia de la COVID-19.

5.6. CONCLUSIONS

L'entrenament tradicional de GR sembla millorar la resistència del core, tanmateix, els exercicis de control motor del core que inclouen exercicis de flexió i extensió en el pla sagital i els exercicis de control motor del core que contenen moviments de rotació i abducció dels malucs en els plans frontal i horitzontal manquen en l'entrenament regular de les gimnastes. El programa de CST funcional integrat que es presenta en aquest treball va conduir a una millora més gran de la resistència del core de les gimnastes de rítmica i a una lleugera millora en el rendiment global de la CS, en concret en els moviments d'abducció i rotació dels malucs. Per tant, afegir un CST funcional a l'entrenament regular podria ajudar a millorar el rendiment de les variables relacionades amb la CS. No obstant això, futures investigacions haurien de verificar l'eficàcia del CST funcional integrat en el rendiment de la GR, avaluant els efectes sobre les habilitats específiques de la GR.

ESTUDI 2

*Vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core
i pliometria millora el rendiment del control postural en
joves gimnastes de rítmica?*

6. ESTUDI 2

Vuit setmanes d'entrenament funcional integrat de core i pliometria millora el rendiment del control postural en joves gimnastes de rítmica?

6.1. INTRODUCCIÓ

El control postural s'ha definit com la tasca de controlar la posició del cos a l'espai amb el doble propòsit d'estabilitat i orientació (Menant et al., 2021). També s'ha definit com la capacitat d'utilitzar l'activitat muscular per contrarestar la força de la gravetat per mantenir l'equilibri (A. S. Pollock et al., 2000). El control postural està mediat per processos voluntaris i involuntaris, i a la vegada aquests mateixos estan controlats pel sistema nerviós central (SNC) (Ivanenko i Gurfinkel, 2018). L'equilibri és una de les funcions del control postural necessàries per mantenir la línia de gravetat del cos dins de la base de suport (BoS) (Mukhtar, 2020). També cal destacar que l'equilibri és un procés de postura corporal dinàmic que requereix ajustos constants realitzats amb l'activitat muscular i el posicionament articular (Baldaço et al., 2010).

En gimnàstica rítmica (GR), les gimnastes necessiten una forta capacitat de control postural per dur a terme molts elements (Dobrijević et al., 2016). Els equilibris són un dels tres grups essencials d'elements corporals inclosos en el Codi de Puntuació de GR (International Gymnastics Federation (F.I.G), 2021). Els equilibris de GR es realitzen sobre una cama amb una superfície de suport molt petita (peu pla o *relevé*) mentre que la cama lliure executa una sèrie de posicions amb diferents angles i plans (Gateva, 2016; Sobera i Rutkowska-Kucharska, 2019). El control postural també és essencial en les rotacions/girs, un altre grup estructural d'elements corporals del Codi de Puntuació (Gateva, 2016). La recerca ha demostrat que l'entrenament de GR centrat en el desenvolupament del control postural és una manera eficaç d'ensenyar procediments tècnics per als girs (Grigoriu, 2015) així com millorar el rendiment de les gimnastes en el maneig d'aparells (Dobrijević et al., 2016). Val la pena destacar que la realització d'encadenaments d'elements complexos durant les coreografies, com les que es realitzen a la GR, suposa una gran demanda del sistema de control postural (Vuillerme i Nougier, 2004).

Les gimnastes de rítmica, com la majoria d'esportistes, requereixen un equilibri tant estàtic com dinàmic (Paillard, 2017). En el primer cas, el rendiment postural consisteix en la capacitat de minimitzar el balanceig corporal en condicions posturals convencionals (p. ex., posició bípeda) i la capacitat de mantenir l'equilibri corporal en condicions posturals difícils amb petites bases de suport per evitar caigudes o/i desequilibri postural (Paillard i Noé, 2015). El balanceig corporal es pot observar mesurant els desplaçaments del centre de massa (CoM) (desplaçaments de tot el cos) i els desplaçaments del centre de pressió (CoP) (variació del moviment al voltant del turmell) (Paillard i Noé, 2015). La majoria dels estudis han utilitzat plataformes de forces com a instrument més adient per avaluar l'equilibri estàtic, els canvis del CoP i del CoM (Clark

et al., 2010; da Silva et al., 2013; Duarte i Freitas, 2010). L'àrea de CoP, la freqüència i la velocitat de desplaçament es consideren paràmetres vàlids per mesurar l'equilibri postural (da Silva et al., 2013; Duarte i Freitas, 2010). Els valors més baixos dels rangs de desplaçament de CoP són evidència d'un millor control postural durant l'execució d'una tasca d'equilibri determinada (Asseman et al., 2008; Rutkowska-Kucharska et al., 2018). D'altra banda, la velocitat de desplaçament del CoP reflecteix l'eficiència del sistema nerviós a l'hora de regular la reacció del sistema musculoesquelètic davant de desequilibris momentanis. La velocitat mitjana més baixa del desplaçament del CoP indica un millor control postural (Asseman et al., 2004).

L'estabilitat del core (CS) és una font important d'equilibri en les activitats esportives (Kibler et al., 2006) i el control muscular del core és la base per a una bona execució tècnica dels exercicis d'equilibri en GR (Gateva, 2013). Una major estabilitat de la regió del core proporciona la base per a la millora de la generació de força i la transició de les extremitats i, per tant, té un paper clau en la millora de l'estabilitat postural (Kaji et al., 2010). A més, Shigaki et al. (2013) van informar que l'activitat del complex lumbopelvià-maluc és fonamental per al manteniment de l'alineació i l'equilibri postural i és fonamental per entrenar i permetre la màxima eficiència neuromuscular.

L'entrenament pliomètric és un exercici intensiu que consisteix en moviments ràpids i potents que requereixen una contracció excèntrica dels músculs seguida immediatament d'una contracció concèntrica ràpida (Lin et al., 2021). L'entrenament pliomètric de les extremitats inferiors generalment implica moviments repetitius d'aterratge de salts i tasques d'agilitat amb canvis ràpids de direcció (H. M. Lee et al., 2020). Aquests moviments activen els receptors mecànics o de propiocepció dels lligaments del peu o dels tendons al voltant de l'articulació del turmell i, per tant, ofereixen grans millores potencials de la sensació de la posició de l'articulació del turmell i, en conseqüència, poden millorar la capacitat d'equilibri (Lin et al., 2021). S'accepta que els moviments del CoP cap endavant-enrere o antero-posterior (AP) estan controlats per la musculatura del turmell, mentre que els moviments mig-laterals (ML) són gestionats pels músculs del maluc (Winter, 2009).

S'ha reportat que els règims d'entrenament que milloren la coordinació neuromuscular, la força articular i el rang de moviment poden actuar com a mecanismes per millorar l'equilibri (Piazza et al., 2014). Per altra banda, les experiències motrius influeixen en el control postural (Roncesvalles et al., 2001). Es suggereix que la pràctica d'exercicis de CS com a part de l'escalfament pot ser útil per als esportistes que busquen reduir el balanceig corporal durant les activitats de competició (Kaji et al., 2010). A més, s'ha demostrat que els programes d'entrenament integrats, que combinen exercicis pliomètrics, d'estabilització dinàmica i entrenament neuromuscular (incloent-hi entrenament d'equilibri, entrenament de CS, pliometria i entrenament de moviment dinàmic i entrenament de resistència), ajuden a millorar el rendiment neuromuscular dels esportistes (Myer et al., 2006) i l'equilibri postural en ballarins de ballet (Lin et al., 2021; Paterno et al., 2004). De fet, diversos estudis han recomanat que l'entrenament de GR hauria d'incloure exercicis dissenyats per enfortir els músculs que actuen sobre les articulacions del turmell i el maluc, la qual cosa podria millorar l'estabilitat d'aquestes articulacions durant la realització d'exercicis d'equilibri difícils (Sobera i Rutkowska-Kucharska, 2019) i potenciar l'activació de la força i la capacitat muscular del core (Esteban-García et al., 2021). Aquests exercicis podrien augmentar la potència, l'equilibri

i la resistència de les gimnastes (Nazari i Boon Hooi, 2019). Tanmateix, cap d'aquests estudis incloïa exercicis de core i pliomètrics específics per GR.

L'entrenament de GR sembla tenir un efecte directe en el rendiment de l'equilibri (Calavalle et al., 2008). S'ha reportat que els gimnastes tendeixen a tenir la millor capacitat d'equilibri entre els esportistes (Hrysomallis, 2011), fins i tot també entre mostres d'infants (Skaltsa et al., 2021). S'ha establert que disposar d'una bona CS pot ajudar a millorar l'equilibri i el control postural, i que l'entrenament integrat que inclou exercicis de CS, equilibri, desestabilitzacions i entrenament pliomètric pot millorar la capacitat dels músculs per ajustar la postura per mantenir el CoG alineat amb la BoS (Caraffa et al., 1996; Long et al., 2021). Tanmateix, se sap poc sobre el potencial dels mètodes d'entrenament de CS i pliomètrics per millorar la capacitat d'equilibri en el rendiment de GR. Per tant, l'objectiu d'aquest estudi és avaluar els efectes d'un entrenament funcional integrat de CS i pliometria (CPT) sobre el control postural i el rendiment d'elements específics d'equilibri de GR en joves gimnastes de rítmica.

6.2. MATERIAL I MÈTODES

6.2.1. Disseny

Assaig clínic paral·lel aleatoritzat

L'estudi es va realitzar segons els estàndards del CONSORT (Moher, 2010).

6.2.2. Participants

Es va utilitzar el programa GPOWER v3.1 (Bonn FRG, Universitat de Bonn, Departament de Psicologia) per calcular a priori la mida de la mostra necessària per obtenir una potència $(1-\beta) > 0,9$ mida de l'efecte=0,4 i $\alpha=0,05$. El càlcul va requerir una mostra total de trenta-sis subjectes. Finalment, la mostra es va establir en quaranta-cinc participants inicials en previsió d'una possible pèrdua de mostra.

Quaranta-quatre joves gimnastes femenines de rítmica van acceptar participar en l'estudi d'acord amb l'última versió de la Declaració AMM de Hèlsinki. Els criteris d'inclusió contemplen haver competit en competicions regionals federades i escolars de GR, assistir com a mínim a tres sessions a la setmana i tenir més d'un any d'experiència en entrenament de GR. Els criteris d'exclusió inclouen tenir dolor o una lesió que pogués alterar el procés de tests o l'entrenament.

Les participants van ser assignades aleatòriament al grup experimental (GE, $n = 23$) o al grup control (GC, $n = 22$) mitjançant el programari d'aleatorització en línia «Research Randomizer» (randomizer.org). Es va demanar a les participants que no consumissin cap beguda o medicament abans de la prova que pogués pertorbar el sistema nerviós. Per tal de comprovar que no hi havia diferències entre els dos grups, es va aplicar un test *T de Student* de mostres independents. Les estadístiques descriptives i la mida de l'efecte (*d* de Cohen) es mostren a la taula 5.

Taula 5. Característiques de les participants (estudi 2)

Variables	GE (n=23)	GC (n=21)	T-Test (valor de p)
Edat (anys)	10,52 ± 1,90	10,43 ± 1,78	0,874
Pic de velocitat màxima de creixement (PHV) (anys)	12,25 ± 0,55	12,23 ± 0,67	0,917
Anys des de PHV	1,21 ± 1,41	1,10 ± 1,38	0,798
Alçada (m)	1,44 ± 0,10	1,44 ± 0,11	0,801
Pes (kg)	37,82 ± 9,83	38,2 ± 8,03	0,892
Índex de massa corporal (kg/m ²)	18,08 ± 2,56	18,06 ± 1,56	0,982
Alçada del centre de gravetat (m)	0,87 ± 0,07	0,87 ± 0,07	0,922

Nota. No hi ha diferències significatives entre els dos grups.

El comitè d'ètica de la Universitat Ramon Llull de Barcelona va aprovar aquest estudi amb el número d'aprovació CER-FPCEE Blanquerna, 1819007D. Totes les participants i els seus pares o tutors legals van completar el document de consentiment informat abans de l'estudi (annex 11.1).

6.2.3. Procediment

El GE es va sotmetre al programa funcional integrat de CPT de vuit setmanes, amb tres sessions per setmana i trenta minuts per sessió (un total de vint-i-quatre sessions). El GC va seguir el seu règim d'entrenament tradicional amb el mateix nombre de sessions.

Es van realitzar els tests a totes les participants una setmana abans i una setmana després de la intervenció de vuit setmanes. Els tests es van dur a terme a la tarda durant els entrenaments a les seves instal·lacions habituals. L'ordre de les participants i les proves també es va aleatoritzar per no afectar els resultats. Els tests d'equilibri es van dur a terme durant un període de dues setmanes tant per al pretest com per al posttest amb un investigador esportiu que desconeixia les divisions dels grups de participants. Les gimnastes van dur a terme un escalfament de quinze minuts abans dels tests, que consistia en exercicis d'activació cardiovascular i estiraments dinàmics. El període de repòs mitjà entre els tests va ser d'almenys cinc minuts.

Protocol de CPT funcional integrat

El present estudi es va registrar a clinicaltrials.gov amb el número NCT04663633. El programa de CPT es va incloure en l'entrenament del GE, aquest desafiava l'equilibri i el control postural de les gimnastes. Consistia en exercicis de força explosiva de CEA, executats amb elements i postures específiques de GR, utilitzant càrregues més altes (taula 6). A més, es van afegir superfícies inestables (bossu, discs d'equilibri i «softballs») (Figura 50).

Els participants van valorar la intensitat de les sessions responent una escala d'esforç percebut (RPE) en una escala de sessió (sRPE) (Foster et al., 2001). L'objectiu era quantificar la càrrega per fer els canvis necessaris al pla de periodització de l'entrenament (Haddad et al., 2017).

Les imatges i vídeos del protocol d'entrenament es mostren als annexos (11.2 i 11.3).

Taula 6. Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core i pliometria de vuit setmanes (estudi 2)

Exercicis	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep
Bloc 1																
Planxa lateral sobre el bossu	2	6	2	6	3	6	3	6	3	6	4	6	4	6	4	6
Planxa prono sobre pilora	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	4	6	4	6	4	6
Salts pliomètrics + Equilibris GR	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	3	6
Salts pliomètrics dobles + Equilibris GR	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	3	6
Salts pliomètrics de GR amb cons	2	8	2	8	4	8	4	8	4	8	6	8	6	8	6	8
Salts pliomètrics de GR amb tanques	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	6	8	6	8	6	8
Equilibris de GR sobre disc d'equilibri	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 10»	2	3 x 10»	2	3 x 10»
Bloc 2																
DJ + Equilibri passé	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
DJ + Equilibri arabesque	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri passé	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri arabesque	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri cama costat	0	0	0	0	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
DJ + Corza	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4
DJ + Tisores	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4
DJ + Gambada	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4

Taula 6. Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core i pliometria de vuit setmanes (estudi 2). Continuació.

Bloc 3																				
Planxa lateral amb braç estirat	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	4	6	4	6	4	6
Planxa lateral sobre colze	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	4	6	4	6	4	6
Pont de malucs amb passé	2	4 + 8»	2	4 + 8»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»
Pont de malucs amb cama costat	2	4 + 8»	2	4 + 8»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»	2	4 + 16»
Pont de malucs amb passé + rebots	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10	2	10
Pont de malucs amb cama costat + rebots	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10	2	10
Equilibri passé + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10	2	10
Equilibri arabesque + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10	2	10
Equilibri costat + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10	2	10

Nota. DJ = salt amb caiguda, JDJ = salt-caiguda-salt, S = setmana. Bloc 1 = Barreja d'exercicis de CS, equilibri i pliomèrics. Tots els exercicis es van realitzar amb els costats dret i esquerre. Totes les planxes es van executar amb posicions de *passé*, cama costat i *arabesque* i es van mantenir durant 2 s en cada posició. Tots els DJ i JDJ es van realitzar amb un banc de 30 cm d'alçada.

Figura 50. Un exemple d'exercici de l'entrenament d'estabilitat del core i pliometria utilitzant una superfície inestable



Nota. Equilibri arabesque sobre un disc d'equilibri. Exercici del bloc 1 (circuit).

6.2.4. Instruments d'avaluació

Es van aplicar dues proves d'equilibri per avaluar el control postural i l'equilibri de les gimnastes mitjançant una plataforma de forces (Kistler 9260AA, Winterthur, Suïssa) equipada amb un sistema d'adquisició de dades (Kistler 5695b, Winterthur, Suïssa). Les dades en brut es van adquirir (freqüència de mostreig 1.000 Hz) mitjançant «Kistler MARS» (programari de mesura, anàlisi i informes) versió 3.1 (Kistler, Winterthur, Suïssa). El calibratge del sistema es va realitzar segons les recomanacions incloses en el programari MARS.

Test d'equilibri unípede

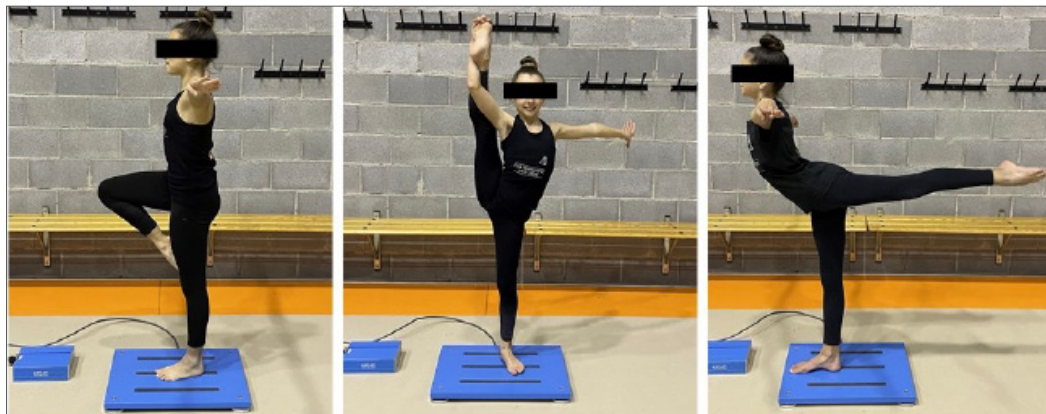
El test d'equilibri unípede (SLST) és una prova d'equilibri no específica de GR (Zumbrunn et al., 2011). Es va demanar a les participants que mantinguessin l'equilibri mentre estaven dretes sobre una cama.

Es van aplicar quatre condicions al SLST: cama de suport dreta amb els ulls oberts (ROE), cama de suport dreta amb els ulls tancats (RCE), cama de suport esquerra amb els ulls oberts (LOE) i cama de suport esquerra amb els ulls tancats (LCE). Les participants van fer tres intents amb cada condició i es va considerar el millor resultat per a una anàlisi posterior. Els resultats extrets van ser l'àrea total de balanceig (l'àrea total recorreguda pel CoP en un temps determinat) i la velocitat mitjana de balanceig en les direccions AP i ML. Valors més grans indicaven nivells més baixos d'equilibri i control postural.

Tests d'equilibri específics de GR

Les participants van realitzar tres equilibris de GR diferents (equilibri *passé*, equilibri cama al costat amb ajuda i equilibri *arabesque*) sobre la plataforma en un ordre aleatori (Figura 51). Les participants van fer tres intents de cada equilibri de GR i es va considerar el millor resultat per a una anàlisi posterior.

Figura 51. Tests d'equilibris específics de gimnàstica rítmica



Nota. Imatge esquerra; equilibri *passé*, imatge central equilibri cama al costat amb ajuda i imatge dreta; equilibri *arabesque*.

Els equilibris de GR també van ser avaluats per una jutgessa nacional i dues jutgesses internacionals de GR, que van avaluar l'execució i els aspectes tècnics de cada equilibri. Tots els intents es van gravar amb una càmera de vídeo (Sony, HDR-CX625, Xina) connectada a un trípode i posteriorment van ser analitzats per les jutgesses. La càmera es va col·locar entre 1,5 i 2 m de distància per gravar el més a prop possible tot el cos de les gimnastes.

Edat PHV

L'equilibri i el control postural es veuen afectats per l'edat (Cumberworth et al., 2007; Peterson et al., 2006; Roncesvalles et al., 2001). Es suggereix que els nens no demostren un ús de la informació sensorial semblant als adults abans dels dotze anys (Peterson et al., 2006). Aquest estudi es va realitzar amb gimnastes de rítmica prepuberals i puberals d'edats compreses entre els vuit i els quinze anys. Per tant, s'havia de tenir en compte la maduració de les gimnastes. Utilitzant les mesures antropomètriques d'alçada de peu, alçada asseguda, longitud de cames i pes, en una equació de regressió múltiple, es va predir l'edat del PHV. L'equació calcula l'interval de temps en anys entre l'edat prevista del PHV i l'edat actual de l'individu. Els valors resultants poden ser negatius (encara no s'ha arribat a l'edat del PHV), positius (l'edat del PHV ha passat) o zero (0) (l'edat actual és l'edat exacta del PHV) (Mirwald et al., 2002). Un investigador certificat per l'ISAK va desenvolupar totes les mesures antropomètriques d'acord amb els procediments estàndards d'ISAK. TEM% Inter-observador 1-5,5% per plecs i 0,5-1% per la resta de mesures.

El protocol dels tests d'equilibri i el càlcul de l'edat madurativa es mostren als annexos 11.5 i 11.6 respectivament.

6.2.5. Anàlisi estadística

Per a l'anàlisi estadística es va utilitzar el programari SPSS versió 21 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). Les dades descriptives de les variables es presenten com a mitjana \pm SD. La distribució de les variables es va verificar mitjançant la prova de Kolmogorov-Smirnov. Es va aplicar un MANOVA de mesures repetides d'una via per avaluar els efectes d'un factor intrasubjecte (TEMPS: pre-post) i un factor intersubjecte (GRUP: control-experimental) sobre cadascuna de les variables dependents.

Les variables dependents corresponents a l'anàlisi de les oscil·lacions posturals: l'àrea total, la velocitat mitja antero-posterior (VM_{AP}) i la velocitat mitja medi-lateral (VM_{ML}) en les condicions estàndard de suport d'una cama dreta i esquerra, amb ulls oberts i ulls tancats. A més, també es van avaluar les variables dependents del control postural de l'àrea total, de la VM_{AP} i VM_{ML} , però sota les condicions específiques d'equilibri *passé*, equilibri de cama al costat amb ajuda i equilibri *arabesque*. La variable dependent final consistia en les puntuacions concedides per les jutgesses expertes per a l'execució de l'equilibri *passé*, l'equilibri cama costat amb ajuda i l'equilibri *arabesque* sota les diferents condicions específiques.

En primer lloc es va analitzar el contrast multivariat i es va seguir amb el contrast univariat per determinar les diferències entre les variables dependents en cada condició. L'eta parcial al quadrat (η^2p) es va utilitzar com a mida de l'efecte dels contrastos multivariat i univariat. Quan els contrastos univariats van mostrar efectes principals o d'interacció estadísticament significatius, es van realitzar comparacions per parells mitjançant la correcció de Bonferroni. El nivell de significació es va establir en $p < 0,05$.

Per a la mida de l'efecte, es va calcular η^2p sobre els efectes principals amb una interpretació de 0,01, 0,06 i 0,14 com a mides d'efecte petites, mitjanes i grans, respectivament (Cohen, 1988). Paral·lelament, la mida de l'efecte d de Cohen es va calcular en totes les puntuacions prèvies i posteriors a la prova per tal de mesurar mides d'efecte petites (0,2), moderades (0,5) i grans (0,8) (Cohen, 1988).

6.3. RESULTATS

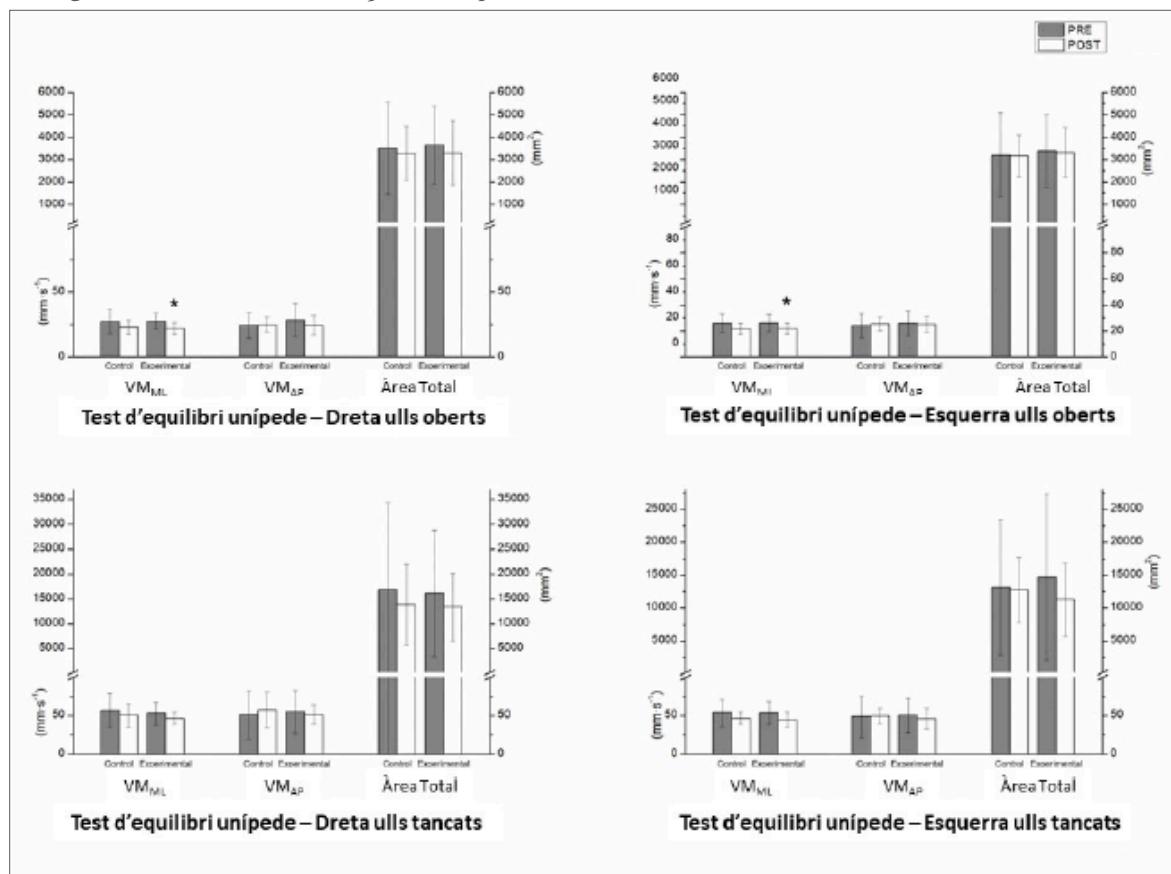
L'anàlisi multivariada aplicada a la condició suport sobre una cama ROE va mostrar una interacció significativa entre els factors temps x grup ($F_{3,40} = 13,55$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,50$) i un efecte significatiu del factor temps ($F_{3,40} = 3,99$, $p < 0,014$, $\eta^2p = 0,23$). El seguiment de l'anàlisi univariada en aquesta condició va mostrar un efecte d'interacció (temps x grup) en la variable MV_{ML} ($F_{1,42} = 28,38$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,40$). MV_{AP} i total no van mostrar cap efecte d'interacció. Finalment, la comparació per parells va mostrar diferències significatives ($p = 0,003$) en el GE en la variable VM_{ML} (Figura 52).

L'anàlisi multivariada aplicada a la condició de suport sobre una cama LOE va mostrar una interacció significativa entre els factors del temps x grup ($F_{3,40} = 7,1$, $p = 0,001$, $\eta^2p = 0,34$). Tanmateix, el factor temps no va tenir cap efecte significatiu. El seguiment de l'anàlisi univariada en LOE va mostrar un efecte d'interacció (temps x grup) en la variable VM_{ML} ($F_{1,42} = 17,80$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,29$). Les variables de VM_{AP} i àrea total no van mostrar cap efecte d'interacció.

Finalment, la comparació per parells va mostrar diferències significatives ($p = 0,001$) en el GE, confirmant millors resultats en la variable VM_{ML} (Figura 52).

No hi va haver cap interacció ni efecte principal en la condició de suport sobre una cama RCE, ni en la condició de suport sobre una cama LCE (Figura 52).

Figura 52. Resultats dels tests d'equilibri unípede



Nota. Diferències significatives en la VM_{ML} en les condicions ROE i LOE en el GE.

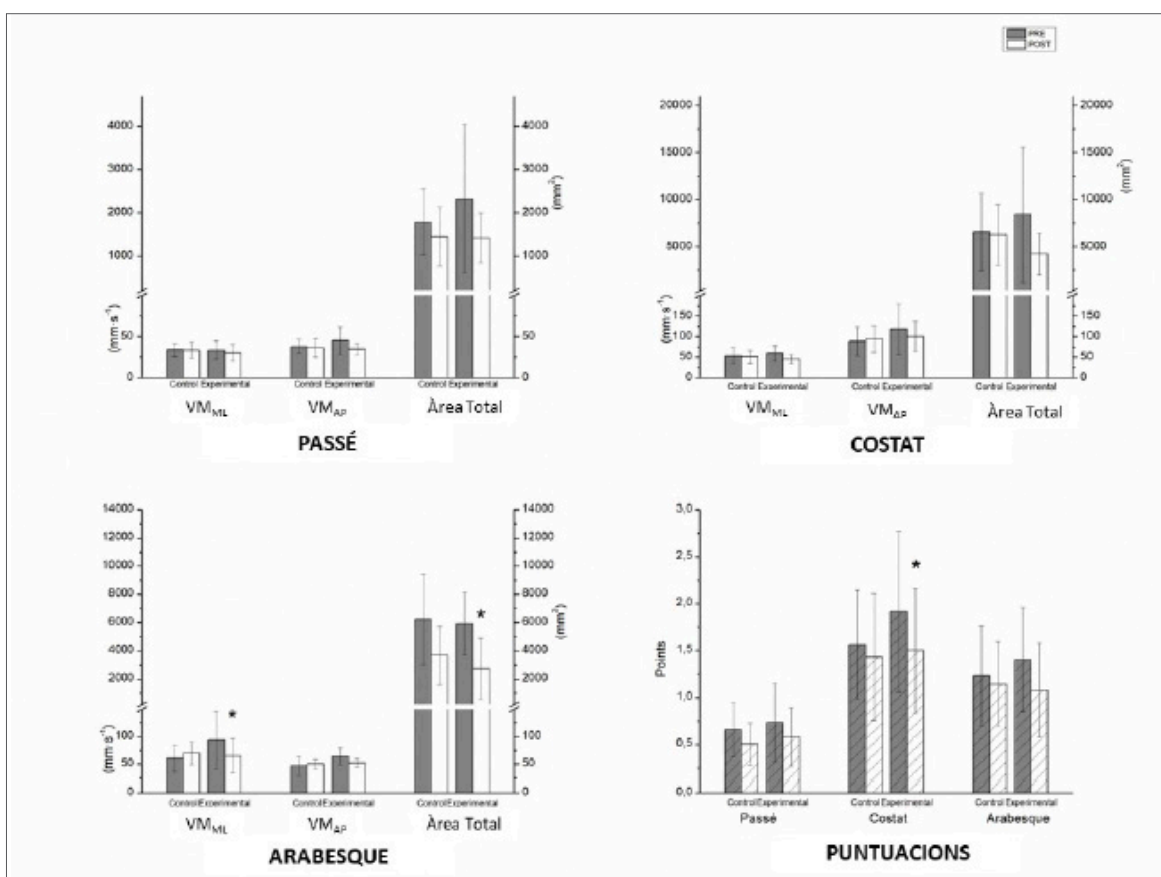
Els resultats d'aquestes variables s'expressen a continuació per a cadascuna de les condicions específiques corresponents a l'execució dels equilibris de GR; *passé*, cama costat amb ajuda i *arabesque*.

L'anàlisi multivariada aplicada a l'equilibri *passé* i al de cama costat amb ajuda no va mostrar cap interacció ni efecte principal sobre les variables dependents (Figura 53).

L'anàlisi multivariada aplicada a la condició d'equilibri *arabesque* va mostrar una interacció significativa en els factors temps x grup ($F_{3,40} = 19,54$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,59$) i un efecte significatiu del factor temps ($F_{3,40} = 5,9$, $p < 0,002$, $\eta^2p = 0,30$). El seguiment de l'anàlisi univariada en aquesta condició va mostrar un efecte d'interacció (temps x grup) en la variable VM_{ML} ($F_{1,42} = 48,99$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,53$) i la variable d'àrea total ($F_{1,42} = 19,96$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,32$). La variable VM_{AP} no va mostrar un efecte d'interacció significatiu. Finalment, la comparació per parells va mostrar diferències significatives ($p < 0,01$) en el GE després de la intervenció, confirmant millors resultats de control postural en la variable VM_{ML} i àrea total (Figura 53).

L'anàlisi multivariada aplicada a les puntuacions de les jutgesses dels tres equilibris de GR va mostrar una interacció significativa entre els factors temps x grup ($F_{3,40} = 6,24$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,31$) i un efecte significatiu del factor temps ($F_{3,40} = 12,96$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,49$). El seguiment de l'anàlisi univariada de les puntuacions tècniques de les jutgesses va mostrar un efecte d'interacció (temps x grup) a l'equilibri de cama costat amb ajuda ($F_{1,42} = 16,91$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,28$). D'altra banda, no hi va haver interacció significativa en els altres dos elements tècnics. El seguiment univariat també va mostrar un efecte principal significatiu ($p < 0,01$) del factor temps sobre la puntuació dels tres elements tècnics, l'equilibri *passé* ($F_{1,42} = 24,11$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,36$), l'equilibri de cama costat amb ajuda ($F_{1,42} = 15,44$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,26$) i l'equilibri *arabesque* ($F_{1,42} = 9,8$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,16$). La comparació per parells va mostrar una millora significativa ($p < 0,05$) del GE després de la intervenció en la puntuació de l'equilibri cama costat amb ajuda (Figura 53).

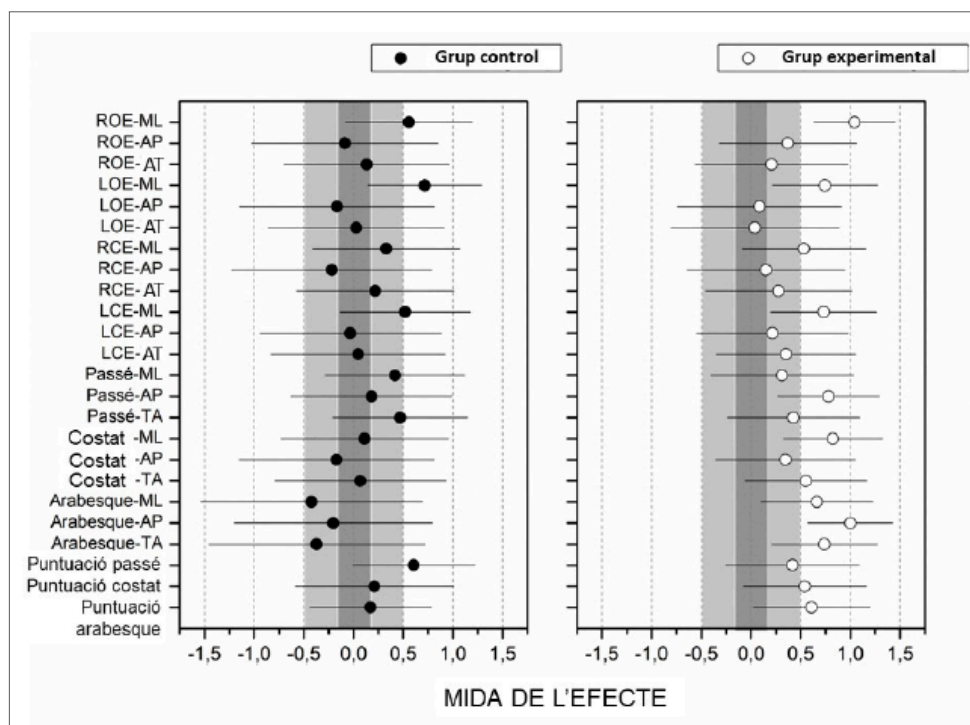
Figura 53. Resultats dels tests d'equilibri específics de gimnàstica rítmica i puntuacions de les jutgesses



Nota. Diferències significatives en la VM_{ML} i l'àrea total en l'equilibri *arabesque* i diferències significatives en les puntuacions de l'equilibri costat amb ajuda en el GE.

Els resultats de la mida de l'efecte mostren una millora general del GE després de l'entrenament funcional integrat i millors resultats respecte el GC en el control postural general. El GE mostra una millora de moderada a gran en la majoria de variables (Figura 54).

Figura 54. Diferències estandarditzades de la mida de l'efecte entre els resultats del pretest i el posttest



6.4. DISCUSSIÓ

L'objectiu principal d'aquest estudi era analitzar l'efectivitat d'un programa de CPT de vuit setmanes basat en GR sobre el control postural de joves gimnastes de rítmica. Segons el nostre coneixement, aquest és el primer estudi que mesura l'efecte d'un programa CPT en el control postural d'aquestes esportistes. Les principals troballes inclouen diferències significatives entre el GE i el GC en el SLST en condicions de ROE i LOE a la variable MV_{ML} . Pel que fa als tests d'equilibri específics de GR, l'equilibri *arabesque* va presentar diferències significatives en l'àrea total i en les variables MV_{ML} en el GE. Les puntuacions de les jutgesses també van mostrar diferències significatives en l'equilibri de cama al costat amb ajuda en el GE. Els resultats de la mida de l'efecte indiquen un millor control postural general en el GE respecte al CG i una millora més gran de les variables MV_{ML} que de les variables MV_{AP} en el GE. Com que els resultats de les proves prèvies no van mostrar diferències significatives entre el GE i el GC, les diferències obtingudes després de la prova es poden atribuir al CPT funcional integrat.

Aquests resultats suggereixen que afegir un CPT funcional a l'entrenament convencional de GR pot proporcionar un millor control postural per a joves gimnastes de rítmica que realitzar només un entrenament específic de GR. Els nostres resultats estan d'acord amb els autors Sobera i Rutkowska-Kucharska (2019), que van suggerir que incloure exercicis de força de les articulacions del turmell i el maluc en els entrenaments de GR podria millorar l'estabilitat durant l'execució dels elements d'equilibri de GR. L'entrenament de CS s'ha utilitzat anteriorment per millorar el rendiment esportiu. Concretament, s'ha demostrat que l'estabilització del core és fonamental per al rendiment de l'equilibri estàtic i dinàmic (Anderson i Behm, 2005; Kaji et al., 2010). Tres estudis previs van mesurar els resultats dels programes d'entrenament de CS en joves gimnastes de rítmica. Dos dels estudis van reportar millores en els paràmetres de CS, cosa que suggereix que

aquest tipus d'entrenament podria millorar el rendiment en GR, tot i que en aquests estudis no es va mesurar l'equilibri (Cabrejas, Solana-Tramunt, et al., 2022; Esteban-García et al., 2021). L'altre estudi de GR va registrar millores significatives en la potència, l'equilibri i la resistència de les gimnastes després de l'entrenament CS (Nazari i Boon Hooi, 2019), una troballa que coincideix amb els nostres resultats. No obstant això, els exercicis pliomètrics i de core específics de GR no es van incloure en aquest estudi.

La inclusió de salts pliomètrics en l'entrenament funcional va tenir un efecte significatiu en la millora dels resultats dels tests d'equilibri en el GE, la qual cosa coincideix amb estudis anteriors que afirmen que afegir entrenament pliomètric millora la sensació de posició del turmell i millora la capacitat d'equilibri (Bortolami et al., 2003; Lin et al., 2021; Martín Nogueras, 2004; Nashner i Cordo, 1981; Winter et al., 1996). S'ha trobat que l'entrenament pliomètric ajuda a millorar habilitats d'equilibri en el futbol (Clemente et al., 2022) i en jugadors de bàsquet (Boutera et al., 2020; Cherni et al., 2019). No obstant això, segons el nostre coneixement, cap altre estudi de GR ha avaluat el control postural després de realitzar un programa d'entrenament pliomètric. L'estimulació previsible i conscient dels efectors musculars imposada per la CPT, és una manera eficaç d'estimular la propiocepció cortical del turmell, genolls, malucs i articulacions lumbopelvianes. Així, les gimnastes de rítmica podrien realitzar la posició articular correcta en postures d'equilibri molt exigents. És a dir, la repetició d'aquestes accions voluntàries podria millorar els patrons dels efectors i, a la vegada, millorar el control postural i reduir els desplaçaments del CoG. (Ivanenko i Gurfinkel, 2018).

Els nostres exercicis integrats de CS i pliometria han millorat el control postural de les gimnastes de rítmica del GE. Aquests resultats estan d'acord amb investigacions anteriors que han millorat l'equilibri en ballarins després de realitzar un CPT. Després d'un programa de condicionament general de cinc setmanes (incloent-hi exercicis de core, pliomètrics i d'agilitat), els ballarins van millorar l'equilibri dinàmic i van reduir el risc de lesions (Long et al., 2021). En la mateixa línia, Lin et al. (2021) van implementar un programa d'entrenament integrat de sis setmanes que consistia en exercicis pliomètrics, entrenament de propiocepció i entrenament de CS, on hi va haver una millora en la velocitat i el desplaçament del CoP en l'equilibri de *relevé*. Es van indicar resultats similars en altres esportistes femenines (Myer et al., 2006; Paterno et al., 2004). L'entrenament que inclou exercicis de CS, entrenament d'equilibri, entrenament de pertorbació i exercicis pliomètrics pot millorar la capacitat dels músculs per ajustar la postura i mantenir el CoG alineat amb la BoS (Caraffa et al., 1996; Long et al., 2021).

La millora significativa del GE en la variable MVML en les condicions de ROE i LOE del SLST suggereix que el nostre entrenament funcional ajuda a disminuir el balanceig de l'equilibri en la direcció ML. Degut a que la nostra intervenció va tenir un gran component de contraccions voluntàries de la musculatura del maluc, una explicació possible d'aquests resultats podria ser que els moviments que es produeixen en la direcció ML estan controlats per la musculatura del maluc (Winter et al., 1996), i això podria ajudar a millorar el control motor, la força i la resistència del core de les gimnastes. Aquestes troballes coincideixen amb estudis anteriors de GR (Cabrejas, Solana-Tramunt, et al., 2022; Esteban-García et al., 2021) i amb estudis que han informat que la musculatura del maluc tendeix a actuar més quan les alteracions són més ràpides

i més grans (Bortolami et al., 2003; Martín Nogueras, 2004; Nashner i Cordo, 1981; Winter et al., 1996). A més, mantenir una postura vertical estable requereix una contracció muscular correctiva constant que implica les articulacions del genoll i el maluc quan les oscil·lacions tenen una amplitud important (Pau et al., 2021), com va ser el cas del nostre CPT. Això suggereix que el CPT funcional va ajudar les gimnastes a millorar la seva capacitat per recuperar-se d'oscil·lacions més grans. A més, en els exercicis de CPT, el CoG es va moure lateralment i va combinar tant pliometria com equilibris d'una cama, la qual cosa va millorar la cocontracció dels músculs laterals del turmell, el genoll i el core. El fenomen de la cocontracció és crucial per a l'estabilització dels segments corporals quan l'equilibri està compromès, especialment a l'eix ML (Kiefer et al., 2021). El cos humà està acostumat als desequilibris en l'eix AP, ja que els ajustos voluntaris del control postural del CoG en la direcció AP es produeixen en les activitats diàries (Abelin-Genevois, 2021). D'altra banda, els desequilibris en l'eix ML no són tan habituals en la vida quotidiana o en l'esport. Per tant, aplicar la desestabilització en la direcció ML en un context esportiu pot ser un estímul epicrític que genera una adaptació positiva pel que fa a la millora de les possibilitats de mantenir l'equilibri en les desestabilitzacions ML. Tanmateix, les desestabilitzacions AP en l'entrenament no són un estímul epicrític i no generen cap adaptació positiva. Aquesta explicació coincideix amb els resultats significatius i els resultats de la mida de l'efecte obtinguts. Els nostres resultats confirmen les troballes de Kaji et al. (2010), que van informar que els exercicis de CS en l'escalfament dels esportistes van ajudar a millorar l'àrea total de balanceig i el balanceig ML, però no el balanceig en la direcció AP. En contrast amb aquests resultats, Paterno et al. (2004) van reportar que sis setmanes d'entrenament neuromuscular (incloent entrenament d'equilibri, entrenament de CS, pliometria, entrenament de moviment dinàmic i entrenament de força) poden millorar l'equilibri postural sobre una cama mesurat mitjançant un índex d'estabilitat total i d'estabilitat AP, però no en l'estabilitat ML. A més, estudis previs d'entrenament de l'equilibri, que inclouen exercicis d'equilibri, core i pliomètrics, van millorar la VM_{ML} de joves gimnastes d'artística, però no l'amplitud de CoP en direcció ML (Čeklić et al., 2022). Addicionalment, s'ha informat que les gimnastes de rítmica mostren menys balanceig ML que els no gimnastes o els no esportistes (Calavalle et al., 2008), gràcies a les contribucions de l'entrenament específic de GR per millorar la flexibilitat i força dels músculs del maluc (Bennell, 2001). Un altre estudi va comparar el rendiment d'equilibri de gimnastes rítmiques novelles amb els de gimnastes rítmiques experimentades, conclouent que les gimnastes novelles tenien desplaçaments més grans i més ràpids de la CoP de la cama de suport que les gimnastes experimentades. Ara bé, això no s'aplicava als desplaçaments ML del CoP (Sobera i Rutkowska-Kucharska, 2019). Aquests resultats suggereixen que l'entrenament regular de GR hauria d'incloure exercicis per desafiar la CS de les gimnastes per aconseguir un millor control de l'equilibri en la direcció ML.

Els resultats del SLST en les condicions de RCE i LCE no van indicar cap millora significativa del GE respecte al GC. Això pot ser degut a la dificultat de la tasca, ja que mantenir una posició sobre una cama amb els ulls tancats durant trenta segons pot ser massa difícil per a joves gimnastes de rítmica. Potser els nens i adolescents encara no han desenvolupat completament el seu control postural (Nieto-Guisado et al., 2022; Ricotti, 2011). A més, s'ha informat que l'experiència dels gimnastes per mantenir-se quietes en diferents postures desapareix quan se'ls elimina la visió

(Asseman et al., 2008). En contrast amb els nostres resultats, un programa d'entrenament de CS implementat amb ballarins d'entre nou i deu anys va millorar la postura d'una cama amb els ulls tancats (Liu et al., 2018). No obstant això, al nostre estudi es pot observar una millora global de les condicions RCE i LCE en els resultats de la mida de l'efecte en el GE.

Als tests d'equilibri específics de GR, es van trobar diferències significatives en el GE en l'equilibri *arabesque* en les variables MV_{ML} i àrea total, cosa que suggereix un millor control postural de l'*arabesque* en el GE que en el GC. No obstant això, no es van trobar diferències significatives en el GE en l'equilibri *passé* i l'equilibri cama al costat amb ajuda. Aquests resultats estan en línia amb els d'un estudi anterior que va implementar proves específiques de GR i va trobar que l'experiència en GR va millorar el rang de CoP en la direcció AP en dos dels tres equilibris seleccionats, però no en la direcció ML (Sobera i Rutkowska-Kucharska, 2019), una troballa que torna a indicar que l'entrenament regular de GR millora el control postural general, però no en la direcció ML.

Pel que fa a les puntuacions de les jutgesses, es va trobar una millora significativa del GE en l'equilibri cama al costat amb ajuda després del CPT. Aquest equilibri és el més difícil tècnicament dels tres escollits. Això suggereix que l'entrenament funcional ajuda a millorar la tècnica i el control postural en l'equilibri més difícil, la qual cosa és essencial en les competicions de GR. Els nostres resultats indiquen que l'entrenament regular de GR també desafia el control postural en postures específiques de GR. Asseman et al. (2008) van informar que l'experiència en gimnàstica té un efecte en el rendiment postural en les configuracions que són coherents amb aquelles que els gimnastes tendeixen a entrenar, les que corresponen a objectius de gimnàstica. Els gimnastes adults acostumen a tenir la millor capacitat d'equilibri entre tots els esportistes (Hrysomallis, 2011), i el mateix passa amb les joves gimnastes (Skaltsa et al., 2021). Mentrestant, l'entrenament de GR sembla tenir un efecte directe en el rendiment de l'equilibri (Calavalle et al., 2008; Poliszczuk i Broda, 2010).

El nostre CPT funcional és innovador i estretament lligat a la realitat i a les necessitats funcionals de la GR, ja que es treballen patrons motors de GR. En el nostre estudi, les gimnastes es van entrenar utilitzant exercicis de core amb una demanda d'equilibri, control postural i força explosiva CEA. Els reptes imposats a la CS, l'equilibri i la força explosiva s'acosten a les exigències de les habilitats de GR. Aquesta observació és fonamentada per Lederman (2010) i Boyle (2016), que defensaven que com més específic sigui l'entrenament, més transferència a l'esport s'aconseguirà. A més, la millora del control postural voluntari requereix una estimulació constant i intermitent dels receptors de propiocepció sota una acció voluntària, i exigeix una gran concentració i atenció per part de l'esportista. Només en aquestes condicions és possible generar un procés d'adaptació del SNC per crear un patró motor que millori la cocontractació muscular i, així, augmentar l'estabilitat articular necessària per al control postural (Solana-Tramunt, 2011).

La nostra proposta pot ser d'especial interès per als entrenadors i entrenadores de gimnastes en edats joves, ja que el període sensible de control postural és entre els onze i els catorze anys per a les noies (Ricotti, 2011; Weineck, 2010), i també s'ha informat que les noies poden desenvolupar una millor coordinació motora abans de la menarquia. Això subratlla la importància d'entrenar el control postural i l'equilibri durant les etapes de la segona infància i l'adolescència (Malina

et al., 2004). Hem tingut en compte la importància de la maduresa biològica per al rendiment físic, ja que la divisió aleatòria del grup no va donar lloc a diferències significatives d'edat del PHV entre grups.

Pel que fa a les aplicacions pràctiques, els entrenadors i entrenadores de GR haurien de considerar l'ús d'entrenament funcional que inclogui exercicis integrats de core i pliomètrics executats amb postures específiques d'equilibri de GR per millorar el control postural de joves gimnastes de rítmica. Les gimnastes han de realitzar els exercicis de core mantenint la seva zona lumbopelviana recta i estable i buidant el melic mentre s'exhala, intentant ser explosives en cada salt i equilibrades en cada recepció de salt i postura d'equilibri específica. D'aquesta manera, les gimnastes podrien dedicar menys temps a l'escalfament, el core, l'equilibri, el control postural i l'entrenament pliomètric tot en un, ja que els horaris d'entrenament no admeten moltes sessions d'entrenament addicionals.

6.5. LIMITACIONS I LÍNIES FUTURES

Hi ha certes limitacions pel que fa al disseny d'aquest estudi. L'addició de més exercicis de CS en superfícies inestables podria millorar encara més el control postural, ja que s'ha demostrat que les superfícies inestables condueixen a una millora de la CS i l'equilibri augmentant les demandes dels músculs del tronc (Borghuis et al., 2008). A causa de la manca de possibilitat d'adquirir material inestable per a totes les gimnastes del GE, només en tres exercicis del primer bloc del CPT es van introduir superfícies inestables. Atès que el nostre entrenament funcional inclou vint-i-cinc exercicis, l'ús de superfícies inestables en aquest estudi pot no ser suficient per desafiar el control postural. A més, era difícil per a les nenes petites marcar els RPE. Pel que fa a la durada de l'entrenament, els programes de CS i pliomètrics integrats anteriors realitzats amb esportistes van informar de resultats després d'intervencions de quatre a dotze setmanes (Lin et al., 2021; Long et al., 2021; Myer et al., 2006; Paterno et al., 2004). Vam optar per un programa d'entrenament de vuit setmanes, ja que es troba en la durada mitjana dels CPT. Aquesta durada també va respectar la logística d'entrenaments del club competitiu de GR. Potser intervencions més llargues comportarien majors adaptacions, pel fet que la conducta motriu pot necessitar períodes més llargs per veure's afectada per l'entrenament (Solana-Tramunt et al., 2019). Una limitació més de l'estudi és que el GC i el grup GE no estan equilibrats, ja que no tenen exactament el mateix nombre de participants, però les proves paramètriques utilitzades són molt robustes i els resultats obtinguts són vàlids.

Segons el nostre coneixement, no hi ha altres estudis que mesurin el control postural de les gimnastes de rítmica després d'un CPT. Només hi ha un estudi previ que verifica l'impacte d'un programa d'entrenament de CS en el control postural de les gimnastes de rítmica (Nazari i Boon Hooi, 2019). Per altra banda, s'ha suggerit que l'entrenament CS ajuda a millorar el rendiment del core, cosa que podria ser beneficiós per al rendiment de GR (Cabrejas, Solana-Tramunt, et al., 2022; Esteban-García, 2015). La majoria de les investigacions disponibles han intentat demostrar una relació entre l'entrenament de CS, l'entrenament pliomètric o l'entrenament funcional i la millora del rendiment esportiu (Fischetti et al., 2018; Lukose i Senthilkumar, 2016; Mills et al., 2005; Sandrey i Mitzel, 2013; Tse et al., 2005; Yildizer i Kirazci, 2017),

mentre que alguns estudis han avaluat el control postural després de programes d'entrenament amb CS, pliometria o ambdues (Bouteraa et al., 2020; Cherni et al., 2019; Clemente et al., 2022; Hassan, 2017). Tanmateix, aquests estudis anteriors es van centrar en altres esports que no presenten similituds amb la GR pel que fa a la tipologia d'exercici i els requisits. Es suggereix que la CPT funcional integrada podria millorar el control postural de GR. Així i tot, calen més investigacions per comparar els efectes d'un CPT específic basat en GR sobre el rendiment postural amb els d'un CPT tradicional, per determinar els efectes a llarg termini i desenvolupar proves d'equilibri vàlides i fiables específiques de GR, i d'aquesta manera poder avaluar diferents postures d'equilibri de GR i altres determinants del rendiment de la GR.

6.6. CONCLUSIONS

El programa de CPT basat en la GR millora el control postural en joves gimnastes de rítmica, especialment en la direcció ML, en els equilibris d'una cama ROE i LOE i els equilibris *arabesque* i lateral amb ajuda, entre els equilibris de GR específics. L'entrenament regular de GE desafia el control postural, però el nostre CPT basat en GR mostra una mida de l'efecte més gran sobre el control postural en el GE. El programa de CPT funcional integrat que es presenta en aquest treball va conduir a una millora més gran del control postural de les gimnastes de rítmica. Per tant, afegir un CPT funcional a l'entrenament regular pot ajudar a millorar les variables relacionades amb el rendiment postural de GR. No obstant això, futures investigacions haurien d'avaluar els efectes de programes de CPT més llargs i verificar l'eficàcia del CPT funcional en diferents postures d'equilibri de GR i altres determinants del rendiment de GR.

ESTUDI 3

*Efectes d'un programa d'entrenament funcional integrat
de core i pliometria en la força explosiva de joves
gimnastes de rítmica*

7. ESTUDI 3

Efectes d'un programa d'entrenament funcional integrat de core i pliometria en la força explosiva de joves gimnastes de rítmica

7.1. INTRODUCCIÓ

La força és una de les principals capacitats físiques identificades com a factors que contribueixen al rendiment en gimnàstica rítmica (GR) (Di Cagno et al., 2009; Douda et al., 2008; Rutkauskaitė i Skarbalius, 2009, 2011). Aquesta qualitat física és crucial en la majoria de moviments i elements realitzats per gimnastes (Lebre i Araújo, 2006). L'execució tècnica correcta dels diferents moviments de GR, amb el rang i la intensitat necessaris, només és possible si s'aconsegueix un alt nivell de desenvolupament de la força (Bobo-Arce i Sierra-Palmeiro, 1998). Per tant, la força és, sens dubte, un factor determinant en GR d'alt rendiment (Batista et al., 2016).

Les manifestacions de força desenvolupades en GR són força-resistència i força explosiva (Jastrjemskaia i Titov, 1999; Lisitskaya, 1995). Els membres inferiors de les gimnastes han d'exercir força de manera explosiva per executar les dificultats de salt (Gateva, 2013; Laffranchi, 2001). La GR es pot descriure com un esport d'alta demanda de salt (Hutchinson et al., 1998); la capacitat d'obtenir salts de qualitat és un component essencial del rendiment de la GR, ja que es demana a les gimnastes que executin salts de molta complexitat enllaçats amb elements coreogràfics (Nazari, 2019). A partir de l'anàlisi d'exercicis de competició de GR, s'ha observat un predomini de les dificultats del grup de salt (Di Cagno et al., 2009). Dos estudis van comparar la força explosiva de gimnastes d'elit amb gimnastes que no eren d'elit (Batista et al., 2017; Bencke et al., 2002). Es va trobar que les gimnastes d'elit realitzaven salts molt més explosius que les altres gimnastes, indicant que la capacitat de salt és crucial per a la gimnàstica. A la GR, els salts són els principals elements corporals en els exercicis d'entrenament i competició (Batista et al., 2016).

Els salts en GR s'avaluen mitjançant mètodes qualitius quan s'observen i es consideren vàlids o no (Petry, 2008). El Codi de Puntuació de la Federació Internacional de gimnàstica (International Gymnastics Federation, 2021) determina que les dificultats de salt han de tenir les següents característiques: una forma definida i fixada durant el vol, i una alçada (elevació) suficient per mostrar la figura corporal corresponent. Aquest conjunt d'elements es valora segons dos aspectes principals: el rang, a conseqüència de la capacitat d'elevació, i la seva forma, aconseguida pel posicionament dels segments durant les diferents fases -impuls, aèria i recepció (Lebre i Araújo, 2006). La fase de vol depèn de la qualitat de l'enlairament; la durada del vol depèn directament de l'alçada del salt (Batista et al., 2016). Com més alt sigui el vol durant el salt, majors són les possibilitats d'èxit en l'execució de la figura corporal i, per tant, més garanties per ser validat positivament pels jutges (Lisitskaya, 1995).

L'ús de la força isomètrica en els moviments humans té un paper crític en la preactivació del múscul abans d'una contracció del cicle d'escurçament d'estirament (CEA) (Komi et al., 1978). Els exercicis de força isomètrica són innovadors i molt efectius per augmentar la massa muscular, tonificar i desenvolupar nivells de força per millorar la forma física i el rendiment esportiu (Bompa i Buzzichelli, 2017; Zatsiorsky i Kraemer, 1995). A més, Bompa (2004) també afirma que la columna vertebral és essencial per proporcionar estabilitat al cos, suport per al pes corporal i, el més important, amortiment per als salts. També cal tenir en compte que l'acceleració o desacceleració dels segments corporals en el rendiment esportiu depèn de l'estabilitat i la força dels músculs del core per regular les extremitats superiors i inferiors (Hodges i Richardson, 1997). Així, la musculatura del core es considera l'enllaç cinètic entre les extremitats inferiors i superiors, esdevenint essencial per transferir de manera eficaç la força a través del cos (Kibler et al., 2006; Willardson, 2007a). El control eficient dels músculs del core garanteix una acceleració, desacceleració i estabilització eficients (Ebenbichler et al., 2001). La força del tronc és fonamental per millorar el rendiment, ja que tots els moviments s'originen al través del tronc o hi estan relacionats (Thompson, 2009). Per tant, un programa d'entrenament d'estabilitat del core (CS) podria millorar la força explosiva dels esportistes.

L'entrenament pliomètric (PT) millora la força explosiva i la capacitat de salt dels esportistes (Bompa, 2004; Verkhoshansky, 1968). El PT de les extremitats inferiors, com saltar, botar i rebotar, té com a objectiu millorar la força muscular i la producció de potència a causa del CEA de la unitat muscular (Fatouros et al., 2000). La característica principal del PT és la capacitat d'utilitzar eficientment el CEA per maximitzar la producció d'energia (Verkhoshansky, 2006). El CEA es caracteritza per una ràpida transició entre l'«estirament» excèntric inicial i el «retrocés» concèntric posterior (Komi, 2000). Normalment, el PT implica exercicis com els salts verticals i els salts sobre una caixa per entrenar el CEA lent o, d'altra banda, salts d'obstacles repetits i salts de caiguda (*drop jumps*) per entrenar el CEA ràpid (Schmidtbleicher, 1992). Tot i que estudis anteriors han suggerit que el PT no és adequat per als joves (W. Young, 1995), estudis recents argumenten que són un mètode segur i eficaç per millorar les capacitats físiques com ara el rendiment del salt vertical, l'alçada del salt de rebot, el rati de desenvolupament de la força (RFD), i rigidesa de les cames en esportistes joves (Faigenbaum et al., 2016; Myer, Faigenbaum, Chu, et al., 2011; Slimani et al., 2018).

Per assolir el màxim nivell de rendiment en GR és fonamental començar un entrenament intensiu a una edat molt jove per aprendre i realitzar habilitats gimnàstiques complexes (Kums et al., 2005). Els plans d'entrenament de GR haurien de tenir en compte el desenvolupament del rendiment motor i l'adaptació específica de l'entrenament en la força, la capacitat de salt i la flexibilitat de les extremitats superiors i inferiors (Di Cagno et al., 2009). En les noies, el rendiment motor augmenta fins als tretze o catorze anys, amb una lleugera millora posterior (Malina et al., 2004). A més, s'ha informat que la força augmenta de manera lineal fins als quinze anys, tot i que hi ha menys evidències d'un clar moment d'augment de força a l'etapa d'adolescència (Malina et al., 2004). Per tant, és crucial implementar l'entrenament de força explosiva en l'etapa final de la infància i a l'adolescència i avaluar la maduració biològica quan s'entrena la força en joves esportistes.

Alguns atributs importants de la GR es poden desenvolupar simplement entrenant els exercicis de competició. Així i tot, sembla probable que el PT faciliti la progressió dels esportistes que ja han assolit un determinat nivell de força i velocitat (Hewett et al., 1996). Les entrenadores de GR molt sovint utilitzen el PT per millorar la força explosiva de les seves gimnastes, i forma part de la rutina diària d'entrenament (Valič et al., 2015). Per tant, és necessari un entrenament especial de força, i ha de satisfer específicament les exigències de l'esport, en aquest cas, les habilitats gimnàstiques (Major, 1996). L'àrea més descuidada de la preparació de GR és el condicionament de la força (Gateva, 2013); en conseqüència, un entrenament de CS i un PT específics podrien beneficiar el rendiment de GR en les primeres etapes.

Segons Piazza et al. (2014), les proves d'habilitat motriu com els salts verticals s'utilitzen habitualment per avaluar la força i la potència muscular. Els salts verticals es poden emprar com a model per determinar la capacitat explosiva de generació de força i la potència anaeròbica dels músculs extensors de cames (Kums et al., 2005). El salt vertical es correlaciona amb la potència explosiva (Valič et al., 2015); de fet, el salt amb contramoviment (CMJ) és un moviment excèntric-concèntric que mesura la potència explosiva de les extremitats inferiors (Valič et al., 2015). Quan s'avalua el CMJ en una plataforma de forces, podem mesurar paràmetres com ara el RFD, força relativa al pes corporal, força de propulsió, velocitat, potència, alçada de salt, durada de la fase excèntrica i concèntrica i altres (Valič et al., 2015). Aquests paràmetres poden determinar l'eficiència neuromuscular dels esportistes en la producció de força explosiva (Valič et al., 2015).

Un estudi realitzat amb gimnastes internacionals de rítmica d'entre disset i vint anys va concloure que un PT de quatre setmanes va millorar la força explosiva de les gimnastes (Taktak et al., 2013). Es va trobar que un any de PT va millorar la força explosiva de l'extremitat inferior en gimnastes adultes de rítmica (Agostini et al., 2017). Un estudi més recent va aplicar sis setmanes de PT a joves gimnastes de rítmica, i els autors van trobar una millora en el rendiment de salt en el grup experimental (Nitzsche et al., 2022). Un altre estudi va avaluar la capacitat de salt de GR després d'un mes d'entrenament combinat de Pilates i pliometria dins l'aigua (Hutchinson et al., 1998). Els autors van indicar que les gimnastes de rítmica van millorar la seva capacitat de salt just després de la intervenció d'entrenament i van mantenir el seu rendiment en el seguiment de l'estudi (és a dir, tres mesos i un any) (Hutchinson et al., 1998).

Els protocols d'entrenament de CS milloren la força explosiva i el rendiment de salt en GR i gimnàstica artística (González Sepúlveda et al., 2019; Nazari i Boon Hooi, 2019). Es suggereix que els programes PT i CS podrien millorar la força explosiva i el rendiment del salt en GR. No obstant això, fins on sabem, els efectes d'un entrenament funcional combinant de CS i Pliometria no s'han avaluat en la força explosiva de joves gimnastes de rítmica. Per tant, aquest estudi pretén analitzar l'impacte d'un entrenament funcional integrat de core i pliometria (CPT) en la força explosiva i salts específics de GR en joves gimnastes de rítmica.

7.2. MATERIAL I MÈTODES

7.2.1. Disseny

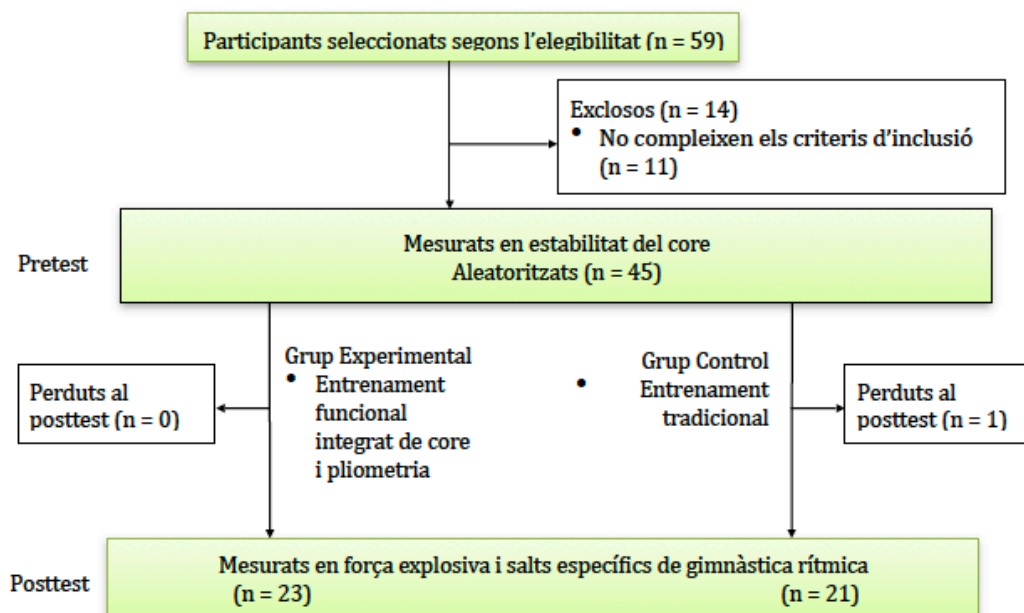
Hem realitzat un assaig clínic paral·lel aleatoritzat. L'estudi es va dur a terme segons els estàndards del CONSORT (Moher, 2010).

7.2.2. Participants

Hem utilitzat el programari GPOWER v3.1 (Bonn FRG, Universitat de Bonn, Departament de Psicologia) per calcular a priori la mida de la mostra necessària per obtenir una potència $(1-\beta) > 0,9$, mida de l'efecte = 0,4 i $\alpha = 0,05$. La mostra total requerida va ser de trenta-sis participants. Finalment, vam seleccionar cinquanta-nou participants per a l'elegibilitat. Tanmateix, només quaranta-cinc participants van assolir els criteris d'inclusió (Figura 55) i vam decidir reclutar-los a tots per prevenir possibles pèrdues d'adherència. No obstant això, només es van analitzar quaranta-quatre participants perquè una participant del grup control no va completar el posttest.

Quaranta-cinc joves gimnastes de rítmica femenines van acceptar participar en l'estudi després de l'última versió de la Declaració de l'AMM de Hèlsinki. Els criteris d'inclusió implicaven haver participat en competicions regionals federades i escolars de GR, entrenar almenys tres sessions per setmana i tenir més d'un any d'experiència (Figura 55). Els criteris d'exclusió comprenien tenir qualsevol dolor o lesió que pogués alterar les sessions de test o entrenament. Les participants van ser assignades aleatòriament al grup experimental (GE, $n = 23$) o al grup control (GC, $n = 22$) mitjançant un programari d'aleatorització (Figura 55). Es va demanar a les gimnastes que no consumissin cap beguda o medicament que pogués pertorbar el sistema nerviós. Les característiques descriptives es mostren a la taula 7.

Figura 55. Diagrama de flux dels participants (estudi 3)



Taula 7. Característiques de les participants (estudi 3)

Variables	GE (n=23)	GC (n=21)	T-Test (valor de p)
Edat (anys)	10,52 ± 1,90	10,43 ± 1,78	0,874
Pic de velocitat màxima de creixement (PHV) (anys)	12,25 ± 0,55	12,23 ± 0,67	0,917
Anys des de PHV	1,21 ± 1,41	1,10 ± 1,38	0,798
Alçada (m)	1,44 ± 0,10	1,44 ± 0,11	0,801
Pes (kg)	37,82 ± 9,83	38,2 ± 8,03	0,892
Índex de massa corporal (kg/m ²)	18,08 ± 2,56	18,06 ± 1,56	0,982
Alçada del centre de gravetat (m)	0,87 ± 0,07	0,87 ± 0,07	0,922

Nota. No hi ha diferències significatives entre els dos grups.

El comitè d'ètica de la Universitat Ramon Llull de Barcelona va aprovar aquest estudi amb el número d'aprovació CER- FPCEE Blanquerna, 1819007D. Els pares o tutors legals de les participants van completar el document de consentiment informat abans de l'estudi.

7.2.3. Procediment

El GE es va sotmetre al CPT funcional integrat de vuit setmanes, amb tres sessions per setmana i trenta minuts per sessió (un total de vint-i-quatre sessions). El GC va seguir el seu règim d'entrenament habitual amb el mateix nombre de sessions.

Totes les participants van realitzar els tests una setmana abans i una setmana després de la intervenció de vuit setmanes. Abans de la sessió de tests, l'ordre de les participants i l'ordre de les proves es van determinar aleatòriament mitjançant un generador de nombres aleatoris per controlar el biaix. Les proves de salt es van dur a terme durant dues setmanes en el pretest i el posttest de la mà d'una fisioterapeuta especialitzada en esport, que desconeixia el grup d'assignació de les participants. Les gimnastes van realitzar un escalfament de quinze minuts abans de les proves, que consistia en exercicis d'activació cardiovascular i estiraments dinàmics.

Protocol de CPT funcional integrat

El present estudi es va registrar a clinicaltrials.gov amb el número d'identificació NCT04663633. El programa va incloure exercicis que desafien l'estabilitat del core i el control postural de les gimnastes i va incloure exercicis de força explosiva CEA, executats amb elements i postures específiques de GR, amb càrregues més elevades que l'entrenament tradicional (taula 8). El programa de CPT es va dissenyar seguint les directrius d'entrenament suggerides per Bompa (2004, 2005) que considera que la força del tronc és un element clau en l'entrenament de força en la infància i l'adolescència. En la part de pliometria, es recomana incorporar exercicis pliomètrics de baix impacte (salts amb passos baixos i curts, salts amb dues i una cama, i salts des de bancs a 25 i 30 cm) per adquirir futures adaptacions i prevenir lesions en nens i adolescents (Fleck i Kraemer, 2014). Estudis anteriors van demostrar que les gimnastes de rítmica presenten un millor rendiment qualitatiu i quantitatiu quan s'entrenen amb altres mètodes que no són l'entrenament tradicional de GR (Agostini et al., 2017).

Taula 8. Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core i pliometria de vuit setmanes (estudi 3)

Exercicis	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep	Ser	Rep
Bloc 1																
Planxa lateral sobre el bossu	2	6	2	6	3	6	3	6	3	6	3	6	4	6	4	6
Planxa prono sobre pilota	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	4	6	4	6
Salts pliomètrics + Equilibris GR	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	3	6
Salts pliomètrics dobles + Equilibris GR	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	3	6
Salts pliomètrics de GR amb cons	2	8	2	8	4	8	4	8	4	8	6	8	6	8	6	8
Salts pliomètrics de GR amb tanques	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	6	8	6	8	6	8
Equilibris de GR sobre disc d'equilibri	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 5»	2	3 x 10»	2	3 x 10»	2	3 x 10»
Bloc 2																
DJ + Equilibri passé	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
DJ + Equilibri arabesque	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri passé	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri arabesque	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
JDJ + Equilibri cama costat	0	0	0	0	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
DJ + Corza	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4
DJ + Tisores	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4
DJ + Gambada	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4	1	4	1	4

Taula 8. Visió general del programa funcional d'entrenament d'estabilitat del core i pliometria de vuit setmanes (estudi 3). Continuació.

Bloc 3																
Planxa lateral amb braç estirat	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	4	6	4	6
Planxa lateral sobre colze	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	4	6	4	6
Pont de malucs amb passé	2	4+ 8»	2	4+8»	2	4+16»	2	4+16»	2	4+16»	2	4+16»	2	4+16»	2	4+16»
Pont de malucs amb cama costat	2	4+ 8»	2	4+8»	2	4+16»	2	4+16»	2	4+16»	2	4+16»	2	4+16»	2	4+16»
Pont de malucs amb passé + rebots	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10
Pont de malucs amb cama costat + rebots	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10
Equilibri passé + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10
Equilibri arabesque + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10
Equilibri costat + salts	2	4	2	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	10	2	10

Nota. DJ = salt amb caiguda, JDJ = salt-caiguda-salt, S = setmana. Bloc 1 = Barreja d'exercicis de CS, equilibri i pliomètrics. Tots els exercicis es van realitzar amb els costats dret i esquerre. Totes les planxes es van executar amb posicions de *passé*, cama costat i *arabesque* i es van mantenir durant 2 s en cada posició. Tots els DJ i JDJ es van realitzar amb un banc de 30 cm d'alçada.

Es va demanar a totes les participants del GE que mantinguessin la seva zona lumbopelviana neutra i estable mentre realitzaven diferents accions específiques, com ara salts i elements d'equilibri específics. Se'ls va animar a enfonsar el melic mentre exhalaven durant cada respiració i cada repetició, ja que les repeticions es comptaven per cicles de respiració.

Les participants van valorar la intensitat de les sessions mitjançant el rati d'esforç percebut (RPE) i l'escala de sessió (sRPE) (Foster et al., 2001) per quantificar la càrrega i modular el pla de periodització de l'entrenament (Haddad et al., 2017).

El CPT funcional integrat contenia tres blocs. El primer bloc estava format per un circuit d'habilitats específiques amb superfícies inestables, cons i obstacles. El segon bloc incloïa exercicis pliomètrics amb equilibris de GR i salts combinats amb accions de CS. Finalment, el tercer bloc tenia exercicis que combinaven postures específiques d'equilibri en posicions exigents de core al terra i salts. Hem seleccionat tres equilibris diferents (*passé*, costat amb ajuda i *arabesque*) i salts (les tisoires, la corza des d'*assemblé* i la gambada) molt comuns en nivells d'iniciació a la competició i intermedis de GR. Aquests exercicis específics es van pensar per convertir el CPT integrat en un entrenament funcional específic de l'esport, i es van seleccionar per cobrir diversos plans moviment així com diferents posicions de les extremitats inferiors i tècniques de salt. Es recomana utilitzar exercicis amb el potencial de desafiar la musculatura del core en els tres plans i rangs de moviment per desenvolupar completament el CS (Panjabi, 1992). Tots els exercicis de GR es van executar de manera equitativa per als costats dret i esquerre (exercicis que es mostren als annexos 11.2 i 11.3). Els participants van realitzar exercicis de core i d'equilibri sobre superfícies inestables i pilotes toves per estimular els ajustos anticipats dels músculs estabilitzadors quan intentaven minimitzar la desestabilització postural (Slijper i Latash, 2000). Una fisioterapeuta experta en CS i una entrenadora professional de GR, membres de l'equip de recerca, van desenvolupar el protocol d'entrenament supervisat per entrenadores professionals de GR.

Durant la intervenció de vuit setmanes, el GE i el GC realitzaven un escalfament, consistent en activació general i estiraments (trenta min aproximadament). Després d'això, el GE realitzava el CPT mentre el CG portava a terme el seu escalfament tradicional de GR: combinant flexibilitat, força, abdominals convencionals i tècnica corporal de GR a terra. Posteriorment, ambdós grups continuaven amb l'entrenament habitual (el pla setmanal es mostra a l'annex 11.4).

El protocol CPT funcional integrat es va incloure en el macrocicle competitiu (2a meitat de la temporada), amb una freqüència de tres vegades per setmana, tal com s'ha suggerit anteriorment (Agostini et al., 2017).

7.2.4. Instruments d'avaluació

Es van utilitzar proves de CMJ i CMJ d'una cama (SLCMJ) per avaluar la força explosiva de les gimnastes de rítmica. Els salts de GR es realitzen amb tècniques d'impuls d'una o dues cames, la qual cosa justifica la selecció de proves de salt bilaterals (CMJ) i unilaterals (SLCMJ). L'ordre de les proves es va aplicar aleatòriament a les gimnastes.

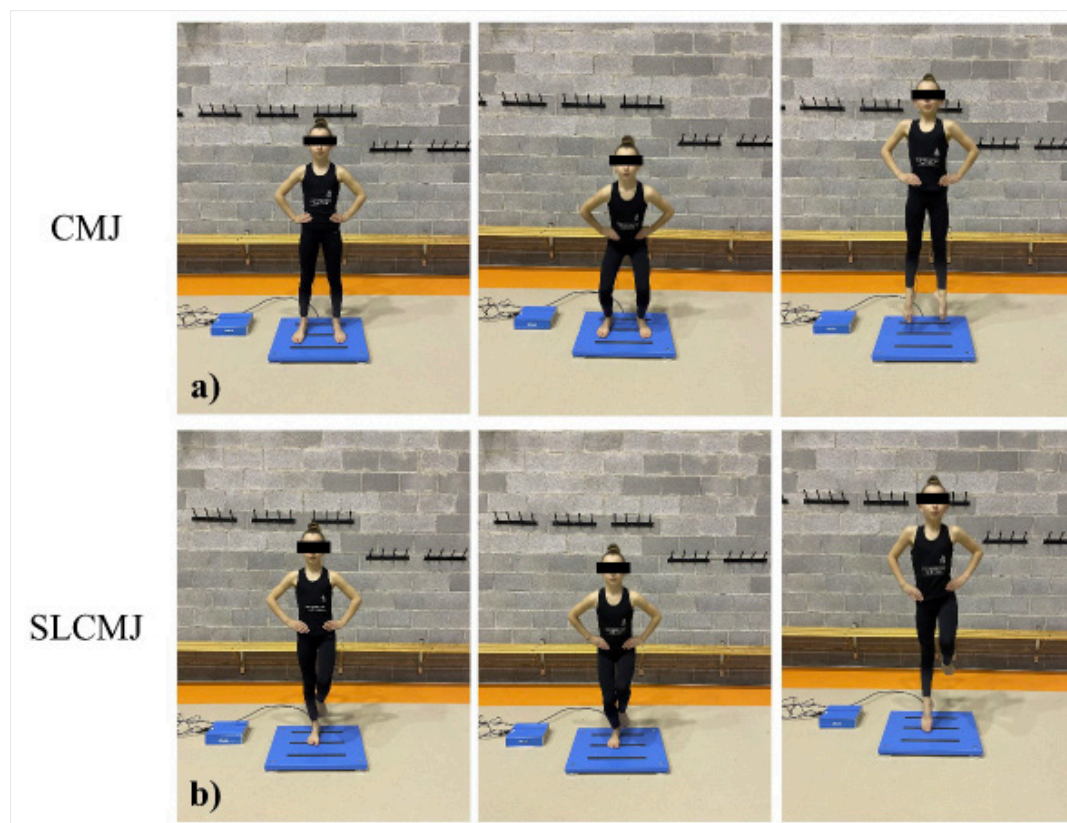
Test de salt vertical amb contramoviment (CMJ)

Les participants van realitzar el test de CMJ des d'una posició de peu segons el protocol de Bosco et al. (1983). Les gimnastes es van situar sobre la plataforma de forces descalces, amb les mans als malucs per eliminar la influència de l'impuls del balanceig dels braços. Les participants van rebre instruccions per fer un salt el més ràpid i alt possible. Havien de saltar amb un lleuger balanceig del centre de gravetat cap avall en una posició de mitja sentadeta (és a dir, genolls a 90°, peus a l'amplada de les espatlles), després d'això, havien de realitzar una forta empenta vertical. La recepció s'havia de dur a terme amb els turmells en extensió. Cada subjecte va completar tres salts, amb un minut de descans entre ells, i el millor resultat (la potència més gran) es va utilitzar per a una anàlisi posterior (Figura 56).

Test de salt vertical amb contramoviment d'una cama (SLCMJ)

Les participants van realitzar el test de SLCMJ des d'una posició de peu amb un peu descalç sobre la plataforma de forces i l'extremitat inferior lliure flexionada i sense tocar la plataforma. A les gimnastes se'ls va indicar que col·loquessin les mans als malucs i saltessin el més ràpid i alt possible. La posició inicial va ser de mitja sentadeta sobre una cama, és a dir, el genoll a $\sim 90^\circ$. Cada participant va realitzar sis salts (tres amb el dret i tres amb el membre inferior esquerre com a suport), amb períodes de descans d'un minut entre ells. El millor resultat (la potència més gran) per a les extremitats inferiors dreta i esquerra es va utilitzar per a una anàlisi posterior (Figura 56).

Figura 56. Test de salt amb contramoviment i salt amb contramoviment d'una cama



Els tests de CMJ i SLCMJ es van mesurar mitjançant una plataforma de forces (Kistler 9260AA, Winterthur, Suïssa) equipada amb un sistema d'adquisició de dades (Kistler 5695b, Winterthur, Suïssa). Les dades en brut es van adquirir (freqüència de mostreig 1.000 Hz) mitjançant el programari MARS (Kistler, Winterthur, Suïssa). El calibratge del sistema es va realitzar segons les recomanacions del programari MARS.

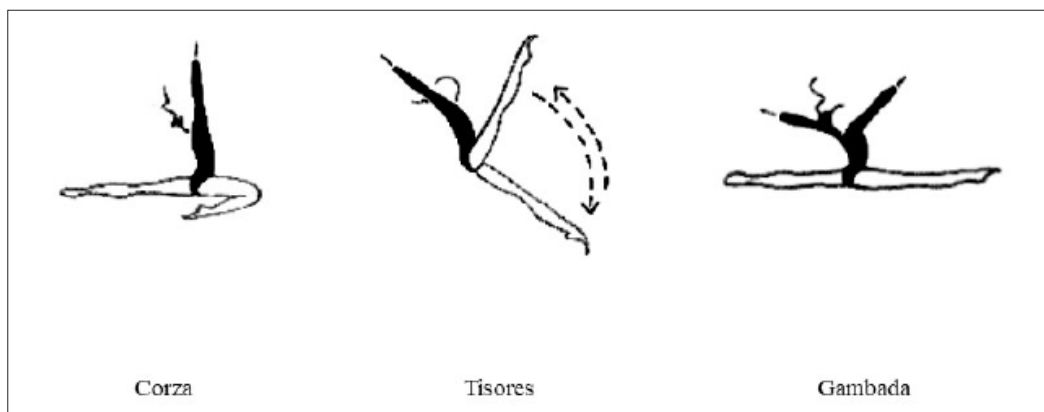
Les variables mesurades dels tests CMJ i SLCMJ van ser: L'alçada del salt des del vol (Alçada), l'alçada del salt calculada a partir del temps de vol, també es calcula a partir de la deformació dels sensors de força de la plataforma, mesurada en metres; la velocitat d'enlairament vertical (V enlairament), velocitat del moviment vertical a l'enlairament calculada a partir del temps de vol, mesurada en m/s; la potència mitjana (P mitjana) mesurada en watts (W); la Força mitjana (F mitjana) mesurada en newtons (N); la velocitat mitjana (V mitjana) mesurada en m/s i la velocitat màxima concèntrica del rati de desenvolupament de la força (RFD) – P3, pendent màxim de la corba de força durant la fase concèntrica del salt mesurada en N/s . La fase concèntrica del salt està entre l'inici concèntric i el pic concèntric (Kistler Mars, s.d.).

El paràmetre RFD indica el desenvolupament màxim de la força en un temps mínim i és un índex de força explosiva (Aagaard et al., 2002). El RFD és un contribuent essencial al rendiment del salt vertical (McLellan et al., 2011).

Tests de salts específics de gimnàstica rítmica

Les participants van realitzar tres salts de GR aleatòriament: el salt de la corza, el salt de les tises i el salt de la gambada (Figura 57). A les gimnastes se'ls permetia realitzar un doble pas o carrera abans de l'impuls de salt (tal i com es du a terme habitualment en competició). Cada gimnasta va realitzar tres intents per a cada salt específic de GR amb un minut de descans entre proves, i l'ordre dels salts es va executar aleatòriament. Tres jutgesses nacionals i internacionals de GR van avaluar l'execució tècnica de cada salt de GR. Tots els intents es van gravar amb una càmera de vídeo (Sony, HDR-CX625, Xina) connectada a un trípode per posteriorment ser avaluats per les jutgesses. L'execució dels salts es va puntuar segons els requisits del codi de puntuació de la F.I.G. (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). Les jutgesses van donar una puntuació després de sumar les deduccions d'execució i les faltes tècniques: les petites faltes comportaven deduccions de 0,10 punts; faltes mitjanes deduccions de 0,20 a 0,30 punts; faltes grans deduccions fins a 0,50 punts o més. Les jutgesses van considerar les dimensions de la col·locació del cos, l'amplitud, l'elevació, l'aterratge i la netedat de braços, peus, cames...etc. La mala execució dels salts va rebre puntuacions de deducció més altes, i els salts ben realitzats van obtenir puntuacions de deducció més baixes. Per cada intent es feia la mitjana de punts de les tres jutgesses que va representar el valor final de la puntuació per cada salt. La millor puntuació dels tres intents es va registrar per a anàlisis posteriors.

Figura 57. Tests de salts específics de gimnàstica rítmica



Nota. Imatges extretes del Codi de Puntuació de GR (2021).

Edat del pic de velocitat màxima de creixement (PHV)

La força es veu afectada per l'edat (Malina et al., 2004). Es suggereix que els nens augmenten la seva força de manera lineal fins als quinze anys (Malina et al., 2004). El present estudi va reclutar gimnastes de rítmica prepuberals i puberals d'entre vuit i quinze anys; per tant, cal tenir en compte la maduració de les gimnastes. Vam predir l'edat del PHV amb les mesures antropomètriques d'alçada dempeus, alçada asseguda, longitud de cames i pes amb una equació de regressió múltiple (Mirwald et al., 2002). L'equació calcula l'interval de temps entre l'edat prevista al PHV i l'edat actual de l'individu. Els valors poden ser negatius (encara no s'ha arribat a l'edat del PHV), positius (s'ha passat de l'edat del PHV) o zero (l'edat actual és l'edat exacta del PHV) (Mirwald et al., 2002). Un investigador certificat per l'ISAK va desenvolupar totes les mesures antropomètriques d'acord amb els procediments estàndards d'ISAK. TEM% Inter-observador 1-5,5% per plecs i 0,5-1% per la resta de mesures.

7.2.5. Anàlisi estadística

Per a l'anàlisi estadística es va utilitzar el programari SPSS versió 24 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). Les dades descriptives de les variables es presenten com a mitjana \pm SD. La distribució de les variables es va verificar mitjançant la prova de Kolmogorov-Smirnov. Es va aplicar un MANOVA de mesures repetides unidireccionals per avaluar els efectes d'un factor intrasubjecte (TIME: pre-post) i un factor intersubjecte (GRUP: control-experimental) sobre cada variable dependent.

Les variables dependents corresponen a l'alçada, la velocitat d'enlairament, la potència mitjana, la força mitjana, la velocitat mitjana i el RFD en el tests de CMJ i el SLCMJ amb la cama dreta i esquerra. A més, es va incloure en l'anàlisi les puntuacions concedides per les jutgesses expertes per a la realització dels salts de tisores, corza i gambada, amb les mateixes variables dependents.

El contrast multivariat es va realitzar mitjançant un contrast univariat per determinar les diferències entre les variables dependents en cada condició. L'eta parcial al quadrat (η^2p) es va utilitzar com a mida de l'efecte dels contrastos multivariat i univariat. Quan els contrastos

univariats mostraven efectes principals o d'interacció estadísticament significatius, es van realitzar comparacions per parells mitjançant la correcció de Bonferroni. El nivell de significació es va establir en $p < 0,05$.

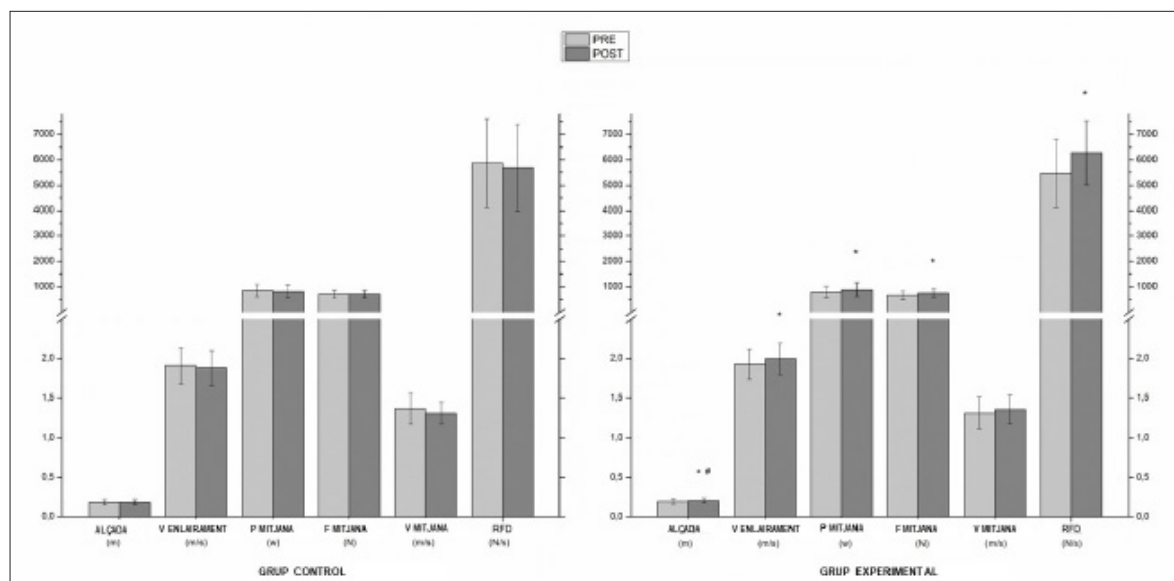
Per a la mida de l'efecte, es va calcular η^2p sobre els efectes principals amb una interpretació de 0,01, 0,06 i 0,14 com a mides d'efecte petites, mitjanes i grans, respectivament (Cohen, 1988). Paral·lelament, es va calcular la mida de l'efecte d de Cohen en totes les puntuacions prèvies i posteriors a la prova per tal de mesurar mides d'efecte petites (0,2), moderades (0,5) i grans (0,8) (Cohen, 1988).

7.3. RESULTATS

L'anàlisi multivariada aplicada al test de CMJ va mostrar que hi ha una interacció significativa entre els factors temps x grup ($F_{6,37} = 7,35$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,54$) i un efecte significatiu del factor temps ($F_{6,37} = 3,07$, $p < 0,015$, $\eta^2p = 0,33$). El seguiment de l'anàlisi univariada en aquesta condició va mostrar un efecte d'interacció (temps x grup) en la variable d'alçada ($F_{1,42} = 13,33$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,24$), variable de velocitat d'enlairament ($F_{1,42} = 10,36$, $p < 0,002$, $\eta^2p = 0,20$), variable de potència mitjana ($F_{1,42} = 9,82$, $p < 0,003$, $\eta^2p = 0,19$), variable de força mitjana ($F_{1,42} = 19,80$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,32$), variable de velocitat mitjana ($F_{1,42} = 6,43$, $p < 0,015$, $\eta^2p = 0,13$) i variable de RFD ($F_{1,42} = 14,60$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,26$). La comparació per parells de les proves post-hoc de Bonferroni va mostrar diferències significatives ($p < 0,05$) en totes les variables, excepte la velocitat mitjana, en els resultats del GE en el posttest amb una millora significativa en comparació amb els resultats del pretest.

La figura 58 mostra els resultats de totes les variables dependents en funció del grup i del temps.

Figura 58. Resultats del test de salt vertical amb contramoviment

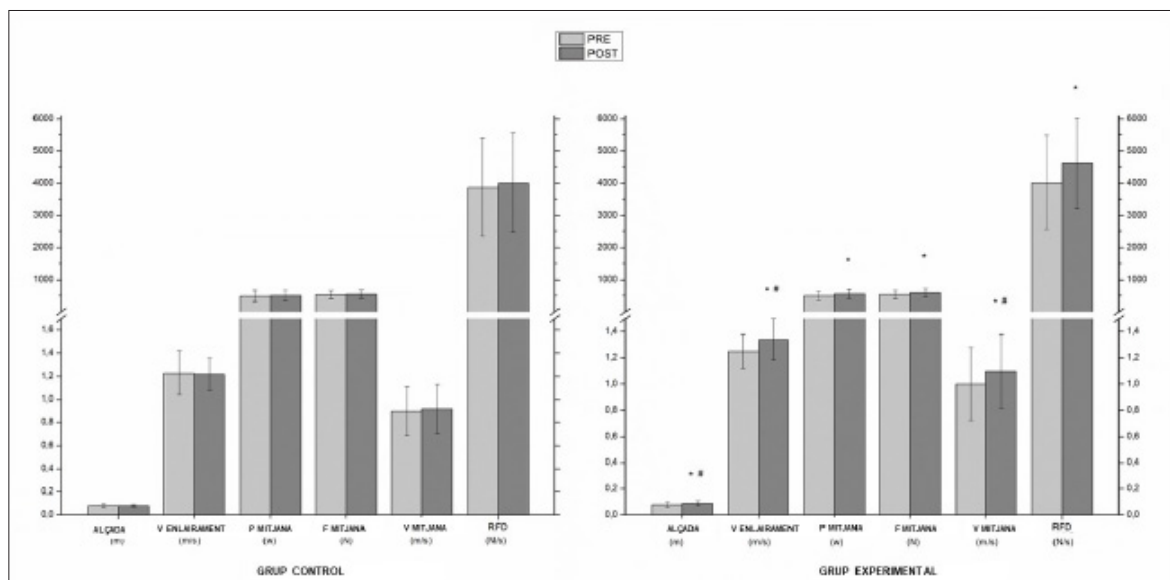


Nota. *Diferències significatives entre el pre i el posttest. #Diferències significatives entre el GE i el GC ($p < 0,05$). Alçada = alçada de salt; V enlairament = velocitat enlairament vertical; P mitjana = potència mitjana; F mitjana = força mitjana; V mitjana = velocitat mitjana; RFD = rati de desenvolupament de la força.

L'anàlisi multivariada aplicada al test de SLCMJ cama dreta va mostrar que hi ha una interacció significativa entre els factors temps x grup ($F_{6,37} = 4,65$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,43$) i un efecte significatiu del factor temps ($F_{6,37} = 8,19$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,57$). El seguiment de l'anàlisi univariada en aquesta condició va mostrar efectes d'interacció (temps x grup) en la variable d'alçada ($F_{1,42} = 11,80$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,22$), variable de velocitat d'enlairament ($F_{1,42} = 10,47$, $p < 0,002$, $\eta^2p = 0,20$), variable de potència mitjana ($F_{1,42} = 5,80$, $p < 0,021$, $\eta^2p = 0,12$), variable de força mitjana ($F_{1,42} = 5,52$, $p < 0,024$, $\eta^2p = 0,12$), variable de velocitat mitjana ($F_{1,42} = 5,87$, $p < 0,020$, $\eta^2p = 0,12$) i variable de RFD ($F_{1,42} = 10,66$, $p < 0,002$, $\eta^2p = 0,20$). La comparació per parells de les proves post-hoc de Bonferroni va mostrar diferències significatives ($p < 0,05$) en totes les variables, en els resultats posttest del GE amb una millora significativa en comparació amb els resultats pretest.

La figura 59 mostra els resultats de totes les variables dependents en funció del grup i del temps.

Figura 59. Resultats del test de salt amb contramoviment de la cama dreta



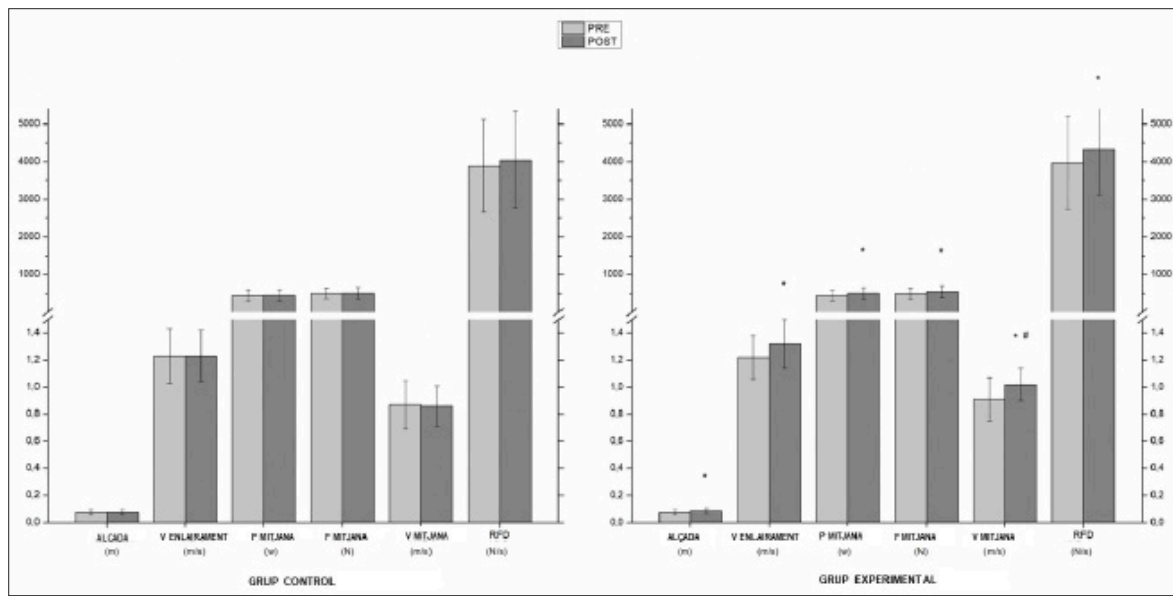
Nota. *Diferències significatives entre el pre i el posttest. #Diferències significatives entre el GE i el GC ($p < 0,05$). Alçada = alçada de salt; V enlairament = velocitat enlairament vertical; P mitjana = potència mitjana; F mitjana = força mitjana; V mitjana = velocitat mitjana; RFD = rati de desenvolupament de la força.

L'anàlisi multivariada aplicada al test de SLCMJ cama esquerra va mostrar que hi ha una interacció significativa entre els factors de temps x grup ($F_{6,37} = 4,48$, $p < 0,006$, $\eta^2p = 0,42$) i un efecte significatiu del factor temps ($F_{6,37} = 5,92$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,49$). El seguiment de l'anàlisi univariada en aquesta condició va mostrar efectes d'interacció (temps x grup) en la variable d'alçada ($F_{1,42} = 8,44$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,17$), variable de velocitat d'enlairament ($F_{1,42} = 10,56$, $p < 0,002$, $\eta^2p = 0,20$), variable de potència mitjana ($F_{1,42} = 8,40$, $p < 0,006$, $\eta^2p = 0,17$), variable de força mitjana ($F_{1,42} = 7,41$, $p < 0,009$, $\eta^2p = 0,15$), variable de velocitat mitjana ($F_{1,42} = 16,15$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,28$) i variable de RFD ($F_{1,42} = 0,96$, $p < 0,033$, $\eta^2p = 0,022$). La comparació

per parells de les proves post-hoc de Bonferroni va mostrar diferències significatives ($p < 0,05$) en totes les variables, en els resultats posttest del GE amb una millora significativa en comparació amb els resultats del pretest.

La figura 60 mostra els resultats de totes les variables dependents en funció del grup i del temps.

Figura 60. Resultats del test de salt amb contramoviment de la cama esquerra

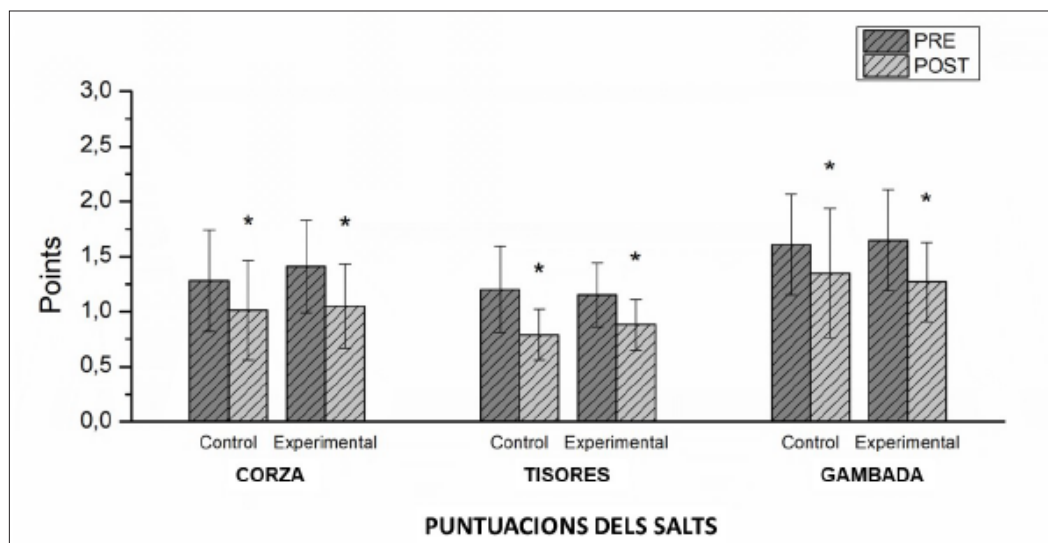


Nota. *Diferències significatives entre el pre i el posttest. #Diferències significatives entre el GE i el GC ($p < 0,05$). Alçada = alçada de salt; V enlairament = velocitat enlairament vertical; P mitjana = potència mitjana; F mitjana = força mitjana; V mitjana = velocitat mitjana; RFD = rati de desenvolupament de la força.

Els resultats corresponents a les puntuacions dels salts de GR; corza, tisoires i gambada s'expressen a continuació.

L'anàlisi multivariada aplicada a les puntuacions de les jutgeses en els tres exercicis de salts de GR no va mostrar cap interacció significativa entre els factors temps x grup, però, es va trobar un efecte significatiu del factor temps ($F_{3,40} = 1,25$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,70$). El seguiment de l'anàlisi univariada de les puntuacions tècniques dels jutges va mostrar un efecte d'interacció en el factor temps sobre el salt de corza ($F_{1,42} = 24,47$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,37$), el salt de tisoires ($F_{1,42} = 51,35$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,55$) i el salt de gambada ($F_{1,42} = 42,47$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,50$). La comparació per parells va mostrar una millora significativa ($p < 0,001$) del GE i el GC després de la intervenció en les puntuacions de la corza, les tisoires i la gambada confirmant millors resultats per als dos grups al posttest (Figura 61).

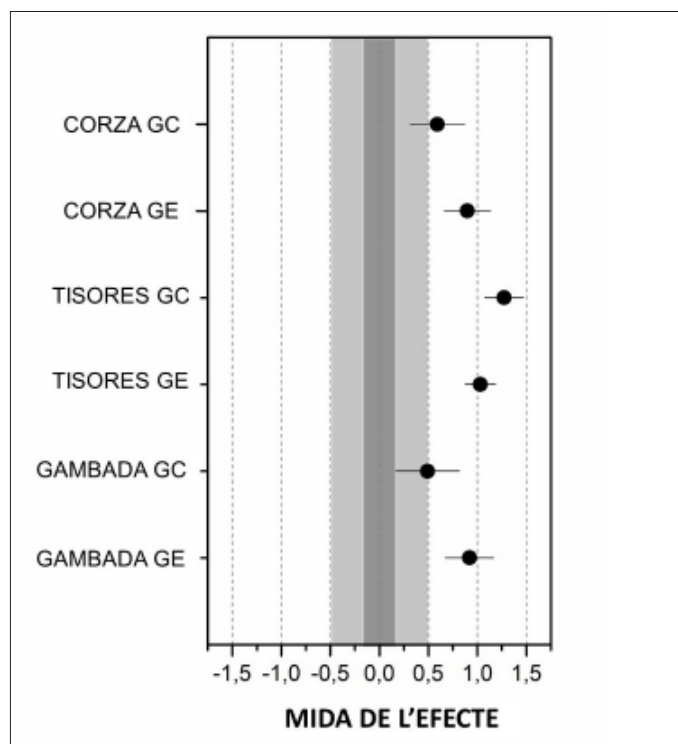
Figura 61. Resultats de les puntuacions de les jutgesses en els salts específics de gimnàstica rítmica



Nota. *Diferències significatives pre-post ($p < 0,001$).

Els resultats de la mida de l'efecte van mostrar un efecte gran en els salts de la corza i la gambada en el GE i un efecte mitjà en el GC. Una efecte gran es troba en el salt de tisoires per als dos grups. El GE mostra millors resultats generals respecte al GC en els salts específics de GR després de l'entrenament funcional integrat i (Figura 62).

Figura 62. Resultats de la mida de l'efecte en els salts específics de gimnàstica rítmica



Nota. Diferències de mida de l'efecte estandarditzades entre les puntuacions de salts de GR entre el pre i el posttest.

7.4. DISCUSSIÓ

L'objectiu principal d'aquest estudi va ser analitzar l'efectivitat d'un programa de CPT de vuit setmanes basat en GR, sobre la força explosiva de joves gimnastes de rítmica. Segons el nostre coneixement, aquest és el primer estudi que mesura l'efecte d'un programa d'entrenament que conté exercicis d'estabilitat del core i pliometria sobre la força explosiva d'aquestes esportistes. Les principals troballes inclouen millores significatives en el GE en els resultats del test CMJ en les variables d'alçada, V enlairament, P mitjana, F mitjana i RFD. A més, es van trobar millors resultats en la variable d'alçada en el GE en comparació amb el GC en el posttest. No es van trobar diferències significatives en la variable V mitjana. En els resultats dels tests de SLCMJ amb la cama dreta, el GE va obtenir millores significatives en totes les variables dependents i, a més, millors resultats en el posttest en comparació amb el GC en les variables d'alçada, V enlairament i V mitjana. Pel que fa al test SLCMJ esquerra, es van trobar millores significatives en el GE al posttest en totes les variables i millors resultats que el GC en la variable V mitjana. Pel que fa a les proves de salt específiques de GR, les puntuacions dels jutgesses no van mostrar diferències significatives entre el GE i el GC en els tres salts avaluats, corza, tisoires i gambada, ambdós grups van millorar significativament els salts específics de GR al posttest. No obstant això, els resultats de la mida de l'efecte dels salts de GR mostren un gran efecte en la corza i la gambada en el GE i una millora mitjana en el GC en el posttest. Tots dos grups presenten un gran efecte en el salt de tisoires en el posttest. Com que els resultats del pretest no van mostrar diferències significatives entre el GC i el GE, les diferències obtingudes en el posttest es poden atribuir al CPT integrat funcional.

Aquests resultats suggereixen que afegir un CPT funcional integrat a l'entrenament tradicional de GR pot proporcionar més força explosiva a gimnastes de rítmica joves que realitzar només un entrenament específic de GR. Segons el que sabem, cap estudi ha avaluat la força explosiva de joves gimnastes de rítmica després de realitzar un entrenament de CPT. Es va trobar un estudi similar que realitzava un entrenament integrat. Un mes d'entrenament integrat de Pilates i pliometria de resistència a l'aigua va millorar l'alçada del salt i la força explosiva de gimnastes d'elit de rítmica (Hutchinson et al., 1998). Aquest entrenament és similar al nostre entrenament ja que integra exercicis de core (en l'entrenament de Pilates) i pliometria a l'aigua, tot i que el tipus d'exercici no és específic de GR, la durada de l'entrenament és més curta, l'entorn era aquàtic i les participants eren gimnastes d'elit en lloc de joves gimnastes de competició.

Es van trobar estudis que realitzen programes de PT i avaluen la força explosiva de les gimnastes de rítmica. Taktak et al. (2013) van informar que gimnastes adultes de rítmica van millorar les mesures de força explosiva en una prova de CMJ després de realitzar un PT de quatre setmanes. En una altra investigació que implementava un programa de PT, les gimnastes van presentar millores en el rendiment després dels dotze mesos d'entrenament, les gimnastes entrenades amb l'addició d'exercicis pliomètrics van presentar un millor rendiment que el grup entrenat amb exercicis tradicionals de GR, amb major força a les extremitats inferiors en salt vertical i salt horitzontal, i també van millorar l'agilitat (Agostini et al., 2017). En l'estudi més recent, es van avaluar joves gimnastes de rítmica després d'implementar sis setmanes de PT i es va millorar el rendiment del salt (Nitzsche et al., 2022). Tot i que tots aquests estudis coincideixen amb els nostres resultats, els programes de PT utilitzats no inclouen exercicis específics de GR,

ni tests específics de GR. També es van trobar estudis que portaven a terme programes de PT en gimnàstica artística. Marina i Jemni (2014) van analitzar el rendiment de salt de nou gimnastes orientades a l'elit. Els autors van concloure que una combinació d'entrenament de força amb peses i amb salts pliomètrics d'alt impacte és eficaç en gimnastes prepuberals. En un altre estudi, Hall et al. (2016) van avaluar l'efecte d'una intervenció de PT de sis setmanes afegida a l'entrenament regular de gimnàstica sobre el rendiment del flic-flac sobre l'aparell de salt i el desenvolupament de la potència de les extremitats inferiors en joves gimnastes. Van presentar un petit però significatiu augment del temps posterior al vol en el flic-flac. Totes aquestes investigacions de gimnàstica artística i rítmica suggereixen que un programa de PT pot ajudar a millorar la força explosiva de les gimnastes.

D'altra banda, l'entrenament del core també podria millorar les mesures de força explosiva de les gimnastes, això pot ser degut al fet que el core proporciona una major estabilitat als moviments de les extremitats inferiors, de proximal a distal, afavorint en aquest cas la potència de les cames (Kibler et al., 2006). Es suggereix que els músculs del core funcionen com a eixos a la cadena motora, creant un punt de suport per a la força de les quatre extremitats i establint un canal per a la cohesió, transmissió i integració de les extremitats superiors i inferiors (Luo et al., 2022). L'entrenament de CS podria millorar la capacitat del sistema nerviós per organitzar la coordinació muscular i poder millorar l'eficiència esportiva (Luo et al., 2022). De fet, una forta musculatura del core no només transfereix de manera més econòmica i harmoniosa la força dels esportistes cap a les extremitats, sinó que també manté millor l'estabilitat del tronc i les articulacions del maluc perquè les gimnastes puguin mostrar moviments tècnics complexos més coherents, coordinats i estables a l'aire (Luo et al., 2022). Una tesi va informar que un entrenament de core de sis setmanes va millorar el rendiment del salt vertical en joves gimnastes d'artística (González Sepúlveda et al., 2019). A més, un estudi amb cent-vint gimnastes de rítmica búlgares va trobar un nivell significatiu de correlació entre la força isomètrica de l'esquena i el salt vertical màxim (Gateva, 2013). Hem trobat tres estudis que mesuraven els efectes de programes d'entrenament de CS en joves gimnastes de rítmica. Dos dels estudis van reportar millores en els paràmetres de CS, cosa que suggereix que aquest tipus d'entrenament podria millorar el rendiment de la GR, tot i que no es va mesurar la força explosiva (Cabrejas, Solana-Tramunt, et al., 2022; Esteban-García et al., 2021). L'altre estudi de GR va registrar millores significatives en la potència, l'equilibri i la resistència de les gimnastes després de l'entrenament CS (Nazari i Boon Hooi, 2019), una troballa que coincideix amb els nostres resultats. No obstant això, els exercicis pliomètrics i específics de GR no es van incloure a l'entrenament. S'han realitzat entrenaments de CS en bàsquet (Yilmaz, 2022), millorant els paràmetres de força explosiva de jugadors de bàsquet prepuberals i puberals, i resultats similars es van trobar en futbol (He, 2022). Per acabar, un estudi que va comparar un entrenament de peses específic de GR i un entrenament de peses tradicional, va proporcionar evidències que la repetició elevada d'exercicis de peses a baixa intensitat és recomanable per a joves gimnastes de rítmica per millorar la potència i la rigidesa, i que l'entrenament de força específic de GR sembla ser preferible ja que augmenta la força reactiva (Piazza et al., 2014).

La millora significativa del GE en el posttest en les proves CMJ i SLCMJ dreta i esquerra en totes les variables mesurades (alçada, V enlairament, P mitjana, F mitjana, V mitjana i RFD),

excepte en la V mitjana en el CMJ, suggereix que el nostre entrenament funcional ajuda a millorar la força explosiva en joves gimnastes de rítmica i, per tant, millora els paràmetres físics del salt vertical de les gimnastes. La variable d'alçada del salt està relacionada amb un major temps durant el vol d'un salt, la velocitat l'enlairament vertical amb la velocitat i la coordinació de la fase d'impuls d'un salt, i les variables de potència, força, velocitat i RFD amb indicadors de força explosiva (Aagaard et al., 2002; Kistler Mars, s.d.; McLellan et al., 2011). Especialment, l'avaluació del RFD durant les contraccions ràpides s'ha tornat molt popular recentment per representar la força explosiva dels esportistes (Maffulli i Pintore, 1990). El RFD sembla estar determinat principalment per la capacitat de produir una activació voluntària màxima en la fase inicial d'una contracció explosiva (primers 50-75 milisegons), especialment com a resultat de l'augment de la velocitat de descàrrega de la unitat motora (Maffiuletti et al., 2016).

Aquests resultats fan pensar que el CPT va ajudar a les gimnastes a millorar les tres fases de salt (enlairament, vol i aterratge). Un estudi que analitza el rendiment de la gambada en GR, destaca la importància del temps total de la fase d'enlairament i vol (Rodríguez-Galán i Gómez-Landero Rodríguez, 2018). Aquestes variables cinemàtiques temporals s'han associat amb una millor execució d'aquesta dificultat corporal. Segons Hay (1993), en la fase d'enlairament, es requereix força explosiva a les extremitats inferiors per generar l'acció d'impuls (que s'ha de realitzar a gran velocitat i coordinació entre les articulacions implicades). S'ha observat que com més temps dedica una gimnasta a realitzar la fase d'enlairament, pitjor nivell de rendiment aconsegueix en l'execució del salt (Rodríguez-Galán i Gómez-Landero Rodríguez, 2018). A més, la durada de la fase de vol depèn de la qualitat de l'enlairament. Com millor sigui l'enlairament, més possibilitats hi haurà que la gimnasta sigui capaç de realitzar accions corporals concretes, i més gran serà el grau de dificultat que es pot aconseguir amb el salt (Hay, 1993). Els nostres resultats mostren una millora en els paràmetres d'enlairament i el temps de vol, que sembla estar relacionat amb l'execució adequada dels salts de GR (Grande et al., 2008; Rodríguez-Galán i Gómez-Landero Rodríguez, 2018). Addicionalment, com que el codi de puntuació de GR estableix una sèrie de requisits per a la correcta execució dels salts («forma definida i fixa», i «alçada suficient per mostrar la forma corresponent»), es subratlla la importància de la durada de la fase de vol, de manera que els resultats obtinguts en aquesta fase coincideixen amb el que exigeix el propi codi de puntuació (Federación Internacional de Gimnasia, 2018). Així, com més temps romanguin les gimnastes en la fase de vol, més temps tindran per mostrar, mantenir i fixar la forma del salt (en el nostre cas, la corza, les tisoires i la gambada), per tant, la tècnica i la qualitat d'execució serà millor i el salt més ben valorat (Rodríguez-Galán i Gómez-Landero Rodríguez, 2018). Pel que fa a la fase d'aterratge, l'objectiu és l'absorció de l'impacte en el suport i aconseguir i mantenir una posició estable (Pagola Aldazabal, 2010). A partir dels resultats de Cabrejas, Morales, et al. (2022) es suggereix que les joves gimnastes milloren el control postural després d'un programa de CPT, la qual cosa podria ajudar a optimitzar la fase d'aterratge del salt i, a més, a absorbir l'impacte de l'aterratge de manera més eficient, a causa de l'augment de la força explosiva de les extremitats inferiors. L'estimulació previsible i conscient dels efectors musculars imposada per la CPT, és una forma eficaç d'estimular la propiocepció cortical del turmell, genolls, malucs i articulacions lumbopelvianes (Ivanenko i Gurfinkel, 2018). Així, les gimnastes de rítmica podrien ser més capaces de realitzar la posició articular correcta i augmentar

la seva força explosiva en les fases d'enlairament, vol i aterratge dels salts de GR. Com que ambdós grups, el GE i el GC, van realitzar les mateixes hores d'entrenament, i el GE va obtenir un millor rendiment, coincidim amb Marina i Jemni (2014) que s'hauria d'augmentar el temps dedicat a l'entrenament de la condició física dissenyat per optimitzar les habilitats pliomètriques de les gimnastes, ja que comporta una millor execució dels salts i disminueix el temps d'entrenament dedicat als exercicis tècnics o de competició.

Pel que fa a les puntuacions de les jutgesses, els resultats no van indicar cap millora significativa del GE respecte al GC després del programa de CPT. Es va trobar una millora significativa en el factor temps que indica que tant el GE com el GC van millorar les puntuacions de salts específics de GR al posttest. No obstant això, es va trobar un gran efecte en la corza i la gambada en el GE després del CPT respecte a un efecte mitjà del GC. Aquests resultats mostren una tendència a una millora més gran en el GE en comparació amb el GC després de l'entrenament funcional integrat.

Una possible explicació podria ser que per a les gimnastes principiants, la tècnica dels salts és difícil, això es deu a que els factors d'execució de les tises, la corza i la gambada poden no estar encara desenvolupats de manera òptima. Els factors d'execució són el component físic de la força explosiva, la flexibilitat de les cames i les tècniques adequades de moviment de salt (Putra et al., 2020). Les jutgesses avaluen principalment la fase de vol on la força, la flexibilitat i la coordinació són crucials (Miletić, Sekulic, et al., 2004). Les nostres gimnastes van millorar els paràmetres de força explosiva, però potser necessiten més temps per millorar la flexibilitat, la coordinació i la tècnica de salt específica per aconseguir millors puntuacions per part de les jutgesses.

Com s'ha vist, un factor important que influeix en l'execució dels salts de GR és la flexibilitat angular de les articulacions, especialment l'amplitud dels malucs i l'extensió de les articulacions dels turmells (puntes estirades) (Rodríguez-Galán i Gómez-Landero Rodríguez, 2018). Els angles d'extensió màxima dels turmells s'han associat amb penalitzacions més baixes i, per tant, amb millors nivells de rendiment, la qual cosa indica i demostra la importància de mantenir les puntes dels peus estirades en els esports gimnàstics, especialment en GR, per tal d'aconseguir l'estètica requerida en els moviments (Federación Internacional de Gimnasia, 2018) i, en conseqüència, millor qualitat i valoració. L'angle d'amplitud màxima entre ambdós malucs presenta una alta associació amb una millor execució de salt (Rodríguez-Galán i Gómez-Landero Rodríguez, 2018). Això representa: 1) la importància del màxim rang de moviment possible en l'execució de les habilitats específiques de salt en GR, i 2), en conseqüència, la rellevància de la flexibilitat en la seva manifestació actiu-balística en aquest tipus de dificultats corporals. Aquesta hipòtesi està recolzada per diversos autors i treballs (Di Cagno et al., 2010; Grande et al., 2008; Mendizábal, 2001; Miletić, Sekulic, et al., 2004; Rodríguez-Galán et al., 2013; Rodríguez-Galán i Gómez-Landero Rodríguez, 2018). Un estudi que va avaluar quatre salts de gimnàstica (vertical, vertical amb rotació del cos en 360°, corza amb flexió i carpa) amb contramoviment i moviment de les extremitats superiors, realitzats per gimnastes júnior d'entre tretze i quinze anys, va concloure que les gimnastes amb nivells de flexibilitat baixos no aconseguen la forma del salt durant el vol (Petry, 2008). Es suggereix que durant l'entrenament de força, l'entrenament de flexibilitat s'hauria d'augmentar en conseqüència (Piazza et al., 2014) per tal d'assegurar que les gimnastes

obtinguin un bon equilibri entre força i flexibilitat, un determinant de rendiment molt important per la RG (Douda et al., 2002).

Un altre motiu pel qual les gimnastes del GE no van obtenir millors puntuacions que el GC després de realitzar el CPT podria ser la difícil coordinació entre la carrera anterior i la forma dels salts específics de GR escollits. Per tant, és possible que les gimnastes coordinin millor la fase d'impuls en els salts que es realitzen des del lloc i amb una execució senzilla (com en els salts de CMJ o SLCMJ) que amb els salts que requereixen una carrera doble pas previ i, per tant, necessiten una coordinació més complexa en fase d'enlairament i en la fase de vol (Grande et al., 2007).

Els nostres resultats suggereixen que el GE té una tendència més gran a la millora dels salts de GR, especialment en la corza i la gambada. Aquests dos salts són els que requereixen més amplitud dels malucs i en conseqüència, és possible que l'entrenament hagi ajudat a les gimnastes a millorar la capacitat d'obertura de les cames en aquests dos salts, on la força explosiva i la flexibilitat dinàmica són molt importants. Tanmateix, el programa de CPT no es basava en millorar els aspectes tècnics dels salts de GR, ni la flexibilitat, i per tant, pot ser per aquest motiu que no quedi tant reflectit en les puntuacions de les jutgesses.

Un factor que també podria influir en el rendiment del salt de GR és el perfil antropomètric de la gimnasta (estatura, longitud de les cames, pes corporal, IMC, greix subcutani...etc.) (Rodríguez-Galán i Gómez-Landero Rodríguez, 2018). Valors més baixos de teixit adipós, estatura més alta i més longitud de cames han mostrat els millors resultats en l'execució de salts de GR (Di Cagno et al., 2008). El baix pes corporal i el baix percentatge de greix són factors crítics a tenir en compte per a un rendiment físic òptim en GR (Miletić, Katić, et al., 2004). En aquest estudi es va mesurar el perfil antropomètric de les gimnastes per garantir que el GE i el GC no tinguessin diferències significatives.

El nostre CPT funcional és innovador i està molt lligat a la realitat i necessitats funcionals de la GR, ja que està vinculat als patrons motors de GR. En el nostre estudi, les gimnastes van entrenar utilitzant exercicis de core amb una demanda d'equilibri, control postural i força explosiva CEA. Els reptes imposats a la CS, l'equilibri i la força explosiva s'acosten a les exigències de les habilitats de GR. Aquesta observació és recolzada per Lederman (2010) i Boyle (2016), que van argumentar que com més específic sigui l'entrenament, més transferència s'aconseguirà cap a l'esport.

El nostre entrenament pot ser d'especial interès per als entrenadors de gimnastes en edats primerenques, ja que la capacitat de realitzar un salt vertical requereix experiència en patrons motrius i diverses habilitats motrius fonamentals, ambdues desenvolupades en la primera infància (Ayán-Pérez et al., 2017). A més, la major potència que obtenen els músculs per fer un salt més explosiu es produeix a l'adolescència quan el múscul arriba a la maduresa (Chena Sinovas et al., 2015). També s'ha informat que les nenes poden desenvolupar una millor coordinació motriu abans de la menarquia, subratllant la importància d'entrenar la força explosiva durant la última etapa de la infància i en l'adolescència (Malina et al., 2004). Es va considerar la importància de la maduresa biològica per al rendiment físic, es va calcular l'edat del PHV de les gimnastes i la divisió aleatòria del grup no va donar lloc a diferències significatives entre els grups.

A més, altres estudis afirmen que l'entrenament tradicional de gimnàstica ajuda a obtenir millors resultats en alçada de salt, velocitat d'enlairament i velocitat màxima vertical del centre de masses, que són fonamentals per a un rendiment adequat en el salt vertical (Rendón Morales et al., 2017). Això també pot explicar la millora significativa del GC en els salts específics de GR en el posttest; la mida de l'efecte mitjana en el salt de la corza i la gambada i la mida de l'efecte gran en les tisoires. Sembla que el programa funcional integrat de CPT desafia la força explosiva de les gimnastes més que l'entrenament tradicional de GR, però no crea suficients adaptacions per millorar significativament les puntuacions de les jutgesses en els salts específics de GR.

Pel que fa a les aplicacions pràctiques, les entrenadores de GR haurien de considerar l'ús d'un entrenament funcional que inclogui exercicis integrats de core i pliomètrics executats amb equilibris i posicions de salts específiques de GR per millorar la força explosiva de les joves gimnastes de rítmica. Les gimnastes han de realitzar els exercicis de core mantenint la seva zona lumbopelviana recta i estable i buidant el melic mentre exhalen, intentar ser explosives en cada salt i equilibrar-se en cada recepció de salt. D'aquesta manera, les gimnastes podrien dedicar menys temps a l'escalfament, el core, l'equilibri, el control postural i l'entrenament pliomètric i realitzar un entrenament amb tot integrat, ja que els horaris d'entrenament no admeten moltes sessions d'entrenament addicionals.

7.5. LIMITACIONS I LÍNIES FUTURES

Hi ha certes limitacions pel que fa al disseny d'aquest estudi. Entre les conclusions més rellevants de Grande et al. (2007), reconsideren si convé o no valorar gimnastes amb tests genèrics de capacitat de salt, com pot ser el CMJ, ja que els resultats no es veuen reflectits en el seu rendiment esportiu. Aquesta hipòtesi és de gran valor ja que a l'hora de valorar aspectes significatius del salt s'utilitzen amb molta freqüència bateries de tests genèriques, on no hi ha una transferència real amb els salts que les gimnastes executen en els seus exercicis de competició. A més, a l'estudi de Di Cagno et al. (2008) les dades van mostrar una similitud entre gimnastes d'elit i sub-elit en el rendiment de CMJ, probablement perquè el CMJ no és un test que les gimnastes d'elit realitzin habitualment, sinó que estan més especialitzades en el rendiment tècnic de salts, de manera que, els tests de GR no específics poden no ser les eines més adequades per avaluar el rendiment de salts específics de GR. No obstant això, hi ha nombrosos estudis que consideren el CMJ sobre una plataforma de força com un estàndard d'or per mesurar la força explosiva en esportistes (Bosco et al., 1983; Valič et al., 2015). Una altra limitació podria ser que és més difícil per a gimnastes joves marcar els RPE de cada entrenament. Els programes de CS i pliomètrics integrats anteriors realitzats amb esportistes van obtenir resultats després d'intervencions de quatre a dotze setmanes (Lin et al., 2021; Myer et al., 2006; Paterno et al., 2004; Taktak et al., 2013). Vam optar per un programa d'entrenament de vuit setmanes, ja que es troba en la durada mitjana d'un entrenament de CS i es suggereix que la freqüència i la durada no poden ser inferiors a dues vegades per setmana i quatre setmanes (Luo et al., 2022). Aquesta durada també va respectar la logística de programació del club competitiu de GR. Potser intervencions més llargues comportarien majors adaptacions, ja que la conducta motriu pot necessitar períodes més llargs per veure's afectada per l'entrenament (Solana-Tramunt et al., 2019). Una limitació més de l'estudi és que el GC i el GE no estan equilibrats, ja que no tenen

exactament el mateix nombre de participants, però les proves paramètriques utilitzades són molt robustes i els resultats obtinguts són vàlids.

Segons el nostre coneixement, no hi ha altres estudis que mesuren la força explosiva de les gimnastes de rítmica després d'un CPT. Només hi ha un estudi previ que verifica l'impacte d'un entrenament CPT integrat en gimnastes de rítmica (Hutchinson et al., 1998) i un altre estudi de l'efecte d'entrenament de CS sobre la potència de les gimnastes de rítmica (Nazari i Boon Hooi, 2019). En altres estudis, s'ha suggerit que l'entrenament de CS ajuda a millorar el rendiment del core, cosa que podria ser beneficiós per al rendiment de GR (Cabrejas, Morales, et al., 2022; Cabrejas, Solana-Tramunt, et al., 2022; Esteban-García et al., 2021). La majoria de les investigacions disponibles han intentat demostrar una relació entre el PT i rendiment de força explosiva en GR (Agostini et al., 2017; Nitzsche et al., 2022; Taktak et al., 2013) i gimnàstica artística (Hall et al., 2016; Marina i Jemni, 2014), mentre que un estudi va avaluar la força explosiva després d'un entrenament amb peses amb exercicis de força i pliometria (Piazza et al., 2014). No obstant això, aquests estudis anteriors es van centrar en programes d'entrenament no integrats i funcionals que no presenten similituds amb la GR pel que fa a la tipologia d'exercicis i requisits. Es suggereix que el CPT funcional integrat podria millorar la força explosiva de joves gimnastes de rítmica i així com una tendència a millorar les puntuacions de salts de GR. Tot i això, es necessiten més investigacions per comparar l'efecte del CPT específic basat en GR sobre la força explosiva amb els de un CPT tradicional, per determinar els efectes a llarg termini i desenvolupar altres tests de salt específics de GR vàlids i fiables per avaluar diferents salts de GR i altres determinants de rendiment de la GR.

7.6. CONCLUSIONS

El programa de CPT de vuit setmanes basat en GR millora la força explosiva en joves gimnastes de rítmica, específicament en les variables mesurades d'alçada de salt, velocitat d'enlairament vertical, potència mitjana, força mitjana, velocitat mitjana i RFD durant els tests de SLCMJ dreta i esquerra sobre una plataforma de forces. El GE també va millorar significativament totes les variables excepte la velocitat mitjana en el posttest del CMJ. Les puntuacions de les jutgesses en els salts de GR van millorar en ambdós grups al posttest, tot i això, hi va haver una tendència més gran a la millora en els salts de corza i gambada en el GE. Per tant, afegir un CPT funcional a l'entrenament tradicional de GR pot ajudar a millorar la força explosiva de les gimnastes de rítmica i les variables relacionades amb el rendiment dels salts. No obstant això, futures investigacions haurien d'avaluar els efectes de programes de CPT més llargs i verificar l'eficàcia del CPT funcional en diferents salts de GR i altres determinants del rendiment de GR.

CONCLUSIONS GENERALS

8. CONCLUSIONS GENERALS

El present treball d'investigació va tenir com a objectiu principal avaluar l'efecte d'un entrenament funcional integrat de core i pliometria en l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de rítmica. A més, va estudiar quins canvis va haver-hi en el rendiment de les gimnastes mitjançant variables específiques de GR.

Com a conclusió general podem afirmar que un programa d'entrenament funcional integrat de core i pliometria executat amb equilibris i salts específics de GR ajuda a millorar l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i la força explosiva en joves gimnastes de rítmica.

Els resultats més significatius es van trobar en la millora del control postural en l'equilibri unípede amb cama dreta i esquerra amb els ulls oberts i l'equilibri arabesque, així com la puntuació tècnica de l'equilibri cama al costat amb ajuda. També es va trobar una millora significativa dels paràmetres de força explosiva i rendiment del salt vertical en els tests de CMJ i SLCMJ dreta i esquerra en el GE després de les vuit setmanes d'entrenament funcional integrat.

8.1. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI 1

- Conclusió 1.1: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica va presentar una lleugera tendència a la millora en els moviments d'abducció i rotació dels malucs dels tests de control motor lumbopelvià del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.
- Conclusió 1.2: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica va presentar una tendència a la millora més gran del temps de manteniment dels tests de resistència del core del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.

8.2. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI 2

- Conclusió 2.1: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica va disminuir significativament la velocitat medi-lateral del centre de pressions en els tests de control postural d'equilibri unípede amb cama dreta i esquerra amb els ulls oberts del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes. A més, es va veure un efecte més gran de l'entrenament especialment en la velocitat medi-lateral en els equilibris unípedes dreta i esquerra d'ulls oberts i ulls tancats en el grup experimental respecte el grup control.
- Conclusió 2.2.1: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica va disminuir significativament les variables de velocitat medi-lateral i àrea total del centre de pressions en l'equilibri arabesque en el

grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes. A més, es va veure un efecte més gran de l'entrenament en la majoria de variables del centre de pressions dels tres equilibris específics de gimnàstica rítmica en el grup experimental respecte el grup control.

- Conclusió 2.2.2: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica va millorar significativament la puntuació de l'equilibri cama al costat en el grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes. A més, es va veure un efecte més gran de l'entrenament en la puntuació dels equilibris arabesque i cama al costat en el grup experimental respecte el grup control.

8.3. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI 3

- Conclusió 3.1: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica va millorar significativament les variables de força explosiva dels tests de salt amb contramoviment amb una i dues cames del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes.
- Conclusió 3.2: La inclusió del programa funcional integrat de core a les sessions d'entrenament de gimnàstica rítmica no va mostrar diferències significatives en la puntuació dels salts específics de gimnàstica rítmica del grup experimental respecte el grup control després de vuit setmanes. No obstant, es va veure un efecte més gran de l'entrenament en la puntuació de la corza i la gambada en el grup experimental respecte el grup control.

APLICACIONES PRÁCTICAS I LÍNIAS FUTURES

9. APLICACIONS PRÀCTIQUES I LÍNIES FUTURES

Pel que fa a les aplicacions pràctiques, els entrenadors i entrenadores de GR haurien de considerar l'ús d'entrenament funcional que inclogui exercicis integrats de core i pliomètrics executats amb postures específiques d'equilibri i salt de GR per millorar el control postural, la força explosiva, l'estabilitat lumbopelviana i equilibris específics de GR. Aquest entrenament funcional integrat és una manera de combinar diferents parts i tipus d'entrenament (escalfament, entrenament de core, equilibri i pliometria) tot en un, i en conseqüència, perdre menys temps amb la preparació física de les gimnastes, i inclús, en la preparació tècnica si els exercicis són funcionals i contempnen els patrons de moviment dels elements gimnàstics que es volen treballar.

Els exercicis d'aquest entrenament s'han de supervisar per entrenadors/es professionals de GR, ja que s'ha de verificar que les posicions tècniques de GR es realitzen correctament. En els equilibris i salts específics de GR s'ha de promoure una col·locació postural correcta dels diferents segments corporals, amplitud de moviment i netedat de puntes, genolls i braços. Per altra banda, els exercicis de core s'han d'executar mantenint la zona lumbopelviana recta i estable, buidant el melic mentre s'exhala, i s'han d'alinear les articulacions del cos en totes les posicions de core a terra. Els exercicis pliomètrics han de ser explosius en cada impuls de salt i equilibrats en cada recepció de salt o postura d'equilibri específica.

Es poden augmentar les repeticions, les sèries i el temps de manteniment dels exercicis quan les gimnastes s'adapten a l'entrenament i la intensitat percebuda baixa, i sempre que les gimnastes duguin a terme els exercicis amb una execució correcta (més informació sobre la proposta d'entrenament als annexos 11.2 i 11.3).

Després de realitzar els tres estudis ens hem trobat amb certes limitacions que ens han portat a pensar diferents línies futures d'investigació:

A l'entrenament s'ha utilitzat material inestable per augmentar la càrrega i la demanda de control neuromuscular en els exercicis de core i equilibri. Tot i això, tal com hem comentat als tres estudis, no disposàvem de material per a cada gimnasta, i, per tant, caldria veure si afegint més instruments de superfícies inestables variarien els resultats, especialment en l'estabilitat lumbopelviana, el control postural i els equilibris específics de GR.

En realitzar l'estudi amb joves gimnastes, la quantificació de la càrrega d'entrenament ha estat difícil, ja que la manca d'experiència de les gimnastes podria haver esbiaixat els RPE reportats per les nenes petites. En futures investigacions es podrien valorar altres maneres de quantificar la càrrega de l'entrenament per joves gimnastes.

En quant a la durada de l'entrenament, es va considerar, després de revisar la literatura relacionada, que amb vuit setmanes es podrien veure els efectes de l'entrenament, no obstant això, es podria investigar l'efecte de durades més llargues d'entrenament, i veure si hi ha més adaptacions, especialment en el control neuromuscular.

Així mateix, esmentar que la idea inicial era realitzar l'estudi amb una metodologia de crossover i que les gimnastes del grup control també realitzessin el programa d'entrenament funcional integrat de core. Es volia dur a terme a l'any següent de la primera implementació durant el mateix moment de la temporada, per tal de poder comparar més resultats i que totes les gimnastes es poguessin beneficiar del programa d'entrenament. Això no va ser possible degut a la pandèmia de la COVID-19, que va irrompre durant la segona aplicació de l'entrenament funcional. Futurs estudis podrien avaluar el rendiment d'un programa funcional integrat de core realitzant la metodologia de crossover.

Tal com hem vist, hi ha una manca d'estudis que avaluïn l'efecte d'un entrenament funcional integrat de core i pliometria en joves gimnastes de rítmica, per tant, seria interessant dur a terme futurs estudis que analitzin l'efecte d'aquest entrenament en diferents salts i equilibris de GR. L'entrenament podria ser similar però afegint altres posicions d'equilibri i salt utilitzades a la GR. També seria interessant poder-ho aplicar en una mostra de gimnastes de més nivell perquè es podrien avaluar equilibris i salts més complexos i inclús elements corporals de gir. Una altra qüestió important seria aplicar aquesta proposta d'entrenament en altres clubs, ja que no a tots els clubs es treballa de la mateixa manera. Al club Muntanyenc Sant Cugat es prioritza bastant el treball equitatiu de dreta-esquerra, la col·locació corporal correcte, la compensació de la flexibilitat de tronc enrere i el treball de força general, mentre que a molts clubs de GR es prioritza el treball de la flexibilitat, especialment el de flexió de tronc enrere, de manera que en aquests clubs, la proposta d'entrenament d'aquesta tesi podria ser molt beneficiosa.

Els instruments d'avaluació i tests emprats en els diferents estudis són vàlids i fiables, no obstant això, s'ha de continuar investigant per trobar proves més consistents per avaluar l'estabilitat lumbopelviana i el core en general, ja que la variabilitat entre els subjectes en els tests de CS va ser molt elevada i això va provocar la utilització de mètodes estadístics que no són tradicionals. Es va utilitzar com a alternativa els mètodes lineals mixtos que fan servir les regressions com a base, mitjançant els quals es pot fer una aproximació a la comparació dels grups tenint en compte la variabilitat tant alta que es va trobar en la resposta individual a la intervenció. També seria important analitzar els salts específics de GR mitjançant altres tests, a més de la puntuació de les jutgesses, i poder obtenir variables més consistents.

Un cop finalitzada aquesta tesi, seria molt interessant continuar aportant coneixement a l'entrenament de la GR. Desenvolupant aquesta proposta d'entrenament i avaluant altres paràmetres de rendiment de GR o bé, aplicant mètodes d'entrenament que han donat bons resultats en altres esports i adaptar-los a la GR.

Amb l'elaboració d'aquesta tesi també es busca contribuir en la millora de l'entrenament de joves gimnastes de rítmica fent que el seu entrenament sigui més saludable, equilibrat i bilateral, així com aportar més coneixement sobre l'esport de la GR, promoure'l i fer-lo més visible.

REFERÈNCIES

10. REFERÈNCIES

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., i Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318-1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>
- Abelin-Genevois, K. (2021). Sagittal balance of the spine. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 107(1S), 102769. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102769>
- Agopyan, A. (2021). An analysis of movements with or without back bend of the trunk or large hip extension in 1 st Juniors' Rhythmic Gymnastics World Championship-2019. Is there injury risk for gymnasts? *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 21(1), 108-125. <https://doi.org/10.1080/24748668.2020.1850038>
- Agostini, B. R., Palomares, E. M. D. G., Andrade, R. D. A., Andrade, R. D. A., Uchôa, F. N. M., i Alves, N. (2017). Analysis of the influence of plyometric training in improving the performance of athletes in rhythmic gymnastics. *Motricidade*, 13(2), 71. <https://doi.org/10.6063/motricidade.9770>
- Akuthota, V., i Nadler, S. F. (2004). Core strengthening11No commercial party having a direct financial interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit upon the author(s) or upon any organization with which the authors is/are associated. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85, 86-92. <https://doi.org/10.1053/j.apmr.2003.12.005>
- Alexander, K. M., i Kinney LaPier, T. L. (1998). Differences in static balance and weight distribution between normal subjects and subjects with chronic unilateral low back pain. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 28(6), 378-383. <https://doi.org/10.2519/jospt.1998.28.6.378>
- Almoslim, H. (2014). Effect of combined plyometric-weight training on speed of male students with different body fat percent. *Journal of Physical Education and Sport*, 14(1), 22-26. <https://doi.org/10.7752/jpes.2014.01004>
- Amblard, B., Cremieux, J., Marchand, A. R., i Carblanc, A. (1985). Lateral orientation and stabilization of human stance: static versus dynamic visual cues. *Experimental brain research*, 61(1), 21-37.
- Anderson, K., i Behm, D. G. (2005). The Impact of Instability Resistance Training on Balance and Stability. *Sports Medicine*, 35(1), 43-53. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535010-00004>

- Angioi, M., Metsios, G. S., Twitchett, E., Koutedakis, Y., i Wyon, M. (2009). Association between selected physical fitness parameters and esthetic competence in contemporary dancers. *Journal of dance medicine & science: official publication of the International Association for Dance Medicine & Science*, 13(4), 115-123.
- Apolo Arenas, M. D. (2016). *Análisis y valoración del control postural mediante indicadores basados en acelerometría. Propuesta de aplicación en hipoterapia*. Universidad de Extremadura.
- Araujo, S., Cohen, D., i Hayes, L. (2015). Six Weeks of Core Stability Training Improves Landing Kinetics Among Female Capoeira Athletes: A Pilot Study. *Journal of Human Kinetics*, 45(1), 27-37. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0004>
- Assaiante, C. (1998). Development of locomotor balance control in healthy children. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 22(4), 527-532. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(97\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(97)00040-7)
- Assaiante, C., i Amblard, B. (1995). An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Human Movement Science*, 14(1), 13-43. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(94\)00048-J](https://doi.org/10.1016/0167-9457(94)00048-J)
- Assaiante, C., Mallau, S., Viel, S., Jover, M., i Schmitz, C. (2005). Development of postural control in healthy children: A functional approach. *Neural Plasticity*, 12(2-3), 109-118. <https://doi.org/10.1155/NP.2005.109>
- Asseman, F., Caron, O., i Crémieux, J. (2004). Is there a transfer of postural ability from specific to unspecific postures in elite gymnasts? *Neuroscience Letters*, 358(2), 83-86. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2003.12.102>
- Asseman, F., Caron, O., i Crémieux, J. (2008). Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? *Gait and Posture*, 27(1), 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.01.004>
- Ávila-Carvalho, L., Klentrou, P., da Luz Palomero, M., i Lebre, E. (2012). Body composition profile of elite group rhythmic gymnasts. *Science of gymnastics Journal*, 4(1), 21.
- Ayán-Pérez, C., Cancela-Carral, J. M., Lago-Ballesteros, J., i Martínez-Lemos, I. (2017). Reliability of Sargent Jump Test in 4- to 5-Year-Old Children. *Perceptual and Motor Skills*, 124(1), 39-57. <https://doi.org/10.1177/0031512516676174>
- Azevedo, D. C., Lauria, A. C., Pereira, A. R. S., Andrade, G. T., Ferreira, M. L., Ferreira, P. H., i Van Dillen, L. (2013). Intraexaminer and interexaminer reliability of pressure biofeedback unit for assessing lumbopelvic stability during 6 lower limb movement tests. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 36(1), 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.12.008>
- Baldaço, F. O., Cadó, V. P., Souza, J. de, Mota, C. B., i Lemos, J. C. (2010). Análise do treinamento proprioceptivo no equilíbrio de atletas de futsal feminino. *Fisioterapia em Movimento*, 23(2), 183-192.

- Barr, K. P., Griggs, M., i Cadby, T. (2007). Lumbar stabilization: a review of core concepts and current literature, part 2. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 86(1), 72-80.
- Bassett, S., i Leach, L. (2011). The effect of an eight-week training programme on core stability in female junior elite gymnasts. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance*, 17(3), 9-19. <https://doi.org/10.4314/ajpherd.v17i3.68067>
- Batista, A., Garganta, R., i Ávila-Carvalho, L. (2017). Strength in young rhythmic gymnasts. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(4), 1162-1175. <https://www.redalyc.org/pdf/3010/301054071003.pdf>
- Batista, A., Garganta, R., i Ávila-Carvalho, L. (2019). Morphological Characteristics and Biological Maturation of Brazilian and Portuguese Gymnasts. *International Journal of Morphology*, 37(2).
- Batista, A., Lebre, E., i Ávila-Carvalho, L. (2016). Explosive power of lower limbs in rhythmic gymnastics athletes in different competitive levels. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 30(1), 41-50. <https://doi.org/10.1590/1807-55092016000100041>
- Bavli, Ö., i Koç, C. B. (2018). Effect of Different Core Exercises Applied during the Season on Strength and Technical Skills of Young Footballers. *Journal of Education and Training Studies*, 6(5), 72-76.
- Baxter-Jones, A. D. G., Eisenmann, J. C., i Sherar, L. B. (2005). Controlling for maturation in pediatric exercise science. *Pediatric Exercise Science*, 17(1), 18-30.
- Behm, D. G., Anderson, K., i Curnew, R. S. (2002). Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(3), 416-422.
- Behm, D. G., Drinkwater, E. J., Willardson, J. M., i Cowley, P. M. (2010). The use of instability to train the core musculature. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35(1), 91-108. <https://doi.org/10.1139/H09-127>
- Ben Kibler, W. (1995). Biomechanical Analysis of the Shoulder During Tennis Activities. *Clinics in Sports Medicine*, 14(1), 79-85. [https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(20\)30259-3](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(20)30259-3)
- Bencke, J., Damsgaard, R., Saekmose, A., Jørgensen, P., Jørgensen, K., i Klausen, K. (2002). Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, tennis and swimming. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(3), 171-178. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01128.x>
- Bennell, K. L. (2001). Changes in hip and ankle range of motion and hip muscle strength in 8-11 year old novice female ballet dancers and controls: a 12 month follow up study. *British Journal of Sports Medicine*, 35(1), 54-59. <https://doi.org/10.1136/bjism.35.1.54>

- Bergeron, M. F., Mountjoy, M., Armstrong, N., Chia, M., Côté, J., Emery, C. A., Faigenbaum, A. D., Hall, G., Kriemler, S., Léglise, M., Malina, R. M., Pensgaard, A. M., Sanchez, A., Soligard, T., Sundgot-Borgen, J., Van Mechelen, W., Weissensteiner, J. R., i Engebretsen, L. (2015). International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 843-851. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094962>
- Bergmark, A. (1989). Stability of the lumbar spine. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 60(sup230), 1-54. <https://doi.org/10.3109/17453678909154177>
- Beunen, G., i Malina, R. M. (2008). Growth and biologic maturation: Relevance to athletic performance. En *The Young Athlete* (Vol. 1, p. 3-17). Blackwell Publishing Oxford. <https://doi.org/10.1002/9780470696255.ch1>
- Beunen, G., i Thomis, M. (2000). Muscular Strength Development in Children and Adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 12(2), 174-197. <https://doi.org/10.1123/pes.12.2.174>
- Bienfait, M. (2006). *Bases fisiológicas de la terapia manual y de la osteopatía*. Editorial Paidotribo.
- Bishop, D. C., Smith, R. J., Smith, M. F., i Rigby, H. E. (2009). Effect of plyometric training on swimming block start performance in adolescents. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 2137-2143. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b866d0>
- Blaine, T., Petiot, B., i Salmela, J. H. (1987). *World identification systems for gymnastic talent*. Sport Psyche Eds.
- Blimkie, C. J. R. (1989). Age and sex associated variation in strength during childhood: anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinological, genetic and physical activity correlates. En *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine, vol 2. Youth, Exercise and Sport* (Vol. 2, p. 99-163).
- Bobo-Arce, M. (2002). *El juicio deportivo en gimnasia rítmica. Una propuesta de evaluación basada en indicadores de rendimiento*. Universidade da Coruña.
- Bobo-Arce, M., i Méndez-Rial, B. (2013). Determinants of competitive performance in rhythmic gymnastics. a review. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(3 PROC), 711-727. <https://doi.org/10.4100/jhse.2013.8.Proc3.18>
- Bobo-Arce, M., i Sierra-Palmeiro, E. (1998). *A Ximnasia rítmica deportiva: Adestramento e competicion*. Lea.
- Bodo-Schmid, A. (1985). *Gimnasia rítmica deportiva*. Editorial Hispano Europea.
- Bogdanis, G. C., Donti, O., Papia, A., Donti, A., Apostolidis, N., i Sands, W. A. (2019). Effect of plyometric training on jumping, sprinting and change of direction speed in child female athletes. *Sports*, 7(5), 116. <https://doi.org/10.3390/sports7050116>
- Bompa, T. O. (2004). *Entrenamiento de la potencia aplicado a los deportes: la pliometría para el desarrollo de la máxima potencia* (Vol. 310). Inde.

- Bompa, T. O. (2005). *Entrenamiento para jóvenes deportistas*. Editorial Hispano Europea.
- Bompa, T. O., i Buzzichelli, C. A. (2017). *Periodización del entrenamiento deportivo*. Paidotribo.
- Bonitch, J. (2006). Evolución de la fuerza muscular relacionada con la producción y aclaramiento de lactato en sucesivos combates de judo. En *Granada: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*.
- Borghuis, J., Hof, A. L., i Lemmink, K. A. P. M. (2008). The Importance of Sensory-Motor Control in Providing Core Stability. *Sports Medicine*, 38(11), 893-916. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838110-00002>
- Bortolami, S. B., Dizio, P., Rabin, E., i Lackner, J. R. (2003). Analysis of human postural responses to recoverable falls. *Experimental brain research*, 151(3), 387-404.
- Bosco, C., Luhtanen, P., i Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(2), 273-282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Bouisset, S., Richardson, J., i Zattara, M. (2000a). Are amplitude and duration of anticipatory postural adjustments identically scaled to focal movement parameters in humans? *Neuroscience Letters*, 278(3), 153-156. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(99\)00912-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00912-X)
- Bouisset, S., Richardson, J., i Zattara, M. (2000b). Do anticipatory postural adjustments occurring in different segments of the postural chain follow the same organisational rule for different task movement velocities, independently of the inertial load value? *Experimental Brain Research*, 132(1), 79-86. <https://doi.org/10.1007/s002219900228>
- Bouteraa, I., Negra, Y., Shephard, R. J., i Chelly, M. S. (2020). Effects of Combined Balance and Plyometric Training on Athletic Performance in Female Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(7), 1967-1973. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002546>
- Boyle, M. (2016). *New functional training for sports*. Human Kinetics.
- Boz, H. K. (2020). Investigation of Antropometric and Performance Responses of Core Exercises in Volleyball Players. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 9(6), 55-63.
- Brady, T. A., Cahill, B. R., i Bodnar, L. M. (1982). Weight training-related injuries in the high school athlete. *The American Journal of Sports Medicine*, 10(1), 1-5. <https://doi.org/10.1177/036354658201000101>
- Breinbauer, H. A. (2016). Evaluación vestibular en 2016. Puesta al día. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(6), 863-871. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2016.09.017>
- Briggs, R. C., Gossman, M. R., Birch, R., Drews, J. E., i Shaddeau, S. A. (1989). Balance Performance Among Noninstitutionalized Elderly Women. *Physical Therapy*, 69(9), 748-756. <https://doi.org/10.1093/ptj/69.9.748>

- Brittenham, D., i Brittenham, G. (1997). *Stronger abs and back*. Human Kinetics.
- Buchanan, C. M., Eccles, J. S., i Becker, J. B. (1992). Are adolescents the victims of raging hormones? Evidence for activational effects of hormones on moods and behavior at adolescence. *Psychological Bulletin*, 111(1), 62-107. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.111.1.62>
- Burton, A. W., i Davis, W. E. (1992). Optimizing the Involvement and Performance of Children with Physical Impairments in Movement Activities. *Pediatric Exercise Science*, 4(3), 236-248. <https://doi.org/10.1123/pes.4.3.236>
- Bustillo Casero, P. (2021). *Efectos de las tareas dobles en el rendimiento y aprendizaje motor en niños*. Universitat de Valencia.
- Cabrejas, C., Morales, J., Solana-Tramunt, M., Nieto-Guisado, A., Badiola-Zabala, A., i Campos-Rius, J. (2022). Does 8 Weeks of Integrated Functional Core and Plyometric Training Improve Postural Control Performance in Young Rhythmic Gymnasts? *Motor Control*, 1-23. <https://doi.org/10.1123/mc.2022-0046>
- Cabrejas, C., Solana-Tramunt, M., Morales, J., Campos-Rius, J., Ortegón, A., Nieto-Guisado, A., i Carballeira, E. (2022). The Effect of Eight-Week Functional Core Training on Core Stability in Young Rhythmic Gymnasts: A Randomized Clinical Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3509. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063509>
- Cagigal, J. M. (1996). Obras Selectas v. II. *Madrid: Comité Olímpico Español/Consejo Superior de Deportes*.
- Calavalle, A. R., Sisti, D., Rocchi, M. B. L., Panebianco, R., Del Sal, M., i Stocchi, V. (2008). Postural trials: Expertise in rhythmic gymnastics increases control in lateral directions. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 643-649. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0815-6>
- Cambiella Pereira, C., i Martínez Gorroño, M. . E. (2020). Origen y evolución de la gimnasia rítmica masculina: Un camino hacia la igualdad de derechos. *Citius, Altius, Fortius*, 13(2), 37-46. <https://doi.org/10.15366/citius2020.13.2.005>
- Canalda, A. (1998). *Gimnasia ritmica deportiva: teoría y práctica*. Editorial Paidotribo.
- Caraffa, A., Cerulli, G., Projetti, M., Aisa, G., i Rizzo, A. (1996). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 4(1), 19-21. <https://doi.org/10.1007/BF01565992>
- Cardinale, M., Newton, R. U., i Nosaka, K. (2011). *Strength and Conditioning: Biological Principles and Practical Applications*. John Wiley & Sons.
- Caron, O., Gelat, T., Rougier, P., i Blanchi, J. P. (2000). A comparative analysis of the center of gravity and center of pressure trajectory path lengths in standing posture: An estimation of active stiffness. *Journal of Applied Biomechanics*, 16(3), 234-247. <https://doi.org/10.1123/jab.16.3.234>

- Castillo, A. B., Carmona, C. D. G., Reche, P., Gil, P. G., i Ortega, J. P. (2018). Valoración de la estabilidad del tronco mediante un dispositivo inercial. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 33, 199-203.
- Čeklić, U., Šarabon, N., i Kozinc, Ž. (2022). Postural Control in Unipedal Quiet Stance in Young Female Gymnasts and the Effects of Training with Consideration of Transient Behavior of Postural Sway. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 982. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020982>
- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., i Shephard, R. J. (2010). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump-and sprint performance of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2670-2676. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e2728f>
- Chena Sinovas, M., Pérez-López, A., Álvarez Valverde, I., Bores Cerezal, A., Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J. A., i Valadés Cerrato, D. (2015). Influencia de la composición corporal sobre el rendimiento en salto vertical dependiendo de la categoría de la formación y la demarcación en futbolistas. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1), 299-307.
- Cherni, Y., Jlid, M. C., Mehrez, H., Shephard, R. J., Paillard, T., Chelly, M. S., i Hermassi, S. (2019). Eight Weeks of Plyometric Training Improves Ability to Change Direction and Dynamic Postural Control in Female Basketball Players. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00726>
- Chimera, N. J., Swanik, K. A., Swanik, C. B., i Straub, S. J. (2004). Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes. *Journal of athletic training*, 39(1), 24.
- Cholewicki, J., Greene, H. S., Polzhofer, G. K., Galloway, M. T., Shah, R. A., i Radebold, A. (2002). Neuromuscular Function in Athletes Following Recovery From a Recent Acute Low Back Injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 32(11), 568-575. <https://doi.org/10.2519/jospt.2002.32.11.568>
- Cholewicki, J., i McGill, S. M. (1996). Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clinical biomechanics*, 11(1), 1-15.
- Cholewicki, J., Silfies, S. P., Shah, R. A., Greene, H. S., Reeves, P. N., Alvi, K., i Goldberg, B. (2005). Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. *Spine*, 30(23), 2614-2620. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000188273.27463.bc>
- Ciullo, J. V, i Jackson, D. W. (1985). Pars interarticularis stress reaction, spondylolysis, and spondylolisthesis in gymnasts. *Clinics in sports medicine*, 4(1), 95-110.
- Claessens, A. L., Lefevre, J., Beunen, G., i Malina, R. M. (1999). The contribution of anthropometric characteristics to performance scores in elite female gymnasts. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39(4), 355-360.
- Clark, R. A., Bryant, A. L., Pua, Y., McCrory, P., Bennell, K., i Hunt, M. (2010). Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait & Posture*, 31(3), 307-310. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.11.012>

- Clemente, F., Ramirez-Campillo, R., Castillo, D., Raya-González, J., Rico-González, M., Oliveira, R., Rosemann, T., i Knechtle, B. (2022). Effects of plyometric jump training on soccer player's balance: A systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials. *Biology of Sport*. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.107484>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Comité Olímpico Internacional. (2021). *Juegos Olímpicos de Verano de Tokio 2020 - Atletas, Medallas y Resultados*. <https://olympics.com/es/olympic-games/tokyo-2020>
- Colston, M. A. (2012). Core Stability, Part 1: Overview of the Concept. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 17(1), 8-13. <https://doi.org/10.1123/ijatt.17.1.8>
- Comerford, M. J., i Mottram, S. L. (2001). Functional stability re-training: principles and strategies for managing mechanical dysfunction. *Manual Therapy*, 6(1), 3-14. <https://doi.org/10.1054/math.2000.0389>
- Cometti, G. (2019). *Manual de pliometría*. Paidotribo.
- Contreras, B., i Schoenfeld, B. (2011). To crunch or not to crunch: An evidence-based examination of spinal flexion exercises, their potential risks, and their applicability to program design. *Strength and Conditioning Journal*, 33(4), 8-18. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3182259d05>
- Cook, G., i Fields, K. (1997). Functional training for the torso. *Strength & Conditioning Journal*, 19(2), 14-19.
- Cordo, P. J., i Nashner, L. M. (1982). Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *Journal of Neurophysiology*, 47(2), 287-302. <https://doi.org/10.1152/jn.1982.47.2.287>
- Cormie, P., McBride, J. M., i Mccauley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 177-186. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181889324>
- Cosio-Lima, L. M., Reynolds, K. L., Winter, C., Paolone, V., i Jones, M. T. (2003). Effects of physioball and conventional floor exercises on early phase adaptations in back and abdominal core stability and balance in women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 721-725.
- Coxon, R. V. (1979). Control of movement and posture. En *Nature* (Vol. 281, Número 5730, p. 411). Elsevier. <https://doi.org/10.1038/281411b0>
- Cresswell, A. G., Oddsson, L. I. E., i Thorstensson, A. (1994). The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. *Experimental Brain Research*, 98(2), 336-341. <https://doi.org/10.1007/BF00228421>

- Cumberworth, V. L., Patel, N. N., Rogers, W., i Kenyon, G. S. (2007). The maturation of balance in children. *The Journal of Laryngology & Otology*, 121(5), 449-454. <https://doi.org/10.1017/S0022215106004051>
- Cupisti, A., D'Alessandro, C., Evangelisti, I., Umbri, C., Rossi, M., Galetta, F., Panicucci, E., Pegna, S. L., i Piazza, M. (2007). Injury survey in competitive sub-elite rhythmic gymnasts: results from a prospective controlled study. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 47(2), 203.
- da Silva, R. A., Bilodeau, M., Parreira, R. B., Teixeira, D. C., i Amorim, C. F. (2013). Age-related differences in time-limit performance and force platform-based balance measures during one-leg stance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(3), 634-639. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.01.008>
- Deliagina, T. G., Zelenin, P. V, Beloozerova, I. N., i Orlovsky, G. N. (2007). Nervous mechanisms controlling body posture. En *Physiology and Behavior* (Vol. 92, Números 1-2, p. 148-154). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.05.023>
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Brasili, P., Merni, F., Piazza, M., Toselli, S., Ventrella, A. R., i Guidetti, L. (2008). Leaping ability and body composition in rhythmic gymnasts for talent identification. *J Sports Med Phys Fitness*, 48(3), 341-346.
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Gallotta, M. C., Videira, M., Piazza, M., i Guidetti, L. (2010). Preexercise Static Stretching Effect on Leaping Performance in Elite Rhythmic Gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 1995-2000. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e34811>
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Monteiro, M. D., Pappalardo, A., Piazza, M., i Guidetti, L. (2009). Factors influencing performance of competitive and amateur rhythmic gymnastics—Gender differences. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(3), 411-416. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.01.006>
- Diener, H. C., i Dichgans, J. (1988). Chapter 22 On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Progress in Brain Research*, 76(C), 253-262. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64512-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64512-4)
- Dobrijević, S., Dabović, M., i Moskovljević, L. (2014). The analysis of motor abilities development trend conducted on young girls engaged in practicing rhythmic gymnastics. *Fizicka kultura*, 68(2), 136-147. <https://doi.org/10.5937/fizkul1402136D>
- Dobrijević, S., Moskovljević, L., i Dabović, M. (2016). The influence of proprioceptive training on young rhythmic gymnasts balance. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 247-255.
- Donti, O., Bogdanis, G. C., Kritikou, M., Donti, A., i Theodorakou, K. (2016). The relative contribution of physical fitness to the technical execution score in youth rhythmic gymnastics. *Journal of Human Kinetics*, 51(1), 143-152. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0183>

- Douda, H. T., Avloniti, A. A., Kasabalis, A., i Tokmakidis, S. P. (2007). Adaptations on Physical Performance Characteristics after a 6-Month Specific Training in Rhythmic Gymnasts. *Medical Problems of Performing Artists*, 22(1), 10-17. <https://doi.org/10.21091/mppa.2007.1003>
- Douda, H. T., Tokmakidis, S. P., i Tsigilis, N. (2002). Effects of specific training on muscle strenght and flexibility of thythmic sports and artistic female gymnasts. *Coaching and Sport Science Journal*, 4, 23-27.
- Douda, H. T., Toubekis, A. G., Avloniti, A. A., i Tokmakidis, S. P. (2008). Physiological and Anthropometric Determinants of Rhythmic Gymnastics Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 41-54. <https://doi.org/10.1123/ijssp.3.1.41>
- Drinkwater, E. J., Pritchett, E. J., i Behm, D. G. (2007). Effect of instability and resistance on unintentional squat-lifting kinetics. *International journal of sports physiology and performance*, 2(4), 400-413.
- Duarte, M., i Freitas, S. M. S. F. (2010). Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 14(3), 183-192. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552010000300003>
- Duclos, N., Duclos, C., i Mesure, S. (2017). Control postural: fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 38(2), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S1293-2965\(17\)83662-8](https://doi.org/10.1016/S1293-2965(17)83662-8)
- Dumas, R., Chèze, L., i Verriest, J.-P. (2007). Adjustments to McConville et al. and Young et al. body segment inertial parameters. *Journal of Biomechanics*, 40(3), 543-553. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.02.013>
- Durall, C. J., Udermann, B. E., Johansen, D. R., Gibson, B., Reineke, D. M., i Reuteman, P. (2009). The Effects of Preseason Trunk Muscle Training on Low-Back Pain Occurrence in Women Collegiate Gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 86-92. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818b93ac>
- Ebenbichler, G. R., Oddsson, L. I. E., Kollmitzer, J., i Erim, Z. (2001). Sensory-motor control of the lower back: implications for rehabilitation. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(11), 1889-1898.
- Eils, E., i Rosenbaum, D. (2001). A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(12), 1991-1998. <https://doi.org/10.1097/00005768-200112000-00003>
- Ekstrom, R. A., Donatelli, R. A., i Carp, K. C. (2007). Electromyographic Analysis of Core Trunk, Hip, and Thigh Muscles During 9 Rehabilitation Exercises. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37(12), 754-762. <https://doi.org/10.2519/jospt.2007.2471>

- Enciclopedia de l'esport català*. (2014). Enciclopèdia Catalana Consell Català de l'Esport. <https://www.enciclopedia.cat/esportpedia>
- Eskiyecek, C. G., Gül, M., Uludağ, B., i Gül, G. K. (2020). The Effect of 8-Week Core Exercises Applied to 10-12 Age Male Swimmers on Swimming Performance. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 9(3), 213-220.
- Esteban-García, P. (2015). *Análisis de los efectos de 12 semanas de entrenamiento en la zona central core, en jugadoras de voleibol y gimnastas de rítmica y su influencia en el dolor de espalda lumbar*. 1-407.
- Esteban-García, P., Jiménez-Díaz, J. F., Abián-Vicén, J., Bravo-Sánchez, A., i Rubio-Arias, J. Á. (2021). Effect of 12 Weeks Core Training on Core Muscle Performance in Rhythmic Gymnastics. *Biology*, 10(11), 1210. <https://doi.org/10.3390/biology10111210>
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., MacDonald, J., i Myer, G. D. (2016). Citius, Altius, Fortius: Beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. En *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 50, Número 1, p. 3-7). BMJ Publishing Group Ltd and British Association of Sport and Exercise Medicine. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094621>
- Faries, M. D., i Greenwood, M. (2007). Core training: stabilizing the confusion. *Strength and Conditioning Journal*, 29(2), 10.
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., i Buckenmeyer, P. (2000). Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 470-476.
- Faustino, D., Vieira, A., Candotti, C. T., Detogni Schmit, E. F., Rios Xavier, M. F., Lunelli, V. A., i Loss, J. F. (2021). Repeatability and reproducibility of the pressure biofeedback unit. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 27, 560-564. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.04.017>
- Federació Catalana de Gimnàstica. (2021). *Federació Catalana de Gimnàstica*. <https://gimcat.com/normativagr.html?especialitat=gr&id=51>
- Federación Internacional de Gimnasia. (2018). *Código de puntuación 2017-20. Gimnasia Rítmica*. https://www.gymnastics.sport/publicdir/rules/files/es_RG_CoP_2017-2020_with_Errata_Dec_17.pdf
- Fernández del Valle, A. (1996). *Gimnasia rítmica deportiva: aspectos y evolución*. Lib Deportivas Esteban Sanz.
- Fischetti, F., Vilardi, A., Cataldi, S., i Greco, G. (2018). Effects of plyometric training program on speed and explosive strength of lower limbs in young athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 18(4), 2476-2482. <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.04372>
- Fleck, S. J., i Kraemer, W. J. (2014). *Designing resistance training programs* (4th ed.). Human Kinetics.

- Forget, R., i Lamarre, Y. (1990). Anticipatory postural adjustment in the absence of normal peripheral feedback. *Brain Research*, 508(1), 176-179. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(90\)91135-4](https://doi.org/10.1016/0006-8993(90)91135-4)
- Fort Vanmeerhaeghe, A. (2010). *Valoració i entrenament del control neuromuscular per a la millora del rendiment esportiu*. Universitat Ramon Llull.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., i Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109-115. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2001\)015<0109:ANATME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2001)015<0109:ANATME>2.0.CO;2)
- Foudriat, B. A., Di Fabio, R. P., i Anderson, J. H. (1993). Sensory organization of balance responses in children 3-6 years of age: a normative study with diagnostic implications. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 27(3), 255-271. [https://doi.org/10.1016/0165-5876\(93\)90231-Q](https://doi.org/10.1016/0165-5876(93)90231-Q)
- Fraga Silva, G., Ribeiro Almeida, A., Andrade Rodrigues, S., Szmuchrowski, L. A., Dias da Silva, R. Â., i Motta Drummond, M. D. (2018). The Acute Effect of a Sport-Specific Stretching Routine on the Performance of Vertical Jumps in Rhythmic Gymnasts. *Journal of Exercise Physiology*, 21(2), 30-39.
- França, F. R., Burke, T. N., Caffaro, R. R., Ramos, L. A., i Marques, A. P. (2012). Effects of muscular stretching and segmental stabilization on functional disability and pain in patients with chronic low back pain: A randomized, controlled trial. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 35(4), 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.04.012>
- Gaigole, R., Patil, S. P., i Th, M. P. (2016). Plyometric training effect on flexibility in female pubertal gymnasts. *International Journal of Therapies and Rehabilitation Research*, 5(1), 37-45. <https://doi.org/10.5455/ijtrr.000000114>
- Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models.[jamovi module]*. Version.
- Gambetta, V., Gray, G., Radcliffe, J., i Soncrant, J. (2002). *Gambetta Method: A Common Sense Guide to Functional Training for Athletic Performance*. Gambetta Sports Training Systems.
- Gamble, P. (2007). An integrated approach to training core stability. *Strength and conditioning journal*, 29(1), 58.
- Gandia Delegido, S. (2020). *Influencia de la tarea dual y la restricción sensorial sobre el control postural en los adolescentes de 13 a 18 años*. Universitat de València.
- Garrick, J. G., i Requa, R. K. (1980). Epidemiology of women's gymnastics injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 8(4), 261-264. <https://doi.org/10.1177/036354658000800409>
- Gateva, M. (2013). Investigation of the strength abilities of rhythmic gymnasts. *Research in Kinesiology*, 41(2), 245-248.

- Gateva, M. (2016). Research on the balance stability of rhythmic gymnastics competitors. *Research in Kinesiology*, 44(1), 86-92.
- Gautier, G., Thouvarcq, R., i Larue, J. (2008). Influence of Experience on Postural Control: Effect of Expertise in Gymnastics. *Journal of Motor Behavior*, 40(5), 400-408. <https://doi.org/10.3200/JMBR.40.5.400-408>
- Georgopoulos, N. A., Markou, K. B., Theodoropoulou, A., Paraskevopoulou, P., Varaki, L., Kazantzi, Z., Leglise, M., i Vagenakis, A. G. (1999). Growth and Pubertal Development in Elite Female Rhythmic Gymnasts. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 84(12), 4525-4530. <https://doi.org/10.1210/jcem.84.12.6177>
- Georgopoulos, N. A., Markou, K. B., Theodoropoulou, A., Vagenakis, G. A., Benardot, D., Leglise, M., Dimopoulos, J. C. A., i Vagenakis, A. G. (2001). Height Velocity and Skeletal Maturation in Elite Female Rhythmic Gymnasts. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 86(11), 5159-5164. <https://doi.org/10.1210/jcem.86.11.8041>
- Gibbons, S. G. T., i Comerford, M. J. (2001). Strength versus stability Part II: Limitations and Benefits. *Orthopaedic Division Review*.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., i Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863. <https://doi.org/10.1038/13158>
- González-Badillo, J. J., i Gorostiaga, E. M. (1995). Fundamentos del entrenamiento de fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. *Inde. Barcelona*. <https://es.scribd.com/document/440906279/Fundamentos-Del-Entrenamiento-de-La-Fuerza-Aplicacion-Al-Alto-Rendimiento-Deportivo-2º-Edicion>
- González-Badillo, J. J., i Ribas-Serna, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza* (Vol. 308). Inde.
- González Sepúlveda, E. T., Martínez Díaz, V. A., i Olivares González, M. A. (2019). *Efecto de un protocolo de entrenamiento de musculatura estabilizadora lumbopélvica de seis semanas en el rendimiento del salto vertical y balance dinámico en gimnastas mujeres entre 10 y 12 años de edad*. Universidad Finis Terrae.
- Gram, M. C. D., Clarsen, B., i Bø, K. (2021). Injuries and illnesses among competitive Norwegian rhythmic gymnasts during preseason: a prospective cohort study of prevalence, incidence and risk factors. *British Journal of Sports Medicine*, 55(4), 231-236. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102315>
- Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., Muehlbauer, T., Prieske, O., Puta, C., Gollhofer, A., i Behm, D. G. (2016). Effects of resistance training in youth athletes on muscular fitness and athletic performance: A conceptual model for long-term athlete development. En *Frontiers in Physiology* (Vol. 7, Número MAY, p. 164). Frontiers. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00164>

- Granacher, U., Puta, C., Gabriel, H. H. W., Behm, D. G., i Arampatzis, A. (2018). Neuromuscular Training and adaptations in youth athletes. *Frontiers in physiology*, 9, 1264.
- Grande, I., Bautista Reyes, A., Figueroa, J., Hervás, M., Hontoria Galan, M., i San Martín, M. (2007). ¿Tiene la valoración genérica de la capacidad de salto relación directa con el rendimiento gimnástico? *III Congreso Internacional Universitario de Ciencias de la Salud y el Deporte*.
- Grande, I., Bautista Reyes, A., i Hontoria Galan, M. (2008). Applied Biomechanics to the design of a tool for rhythmic gymnastics to evaluate jumps taking account the International Code of Points. *Apunts. Educació Física i Esports*, 93, 55-61.
- Grenier, S. G., i McGill, S. M. (2007a). Quantification of lumbar stability by using 2 different abdominal activation strategies. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 88(1), 54-62.
- Grenier, S. G., i McGill, S. M. (2007b). Quantification of Lumbar Stability by Using 2 Different Abdominal Activation Strategies. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(1), 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.10.014>
- Grigoriou, C. (2015). Improving the pirouettes execution technique in rhythmic gymnastics by means of balance development programs. *Gymnasium: Scientific Journal of Education, Sports & Health*, 16(1).
- Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A., i Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in Neuroscience*, 11(NOV), 612. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00612>
- Haff, G. G., i Nimphius, S. (2012). Training principles for power. *Strength and Conditioning Journal*, 34(6), 2-12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31826db467>
- Haff, G. G., Stone, M., O'Bryant, H. S., Harman, E., Dinan, C., Johnson, R., i Han, K. H. (1997). Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(4), 269-272. <https://doi.org/10.1519/00124278-199711000-00014>
- Haff, G. G., Whitley, A., i Potteiger, J. A. (2001). A Brief Review: Explosive Exercises and Sports Performance. *Strength and Conditioning Journal*, 23(3), 13-20. [https://doi.org/10.1519/1533-4295\(2001\)023<0013:abreea>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4295(2001)023<0013:abreea>2.0.co;2)
- Hakkinen, K. (1994). Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining, and immobilization. *Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine*, 6(3), 161-198.
- Hakkinen, K., Alen, M., i Komi, P. V. (1984). Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53(2), 97-105. <https://doi.org/10.1007/BF00422570>

- Hakkinen, K., Komi, P. V., i Alen, M. (1985). Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4), 587-600. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1985.tb07760.x>
- Hakkinen, K., Mero, A., i Kauhanen, H. (1989). Specificity of endurance, sprint and strength training on physical performance capacity in young athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 29(1), 27-35.
- Hall, E., Bishop, D. C., i Gee, T. I. (2016). Effect of plyometric training on handspring vault performance and functional power in youth female gymnasts. *PLoS ONE*, 11(2), e0148790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148790>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Suzuki, K., Shephard, R. J., i Chelly, M. S. (2020). Effects of Upper and Lower Limb Plyometric Training Program on Components of Physical Performance in Young Female Handball Players. *Frontiers in Physiology*, 11, 1028. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01028>
- Hanebuth, O. (1968). *El ritmo en la educación física: bases para perfeccionar el movimiento*. Editorial Paidós.
- Harringe, M. L., Nordgren, J. S., Arvidsson, I., i Werner, S. (2007). Low back pain in young female gymnasts and the effect of specific segmental muscle control exercises of the lumbar spine: A prospective controlled intervention study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 15(10), 1264-1271. <https://doi.org/10.1007/s00167-007-0289-9>
- Hasegawa, I. (2004). Using the overhead squat for core development. *NSCA Perform Train J*, 3(6), 19-21.
- Hassan, I. H. (2017). The effect of core stability training on dynamic balance and smash stroke performance in badminton players. *International Journal of Sports Science and Physical Education*, 2(3), 44-52.
- Hay, J. G. (1993). *The Biomechanics of Sports Techniques* (4th ed.). Prentice-Hall.
- He, Y. (2022). Core strength training on physical conditioning of college male soccer players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 28(5), 501-504. https://doi.org/10.1590/1517-8692202228052022_0063
- Hebert, J. J., Koppenhaver, S. L., Magel, J. S., i Fritz, J. M. (2010). The relationship of transversus abdominis and lumbar multifidus activation and prognostic factors for clinical success with a stabilization exercise program: a cross-sectional study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 91(1), 78-85.
- Hedrick, A. (2000). Training the trunk for improved athletic performance. *Strength & Conditioning Journal*, 22(3), 50.

- Henry, S. M., Hitt, J. R., Jones, S. L., i Bunn, J. Y. (2006). Decreased limits of stability in response to postural perturbations in subjects with low back pain. *Clinical Biomechanics*, 21(9), 881-892. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.04.016>
- Herbert, R. D. (2002). Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ*, 325(7362), 468-468. <https://doi.org/10.1136/bmj.325.7362.468>
- Hewett, T. E. (2000). Neuromuscular and hormonal factors associated with knee injuries in female athletes: Strategies for intervention. En *Sports Medicine* (Vol. 29, Número 5, p. 313-327). Springer. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029050-00003>
- Hewett, T. E., Ford, K. R., i Myer, G. D. (2006). Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 490-498. <https://doi.org/10.1177/0363546505282619>
- Hewett, T. E., Lindenfeld, T. N., Riccobene, J. V, i Noyes, F. R. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. *The American journal of sports medicine*, 27(6), 699-706.
- Hewett, T. E., Stroupe, A. L., Nance, T. A., i Noyes, F. R. (1996). Plyometric training in female athletes: Decreased impact forces and increased hamstring torques. *American Journal of Sports Medicine*, 24(6), 765-773. <https://doi.org/10.1177/036354659602400611>
- Hibbs, A. E., Thompson, K. G., French, D., Wrigley, A., i Spears, I. (2008). Optimizing Performance by Improving Core Stability and Core Strength. *Sports Medicine*, 38(12), 995-1008. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00004>
- Hides, J. A., Jull, G. A., i Richardson, C. A. (2001). Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain. *Spine*, 26(11), e243-e248.
- Hirashima, M., Kadota, H., Sakurai, S., Kudo, K., i Ohtsuki, T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sports Sciences*, 20(4), 301-310. <https://doi.org/10.1080/026404102753576071>
- Hochmuth, S. (1967). *Biomechanics. I. 1st int. Seminar. Zurich.*
- Hodges, P. W., Cresswell, A., i Thorstensson, A. (1999). Preparatory trunk motion accompanies rapid upper limb movement. *Experimental Brain Research*, 124(1), 69-79. <https://doi.org/10.1007/s002210050601>
- Hodges, P. W. (2003). Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthopedic Clinics of North America*, 34(2), 245-254. [https://doi.org/10.1016/S0030-5898\(03\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0030-5898(03)00003-8)
- Hodges, P. W., i Moseley, G. L. (2003). Pain and motor control of the lumbopelvic region: effect and possible mechanisms. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(4), 361-370. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(03\)00042-7](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(03)00042-7)

- Hodges, P. W., i Richardson, C. A. (1996). Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain: a motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine*, 21(22), 2640-2650.
- Hodges, P. W., i Richardson, C. A. (1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical therapy*, 77(2), 132-142.
- Hodges, P. W., i Richardson, C. A. (1998). Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb. *Journal of spinal disorders*, 11(1), 46-56.
- Holcomb, W. R., Lander, J. E., Rutland, R. M., i Wilson, G. D. (1996). The effectiveness of a modified plyometric program on power and the vertical jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(2), 89-92.
- Holm, S., Indahl, A., i Solomonow, M. (2002). Sensorimotor control of the spine. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12(3), 219-234. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(02\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(02)00028-7)
- Horak, F. B., Henry, S. M., i Shumway-Cook, A. (1997). Postural Perturbations: New Insights for Treatment of Balance Disorders. *Physical Therapy*, 77(5), 517-533. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.5.517>
- Horak, F. B., i Macpherson, J. M. (2010). *Postural orientation and equilibrium comprehensive physiology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Horak, F. B., i Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1369-1381. <https://doi.org/10.1152/jn.1986.55.6.1369>
- Horak, F. B., Nashner, L. M., i Diener, H. C. (1990). Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Experimental Brain Research*, 82(1), 167-177. <https://doi.org/10.1007/BF00230848>
- Hori, N., Newton, R. U., Kawamori, N., McGuigan, M. R., Kraemer, W. J., i Nosaka, K. (2009). Reliability of performance measurements derived from ground reaction force data during countermovement jump and the influence of sampling frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 874-882. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a00ca2>
- Hrysomallis, C. (2011). Balance Ability and Athletic Performance. *Sports Medicine*, 41(3), 221-232. <https://doi.org/10.2165/11538560-000000000-00000>
- Hsu, S.-L., Oda, H., Shirahata, S., Watanabe, M., i Sasaki, M. (2018). Effects of core strength training on core stability. *Journal of Physical Therapy Science*, 30(8), 1014-1018. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.1014>
- Hsu, Y. S., Kuan, C. C., i Young, Y. H. (2009). Assessing the development of balance function in children using stabilometry. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 73(5), 737-740. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2009.01.016>

- Hume, P. A., Hopkins, W. G., Robinson, D. M., Robinson, S. M., i Hollings, S. C. (1993). Predictors of attainment in rhythmic sportive gymnastics. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 33(4), 367-377.
- Hutchinson, M. R. (1999). Low back pain in elite rhythmic gymnasts. *Med Sci Sports Exerc*, 31(11), 1686-1688.
- Hutchinson, M. R., Tremain, L., Christiansen, J., i Beitzel, J. (1998). Improving leaping ability in elite rhythmic gymnasts. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(10), 1543-1547. <https://doi.org/10.1097/00005768-199810000-00012>
- Huxel Bliven, K. C., i Anderson, B. E. (2013). Core Stability Training for Injury Prevention. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 5(6), 514-522. <https://doi.org/10.1177/1941738113481200>
- Ibáñez, J. A. (2015). Aclaración de Términos y Conceptos Utilizados en el Entrenamiento de la Fuerza Explosiva. *Kronos: revista universitaria de la actividad física y el deporte*, 14(2), 4.
- International Gymnastics Federation . (2021). *2022-2024 Code of Points Rhythmic Gymnastics*.
- Irurtia, A., Pons, V., Busquets, A., Marina, M., Carrasco, M., i Rodríguez, L. (2009). Talla, peso, somatotipo y composición corporal en gimnastas de élite españolas (gimnasia rítmica) desde la infancia hasta la edad adulta. *Apunts. Educación física y deportes*, 1(95), 64-74.
- Ivanenko, Y., i Gurfinkel, V. S. (2018). Human Postural Control. *Frontiers in Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>
- Izquierdo, M., i Redín, M. I. (2008). *Biomecnica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte/Biomechanics and Neuromuscular Bases of Physical Activity and Sport*. Ed. Médica Panamericana.
- Jamison, S. T., McNeilan, R. J., Young, G. S., Givens, D. L., Best, T. M., i Chaudhari, A. M. W. (2012). Randomized Controlled Trial of the Effects of a Trunk Stabilization Program on Trunk Control and Knee Loading. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(10), 1924-1934. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31825a2f61>
- Jastrjemskaia, N., i Titov, Y. (1999). *Rhythmic gymnastics*. Human Kinetics 1.
- Jeu, B., i Bouet, M. (1971). Signification du sport. *Revue Française de Sociologie*, 12(2), 263. <https://doi.org/10.2307/3320493>
- Johnson, B. A., Salzberg, C. L., i Stevenson, D. A. (2011). A systematic review: Plyometric training programs for young children. En *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 25, Número 9, p. 2623-2633). LWW. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318204caa0>
- Jones, K., Bishop, P., Hunter, G., i Fleisig, G. (2001). The Effects of Varying Resistance-Training Loads on Intermediate- and High-Velocity-Specific Adaptations. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3), 349. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2001\)015<0349:TEOVRT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2001)015<0349:TEOVRT>2.0.CO;2)

- Jones, M. A., Hitchen, P. J., i Stratton, G. (2000). The importance of considering biological maturity when assessing physical fitness measures in girls and boys aged 10 to 16 years. *Annals of Human Biology*, 27(1), 57-65. <https://doi.org/10.1080/030144600282389>
- Kahle, N. L., i Gribble, P. A. (2009). Core Stability Training in Dynamic Balance Testing Among Young, Healthy Adults. *Athletic Training & Sports Health Care*, 1(2), 65-73. <https://doi.org/10.3928/19425864-20090301-03>
- Kaji, A., Sasagawa, S., Kubo, T., i Kanehisa, H. (2010). Transient Effect of Core Stability Exercises on Postural Sway During Quiet Standing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 382-388. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c06bdd>
- Kalra, S., i Roitman, J. L. (2010). Selected Abstracts From Recent Publications in Cardiopulmonary Disease Prevention and Rehabilitation. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 30(2), 137-140. <https://doi.org/10.1097/HCR.0b013e3181d6c875>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S., Hudspeth, A. J., i Mack, S. (2000). *Principles of neural science* (Vol. 4). McGraw-hill New York.
- Khelifa, R., Aouadi, R., Hermassi, S., Chelly, M. S., Jlid, M. C., Hbacha, H., i Castagna, C. (2010). Effects of a plyometric training program with and without added load on jumping ability in basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 2955-2961. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e37fbe>
- Kibler, W. Ben, Press, J. M., i Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(3), 189-198. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636030-00001>
- Kiefer, A. W., Armitano-Lago, C. N., Cone, B. L., Bonnette, S., Rhea, C. K., Cummins-Sebree, S., i Riley, M. A. (2021). Postural control development from late childhood through young adulthood. *Gait & posture*, 86, 169-173. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.02.030>
- Kioumourtzoglou, E., Derri, V., Mertzaniidou, O., i Tzetzis, G. (1997). Experience with Perceptual and Motor Skills in Rhythmic Gymnastics. *Perceptual and Motor Skills*, 84(3_suppl), 1363-1372. <https://doi.org/10.2466/pms.1997.84.3c.1363>
- Kistler Mars. (s.d.). *Force Platform software*. <https://www.kistler.com>
- Klentrou, P., i Plyley, M. (2003). Onset of puberty, menstrual frequency, and body fat in elite rhythmic gymnasts compared with normal controls. *British Journal of Sports Medicine*, 37(6), 490-494.
- Komi, P. V. (1986). Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*, 7(SUPPL. 1), 10-15. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025796>

- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1197-1206. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00064-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00064-6)
- Komi, P. V., i Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and science in sports*, 10(4), 261-265. <https://europepmc.org/article/med/750844>
- Komi, P. V., Viitasalo, J. T., Rauramaa, R., i Vihko, V. (1978). Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40(1), 45-55. <https://doi.org/10.1007/BF00420988>
- Kornecki, S., Keibel, A., i Siemieński, A. (2001). Muscular co-operation during joint stabilisation, as reflected by EMG. *European Journal of Applied Physiology*, 84(5), 453-461. <https://doi.org/10.1007/s004210100401>
- Kulund, D. N., i Töttössy, M. (1983). Warm-up, strength, and power. *Orthopedic Clinics of North America*, 14(2), 427-448.
- Kümmel, J., Kramer, A., Giboin, L. S., i Gruber, M. (2016). Specificity of Balance Training in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. En *Sports Medicine* (Vol. 46, Número 9, p. 1261-1271). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0515-z>
- Kums, T., Ereline, J., Gapeyeva, H., i Pääsuke, M. (2005). Vertical jumping performance in young rhythmic gymnasts. *Biology of Sport*, 22(3), 237-246.
- Lacour, M. (2013). Fisiología del equilibrio: de los modelos genéticos a los enfoques cognitivistas. *EMC - Podología*, 15(2), 1-8. [https://doi.org/10.1016/s1762-827x\(13\)64685-4](https://doi.org/10.1016/s1762-827x(13)64685-4)
- Lacour, M., Dupui, P., i Montoya, R. (2003). *Physiologie, Techniques, Pathologies*. Groupe de Boeck.
- Laffranchi, B. (2001). *Treinamento desportivo aplicado à ginástica rítmica*. Unopar.
- Latash, M., Levin, M., Scholz, J., i Schöner, G. (2010). Motor control theories and their applications. *Medicina*, 46(6), 382. <https://doi.org/10.3390/medicina46060054>
- Laufer, Y., Ashkenazi, T., i Josman, N. (2008). The effects of a concurrent cognitive task on the postural control of young children with and without developmental coordination disorder. *Gait & posture*, 27(2), 347-351.
- Leandro, C., Ávila-Carvalho, L., Palmeiro, E. S., i Bobo-Arce, M. (2017). Ejercicios individuales de gimnasia rítmica: Variedad y diversidad. *Apunts. Educacion Fisica y Deportes*, 128(2), 92-107. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2017/2\).128.06](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2017/2).128.06)
- Lebre, E., i Araújo, C. (2006). Manual de ginástica rítmica. En *Porto: Porto Editora*. Universidade do estado de Santa Catarina.

- Lederman, E. (2010). The myth of core stability. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 14(1), 84-98. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2009.08.001>
- Lee, H. M., Oh, S., i Kwon, J. W. (2020). Effect of Plyometric versus Ankle Stability Exercises on Lower Limb Biomechanics in Taekwondo Demonstration Athletes with Functional Ankle Instability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3665. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103665>
- Lee, S.-K. (2019). The effects of abdominal drawing-in maneuver during stair climbing on muscle activities of the trunk and legs. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(2), 224-228. <https://doi.org/10.12965/jer.1938056.028>
- Leetun, D. T., Ireland, M. L., Willson, J. D., Ballantyne, B. T., i Davis, I. M. C. (2004). Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 926-934. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000128145.75199.C3>
- Lehman, G. J. (2006). Resistance training for performance and injury prevention in golf. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 50(1), 27.
- Lesinski, M., Prieske, O., i Granacher, U. (2016). Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 50(13), 781-795.
- Liebenson, C., Karpowicz, A. M., Brown, S. H. M., Howarth, S. J., i McGill, S. M. (2009). The Active Straight Leg Raise Test and Lumbar Spine Stability. *PM&R*, 1(6), 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.03.007>
- Liemohn, W. P., Baumgartner, T. A., i Gagnon, L. H. (2005). Measuring core stability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 583-586. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2005\)19\[583:MCS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2005)19[583:MCS]2.0.CO;2)
- Lima, P. O. P., Oliveira, R. R., Moura Filho, A. G., Raposo, M. C. F., Costa, L. O. P., i Laurentino, G. E. C. (2012). Concurrent validity of the pressure biofeedback unit and surface electromyography in measuring transversus abdominis muscle activity in patients with chronic nonspecific low back pain. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 16(5), 389-395. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552012005000038>
- Lin, C.-W., You, Y.-L., Chen, Y.-A., Wu, T.-C., i Lin, C.-F. (2021). Effect of Integrated Training on Balance and Ankle Reposition Sense in Ballet Dancers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12751. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312751>
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
- Lirola Delgado, A. G. (2010). *Registro posturográfico y craneocorpográfico de las alteraciones del equilibrio producidas por el alcohol*. Universidade de Santiago de Compostela.
- Lisitskaya, T. (1995). *Gimnasia Rítmica: Deporte & Entrenamiento*. Barcelona: Editorial Paidotribo.

- Liu, L., Liu, W., i Zhang, D. (2018). An Experimental Study on the Effect of Core Stability Training on the Balance Ability of 9-10 Year Old Modern Dancer. *Journal of Panzhibhua University*, 2, 18.
- Lloyd, R. S., i Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength and Conditioning Journal*, 34(3), 61-72. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31825760ea>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., i De Ste Croix, M. B. A. (2014). Chronological age vs. biological maturation: Implications for exercise programming in youth. En *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 28, Número 5, p. 1454-1464). LWW. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>
- Lloyd, R. S., Radnor, J. M., De Ste Croix, M. B. A., Cronin, J. B., i Oliver, J. L. (2016). Changes in sprint and jump performances after traditional, plyometric, and combined resistance training in male youth pre- and post-peak height velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1239-1247. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001216>
- Long, K. L., Milidonis, M. K., Wildermuth, V. L., Kruse, A. N., i Parham, U. T. (2021). The Impact of Dance-Specific Neuromuscular Conditioning and Injury Prevention Training on Motor Control, Stability, Balance, Function and Injury in Professional Ballet Dancers: A Mixed-Methods Quasi-Experimental Study. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(2), 404. <https://doi.org/10.26603/001c.21150>
- Loram, I. D., i Lakie, M. (2002). Direct measurement of human ankle stiffness during quiet standing: the intrinsic mechanical stiffness is insufficient for stability. *The Journal of Physiology*, 545(3), 1041-1053. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.025049>
- Lukić, J. (2020). Anthropometric characteristics of rhythmic gymnasts. *Exercise and Quality of Life*, 12(2), 37-44. <https://doi.org/10.31382/eqol.201205>
- Lukose, S., i Senthilkumar, P. K. (2016). *Effect of plyometric and functional core training on selected physical fitness components, body composition and skill performance among basketball players*. Tamil Nadu physical education and sports University Chennai.
- Luo, S., Soh, K. G., Soh, K. L., Sun, H., Nasiruddin, N. J. M., Du, C., i Zhai, X. (2022). Effect of Core Training on Skill Performance Among Athletes: A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.915259>
- Ma, Y., Mazumdar, M., i Memtsoudis, S. G. (2012). Beyond Repeated-Measures Analysis of Variance. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, 37(1), 99-105. <https://doi.org/10.1097/AAP.0b013e31823ebc74>
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J. P., Tillin, N., i Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. En *European Journal of Applied Physiology* (Vol. 116, Número 6, p. 1091-1116). Springer. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>

- Maffiuletti, N. A., Bizzini, M., Widler, K., i Munzinger, U. (2010). Asymmetry in quadriceps rate of force development as a functional outcome measure in TKA. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 468(1), 191-198. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-0978-4>
- Maffulli, N., i Pintore, E. (1990). Intensive training in young athletes. En *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 24, Número 4, p. 237-239). Springer. <https://doi.org/10.1136/bjism.24.4.237>
- Major, J. J. (1996). Strength training fundamentals in gymnastics conditioning. *Technique*, 16(8), 1-15. <https://usagym.org/pages/home/publications/technique/1996/8/strength.pdf>
- Malina, R. M. (2011). Skeletal age and age verification in youth sport. *Sports Medicine*, 41(11), 925-947. <https://doi.org/10.2165/11590300-000000000-00000>
- Malina, R. M., Bouchard, C., i Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Human kinetics.
- Malina, R. M., Reyes, M. E. P., Eisenmann, J. C., Horta, L., Rodrigues, J., i Miller, R. (2000). Height, mass and skeletal maturity of elite Portuguese soccer players aged 11–16 years. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 685-693. <https://doi.org/10.1080/02640410050120069>
- Marina, M., i Jemni, M. (2014). Plyometric Training Performance in Elite-Oriented Prepubertal Female Gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1015-1025. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000247>
- Mariño, I. J. (2018). Efectos de la práctica de gimnasia rítmica sobre la salud: revisión narrativa. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 31, 6.
- Martín Nogueras, A. M. (2004). *Bases neurofisiológicas del equilibrio postural*. Universidad de Salamanca.
- Martín Nogueras, A. M. (2008). *Prevención de las caídas en las personas mayores a partir del tratamiento fisioterápico del desequilibrio postural*. Universidad de Salamanca.
- Martínez Vidal, A., Díaz Pereira, P., i Gutiérrez Sánchez, A. (2008). *Creatividad y deporte consideraciones teóricas e investigaciones breves*. Wanceulen SL.
- Mata Saumell, H. (1999). *Adecuación del código de puntuación de gimnasia rítmica a la iniciación*. Universitat de Barcelona.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., i Newton, R. U. (1999). A Comparison of Strength and Power Characteristics between Power Lifters, Olympic Lifters, and Sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(1), 58-66. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(1999\)013<0058:ACOSAP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1999)013<0058:ACOSAP>2.0.CO;2)
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., i Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 75-82. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2002\)016<0075:TEOHVL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2002)016<0075:TEOHVL>2.0.CO;2)

- McGill, S. M. (1998). Low Back Exercises: Evidence for Improving Exercise Regimens. *Physical Therapy*, 78(7), 754-765. <https://doi.org/10.1093/ptj/78.7.754>
- McGill, S. M. (2001). Low Back Stability: From Formal Description to Issues for Performance and Rehabilitation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(1), 26-31. <https://doi.org/10.1097/00003677-200101000-00006>
- McGill, S. M. (2010). Core Training: Evidence Translating to Better Performance and Injury Prevention. *Strength & Conditioning Journal*, 32(3), 33-46. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181df4521>
- McGill, S. M. (2015). *Low back disorders: evidence-based prevention and rehabilitation*. Human Kinetics.
- McGill, S. M., Childs, A., i Liebenson, C. (1999). Endurance times for low back stabilization exercises: Clinical targets for testing and training from a normal database. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(8), 941-944. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(99\)90087-4](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(99)90087-4)
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., i Gass, G. C. (2011). The Role of Rate of Force Development on Vertical Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 379-385. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181be305c>
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., i McGuigan, M. (2014). A Brief Review of Strength and Ballistic Assessment Methodologies in Sport. *Sports Medicine*, 44(5), 603-623. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0145-2>
- Menant, J. C., Okubo, Y., i Menz, H. B. (2021). Falls in Older People. En S. R. Lord, C. Sherrington, i V. Naganathan (Ed.), *Falls in Older People: Risk Factors, Strategies for Prevention and Implications for Practice*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108594455>
- Mendizábal, S. (2001). *Fundamentos de la gimnasia rítmica: mitos y realidades - Dialnet*. Gymnos.
- Mendizábal, S., i Mendizábal, I. (1985). *Iniciación a la gimnasia rítmica*. Gymnos.
- Micheli, L. J. (1983). Back injuries in dancers. *Clinics in sports medicine*, 2(3), 473-484.
- Micheli, L. J. (1985). Back injuries in gymnastics. *Clinics in sports medicine*, 4(1), 85-93.
- Miletić, D., Katić, R., i Maleš, B. (2004). Some anthropologic factors of performance in rhythmic gymnastics novices. *Collegium antropologicum*, 28(2), 727-737.
- Miletić, D., Sekulic, D., i Wolf-Cvitak, J. (2004). The leaping performance of 7-year-old novice rhythmic gymnasts is highly influenced by the condition of their motor abilities. *Kinesiology*, 36, 35-43.
- Mills, J. D., Taunton, J. E., i Mills, W. A. (2005). The effect of a 10-week training regimen on lumbo-pelvic stability and athletic performance in female athletes: A randomized-controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 6(2), 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.02.006>

- Minick, K. I., Kiesel, K. B., Burton, L., Taylor, A., Plisky, P., i Butler, R. J. (2010). Interrater Reliability of the Functional Movement Screen. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 479-486. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c09c04>
- Mirela, D., Raducu, P., Antoanela, O., Carmen, T., i Laura, G. (2014). Plyometric exercises to improve explosive power in artistic gymnastics. *Science, Movement and Health*, XIV(2), 381-386.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., i Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & science in sports & exercise*, 34(4), 689-694.
- Misigoj-Durakovic, M. (2012). Anthropometry in premenarcheal female esthetic sports athletes and ballerinas. En *Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human Form in Health and Disease* (p. 1817-1836). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1788-1_111
- Moeskops, S., Read, P. J., Oliver, J. L., i Lloyd, R. S. (2018). Individual responses to an 8-week neuromuscular training intervention in trained pre-pubescent female artistic gymnasts. *Sports*, 6(4), 128. <https://doi.org/10.3390/sports6040128>
- Moher, D. (2010). CONSORT 2010 Explanation and Elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials (Chinese version). *Journal of Chinese Integrative Medicine*, 701-741. <https://doi.org/10.3736/jcim20100801>
- Montosa, I., Vernetta-Santana, M., i López-Bedoya, J. (2015). Características de las lesiones deportivas en jóvenes practicantes de gimnasia rítmica de competición. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 8(1), 35-36. <https://doi.org/10.1016/j.ram.d.2014.10.040>
- Morales, J., Ubasart, C., Solana-Tramunt, M., Villarrasa-Sapiña, I., González, L.-M., Fukuda, D., i Franchini, E. (2018). Effects of Rapid Weight Loss on Balance and Reaction Time in Elite Judo Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(10), 1371-1377. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0089>
- Moran, J., Clark, C. C. T., Ramirez-Campillo, R., Davies, M. J., i Drury, B. (2019). A Meta-Analysis of Plyometric Training in Female Youth: Its Efficacy and Shortcomings in the Literature. En *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 33, Número 7, p. 1996-2008). LWW. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002768>
- Moran, J., Sandercock, G. R. H., Ramírez-Campillo, R., Meylan, C. M. P., Collison, J. A., i Parry, D. A. (2017). Age-related variation in male youth athletes' countermovement jump after plyometric training: A meta-analysis of controlled trials. En *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 31, Número 2, p. 552-565). LWW. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001444>
- Mukhtar, M. (2020). *Proprioception Training Effectiveness for Improving Balance analysed by Computerized Dynamic Posturography*. Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu.

- Músculos de la cintura escapular. Parte 1.* (2019). Instituto de terapias manuales. Fisioteràpia y formación.
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Chu, D. A., Falkel, J., Ford, K. R., Best, T. M., i Hewett, T. E. (2011). Integrative training for children and adolescents: techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. En *The Physician and sportsmedicine* (Vol. 39, Número 1, p. 74-84). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.3810/psm.2011.02.1864>
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., i Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? En *Current Sports Medicine Reports* (Vol. 10, Número 3, p. 157-166). NIH Public Access. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31821b1442>
- Myer, G. D., Ford, K. R., Brent, J. L., i Hewett, T. E. (2006). The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 20(2), 345.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Palumbo, O. P., i Hewett, T. E. (2005). Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(1), 51-60.
- Nashner, L. M., i Berthoz, A. (1978). Visual contribution to rapid motor responses during postural control. *Brain research*, 150(2), 403-407.
- Nashner, L. M., i Cordo, P. J. (1981). Relation of automatic postural responses and reaction-time voluntary movements of human leg muscles. *Experimental Brain Research*, 43-43(3-4), 395-405. <https://doi.org/10.1007/BF00238382>
- Nashner, L. M., Shupert, C. L., i Horak, F. B. (1988). Head-trunk movement coordination in the standing posture. *Progress in Brain Research*, 76(C), 243-251. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)64511-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)64511-2)
- Nazari, S. (2019). *Effect of core training on physical and technical characteristics of novice rhythmic gymnasts*. University of Malaya.
- Nazari, S., i Boon Hooi, L. (2019). Effects of a 12-week core training program on physical characteristics of rhythmic gymnastics: A study in Kuala Lumpur-Malaysia. *Malaysian Journal of Movement, Health & Exercise*, 8(1), 157-174. <https://doi.org/10.15282/mohe.v8i1.255>
- Nesser, T. W., Huxel, K. C., Tincher, J. L., i Okada, T. (2008). The Relationship Between Core Stability and Performance in Division I Football Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1750-1754. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181874564>
- Nieto-Guisado, A., Solana-Tramunt, M., Marco-Ahulló, A., Sevilla-Sánchez, M., Cabrejas, C., Campos-Rius, J., i Morales, J. (2022). The Mediating Role of Vision in the Relationship between Proprioception and Postural Control in Older Adults, as

- Compared to Teenagers and Younger and Middle-Aged Adults. *Healthcare*, 10(1), 103. <https://doi.org/10.3390/healthcare10010103>
- Nishikawa, K., Biewener, A. A., Aerts, P., Ahn, A. N., Chiel, H. J., Daley, M. A., Daniel, T. L., Full, R. J., Hale, M. E., Hedrick, T. L., Lappin, A. K., Nichols, T. R., Quinn, R. D., Satterlie, R. A., i Szymik, B. (2007). Neuromechanics: an integrative approach for understanding motor control. *Integrative and Comparative Biology*, 47(1), 16-54. <https://doi.org/10.1093/icb/icm024>
- Nitzsche, N., Siebert, T., Schulz, H., i Stutzig, N. (2022). Effect of plyometric training on dynamic leg strength and jumping performance in rhythmic gymnastics: A preliminary study. *Isokinetics and Exercise Science*, 30(1), 79-87. <https://doi.org/10.3233/IES-210148>
- Nolan, L., Grigorenko, A., i Thorstensson, A. (2005). Balance control: Sex and age differences in 9- to 16-years-olds. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(7), 449-454. <https://doi.org/10.1017/S0012162205000873>
- O'Brien, J., Santner, E., i Finch, C. F. (2018). The inter-tester reliability of the squeeze and bent-knee-fall-out tests in elite academy football players. *Physical Therapy in Sport*, 34, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.08.004>
- Okada, T., Huxel, K. C., i Nesser, T. W. (2011). Relationship between core stability, functional movement, and performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 252-261. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b22b3e>
- Olivier, I., Palluel, E., Nougier, V., i Assaiante, C. (2013). Evolución de las estrategias posturales desde la infancia a la adolescencia. *EMC - Podología*, 15(3), 1-8. [https://doi.org/10.1016/s1762-827x\(13\)65195-0](https://doi.org/10.1016/s1762-827x(13)65195-0)
- Oltean, A., Rusu, M. M., Copoiu, N., i CĂLIN, M. F. (2017). Incidence of injuries in rhythmic gymnastics. *Ovidius University Annals, Series Physical Education and Sport/ Science, Movement and Health*, 17(2), 427-433.
- Otero, K. (2015, maig 28). *Selección nacional de gimnasia rítmica de España 1975*. https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Selecci%C3%B3n_nacional_de_gimnasia_r%C3%ADtmica_de_Espa%C3%B1a_1975_02.png.
- Outerbridge, R. A., i Micheli, L. J. (1995). Overuse Injuries in the Young Athlete. *Clinics in Sports Medicine*, 14(3), 503-516. [https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(20\)30205-2](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(20)30205-2)
- Oxfeldt, M., Overgaard, K., Hvid, L. G., i Dalgas, U. (2019). Effects of plyometric training on jumping, sprint performance, and lower body muscle strength in healthy adults: A systematic review and meta-analyses. En *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* (Vol. 29, Número 10, p. 1453-1465). Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1111/sms.13487>
- Padte, D. S., i Kadiravan, V. (2020). Effect of functional training on floor exercise performance of female gymnasts. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 7(4), 140-142. <https://doi.org/10.22271/kheljournal.2020.v7.i4c.1785>

- Paeth, B. (2000). Principios del tratamiento del mecanismo de control postural central. *X Jornadas de Fisioterapia: Ponencias y comunicaciones. Madrid: Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid*, 38-42.
- Pagola Aldazabal, I. (2010). *Análisis cinético de los saltos específicos en gimnasia rítmica deportiva*. Universidad Europea de Madrid.
- Paillard, T. (2017). Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 72, 129-152. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.015>
- Paillard, T. (2019). Relationship Between Sport Expertise and Postural Skills. *Frontiers in Psychology*, 10, 1428. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01428>
- Paillard, T., i Noé, F. (2006). Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(5), 345-348. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00502.x>
- Paillard, T., i Noé, F. (2015). Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Research International*, 2015, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2015/891390>
- Palluel, E., Nougier, V., i Olivier, I. (2010). Postural control and attentional demand during adolescence. *Brain Research*, 1358, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.08.051>
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., i Krause, B. A. (2002). Center-of-Pressure Parameters Used in the Assessment of Postural Control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11(1), 51-66. <https://doi.org/10.1123/jsr.11.1.51>
- Palomero, M. L. (1996). *Hacia una objetivación del código internacional de Gimnasia Rítmica Deportiva*. Universitat de Barcelona.
- Panjabi, M. M. (1992). The stabilizing system of the spine. Part I, function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord*, 5, 383-389.
- Paterno, M. V, Myer, G. D., Ford, K. R., i Hewett, T. E. (2004). Neuromuscular Training Improves Single-Limb Stability in Young Female Athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(6), 305-316. <https://doi.org/10.2519/jospt.2004.34.6.305>
- Patton, K. T., i Thibodeau, G. A. (2013). *Anatomía y fisiología*. Elsevier Health Sciences.
- Pau, M., Laconi, I., i Leban, B. (2021). Effect of fatigue on postural sway in sport-specific positions of young rhythmic gymnasts. *Sport Sciences for Health*, 17(1), 145-152. <https://doi.org/10.1007/s11332-020-00664-0>
- Peate, W., Bates, G., Lunda, K., Francis, S., i Bellamy, K. (2007). Core strength: A new model for injury prediction and prevention. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 2(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-2-3>

- Peter Reeves, N., Narendra, K. S., i Cholewicki, J. (2007). Spine stability: The six blind men and the elephant. *Clinical Biomechanics*, 22(3), 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.11.011>
- Peterson, M. L., Christou, E., i Rosengren, K. S. (2006). Children achieve adult-like sensory integration during stance at 12-years-old. *Gait & Posture*, 23(4), 455-463. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.05.003>
- Petry, R. (2008). *Análise do deslocamento vertical de quatro saltos realizados por praticantes de ginástica rítmica em diferentes fases do treinamento*. Universidade do Estado de Santa Catarina.
- Piazza, M., Battaglia, C., Fiorilli, G., Innocenti, G., Iuliano, E., Aquino, G., Calcagno, G., Giombini, A., i Di Cagno, A. (2014). Effects of resistance training on jumping performance in pre-adolescent rhythmic gymnasts: a randomized controlled study. *Italian journal of anatomy and embryology*, 119(1), 10-19.
- Poliszczuk, T., i Broda, D. (2010). Somatic constitution and the ability to maintain dynamic body equilibrium in girls practicing rhythmic gymnastics. *Pediatric Endocrinology, Diabetes and Metabolism*, 16(2), 94-99.
- Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J., i Paul, J. P. (2000). What is balance? *Clinical Rehabilitation*, 14(4), 402-406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>
- Pollock, M. L., Leggett, S. H., Graves, J. E., Jones, A., Fulton, M., i Cirulli, J. (1989). Effect of resistance training on lumbar extension strength. *The American Journal of Sports Medicine*, 17(5), 624-629. <https://doi.org/10.1177/036354658901700506>
- Portela, H. (2022). *Mitos erróneos más frecuentes para tener six pack*. Team fit Madrid. <https://www.teamfitmadrid.es/los-mitos-erroneos-mas-frecuentes-para-tener-six-pack/>
- Potteiger, J. A., Lockwood, R. H., Haub, M. D., Dolezal, B. A., Almuzaini, K. S., Schroeder, J. M., i Zebas, C. J. (1999). Muscle power and fiber characteristics following 8 weeks of plyometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 275-279. <https://doi.org/10.1519/00124278-199908000-00016>
- Preuss, R., i Fung, J. (2008). Musculature and biomechanics of the trunk in the maintenance of upright posture. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(5), 815-828. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.03.003>
- Purcell, L., i Micheli, L. (2009). Low back pain in young athletes. En *Sports Health* (Vol. 1, Número 3, p. 212-222). Springer. <https://doi.org/10.1177/1941738109334212>
- Purenović-Ivanović, T. M., Popović, R., i Moskovljević, L. (2017). The contribution of pubertal development to performance scores in high-level rhythmic gymnasts. *Acta Gymnica*, 47(3), 122-129. <https://doi.org/10.5507/ag.2017.015>
- Putnam, C. A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, 26, 125-135. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(93\)90084-R](https://doi.org/10.1016/0021-9290(93)90084-R)

- Putra, R. B., Soenyoto, T., Darmawan, A., i Irsyada, R. (2020). Basic Movements of The Split Leap Rhythmic Gymnastics. *Proceedings of the 5th International Seminar of Public Health and Education, ISPHE 2020, 22 July 2020, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia*. <https://doi.org/10.4108/eai.22-7-2020.2300304>
- Qin, Y., Zeng, J., i Peng, L. (2021). Short term functional training improves completion quality of body difficulty of juvenile rhythmic gymnasts. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, 43. <https://doi.org/10.1590/rbce.43.e029519>
- Radebold, A., Cholewicki, J., Panjabi, M. M., i Patel, T. C. (2000). Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine*, 25(8), 947-954.
- Radebold, A., Cholewicki, J., Polzhofer, G. K., i Greene, H. S. (2001). Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine*, 26(7), 724-730.
- Rajic, B. (2012). *Efecto del entrenamiento de fuerza explosiva sobre las características básicas y específicas de la fuerza en jugadoras de voleibol*. Universitat de València.
- Rama López, J., i Pérez Fernández, N. (2004). Caracterización de la interacción sensorial en posturografía. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 55(2), 62-66. [https://doi.org/10.1016/S0001-6519\(04\)78484-8](https://doi.org/10.1016/S0001-6519(04)78484-8)
- Ré, A. H. N. (2011). Crescimento, maturação e desenvolvimento na infância e adolescência: Implicações para o esporte. *Motricidade*, 7(3), 55-67.
- Reed, C. A., Ford, K. R., Myer, G. D., i Hewett, T. E. (2012). The Effects of Isolated and Integrated 'Core Stability' Training on Athletic Performance Measures. *Sports Medicine*, 42(8), 697-706. <https://doi.org/10.1007/BF03262289>
- Rendón Morales, P. A., Lara Chalá, L. del R., Hernández, J. J., Alomoto Navarrete, M. R., Landeta Valladares, L. J., i Calero Morales, S. (2017). Influencia de la masa grasa en el salto vertical de basquetbolistas de secundaria. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 36(1), 0.
- Real Federación Española de Gimnasia. (2021). *Real Federación Española Gimnasia*. <https://rfegimnasia.es>
- Richardson, C. A., i Jull, G. A. (1995). Muscle control–pain control. What exercises would you prescribe? *Manual Therapy*, 1(1), 2-10. <https://doi.org/10.1054/math.1995.0243>
- Ricotti, L. (2011). Static and dynamic balance in young athletes. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(4), 616-628. <https://doi.org/10.4100/jhse.2011.64.05>
- Riemann, B. L., i Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part I: The physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71-79.
- Rival, C., Ceyte, H., i Olivier, I. (2005). Developmental changes of static standing balance in children. *Neuroscience Letters*, 376(2), 133-136. <https://doi.org/10.1016/J.NEULET.2004.11.042>

- Robinson, L. E., Stodden, D. F., Barnett, L. M., Lopes, V. P., Logan, S. W., Rodrigues, L. P., i D'Hondt, E. (2015). Motor Competence and its Effect on Positive Developmental Trajectories of Health. En *Sports Medicine* (Vol. 45, Número 9, p. 1273-1284). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0351-6>
- Rodríguez-Galán, M., i Gómez-Landero Rodríguez, L. A. (2018). Performance variables and technical penalties of the split leap. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 18(72), 605. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2018.72.001>
- Rodríguez-Galán, M., Villacieros, J., i Ferro, A. (2013). Analysis of the coordination and the sequence of corporal movements in the Split Leap of rhythmic gymnastics. *34th Congress of the Iberian Society of Biomechanics and Biomaterials*, 78.
- Rogol, A. D., Roemmich, J. N., i Clark, P. A. (2002). Growth at puberty. *Journal of Adolescent Health*, 31(6), 192-200. [https://doi.org/10.1016/S1054-139X\(02\)00485-8](https://doi.org/10.1016/S1054-139X(02)00485-8)
- Roncesvalles, M. N. C., Woollacott, M. H., i Jensen, J. L. (2001). Development of Lower Extremity Kinetics for Balance Control in Infants and Young Children. *Journal of Motor Behavior*, 33(2), 180-192. <https://doi.org/10.1080/00222890109603149>
- Roussel, N. A., Nijs, J., Truijen, S., Smeuninx, L., i Stassijns, G. (2007). Low Back Pain: Clinimetric Properties of the Trendelenburg Test, Active Straight Leg Raise Test, and Breathing Pattern During Active Straight Leg Raising. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 30(4), 270-278. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2007.03.001>
- Rowland, T. W. (2005). *Children's exercise physiology*. Human Kinetics Publishers.
- rtve. (2021). «Las niñas de oro»: 25 años de su medalla. <https://www.rtve.es/deportes/20210802/ninas-oro-25-anos-medalla/2147380.shtml>
- Ruffieux, J., Keller, M., Lauber, B., i Taube, W. (2015). Changes in Standing and Walking Performance Under Dual-Task Conditions Across the Lifespan. *Sports Medicine 2015* 45:12, 45(12), 1739-1758. <https://doi.org/10.1007/S40279-015-0369-9>
- Rutkauskaitė, R., i Skarbalius, A. (2009). Training and sport performance of the 11-12 year old athletes in rhythmic gymnastics. *Sportas*, 1(72), 107-115.
- Rutkauskaitė, R., i Skarbalius, A. (2011). Interaction of training and performance of 13–14-year-old athletes in rhythmic gymnastics. *Baltic Journal of Sport and Health Sciences*, 3(82).
- Rutkowska-Kucharska, A., Szpala, A., Jaroszczuk, S., i Sobera, M. (2018). Muscle Coactivation during Stability Exercises in Rhythmic Gymnastics: A Two-Case Study. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2018, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2018/8260402>
- Sandrey, M. A., i Mitzel, J. G. (2013). Improvement in dynamic balance and core endurance after a 6-week core-stability-training program in high school track and field athletes. *Journal of Sport Rehabilitation*, 22(4), 264-271. <https://doi.org/10.1123/jsr.22.4.264>

- Sands, W. A., McNeal, J. R., i Urbanek, T. (2003). On the role of « functional training » in gymnastics and sports. *USA Gymnastics Online: Technique*, 1-3.
- Sarkar, L., i Datta, U. (2019). *Impact of core muscle training on explosive strength for school going state level participants*.
- Schmid, M., Conforto, S., Lopez, L., Renzi, P., i D'Alessio, T. (2005). The development of postural strategies in children: A factorial design study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-2-29>
- Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events. *Strength and power in sport*, 1, 381-395.
- Schoenfeld, B., i Contreras, B. (2011). Strategies for Optimal Core Training Program Design. *Performance Training Journal*, 10(5), 20-24.
- Schubert, M. C., Shepard, N. T., i Jacobson, G. P. (2008). *Practical anatomy and physiology of the vestibular system* (3rd ed.). Plural Publishing San Diego, CA.
- Scoppa, F., Capra, R., Gallamini, M., i Shiffer, R. (2013). Clinical stabilometry standardization. *Gait & Posture*, 37(2), 290-292. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.07.009>
- Šebić-Zuhrić, L., Tabaković, M., Hmjelovjec, I., i Atiković, A. (2008). Predictive values of morphological characteristics in rhythmic gymnastics. *Sport Scientific & Practical Aspects*, 5(1-2), 45-50.
- Sedeaud, A., Marc, A., Schipman, J., Schaal, K., Danial, M., Guillaume, M., Berthelot, G., i Toussaint, J. F. (2014). Secular trend: Morphology and performance. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1146-1154. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.889841>
- Sharrock, C., Cropper, J., Mostad, J., Johnson, M., i Malone, T. (2011). A pilot study of core stability and athletic performance: is there a relationship? *International journal of sports physical therapy*, 6(2), 63.
- Shepard, N. T. (2002). Evaluation and management of balance system disorders. *Issues in Hand Book of Clinical Audiology*, 5, 390-407.
- Sherrington, C., Whitney, J. C., Lord, S. R., Herbert, R. D., Cumming, R. G., i Close, J. C. T. (2008). Effective Exercise for the Prevention of Falls: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Geriatrics Society*, 56(12), 2234-2243. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.02014.x>
- Shigaki, L., Rabello, L. M., Camargo, M. Z., Santos, V. B. da C., Gil, A. W. de O., Oliveira, M. R. de, Silva Junior, R. A. da, i Macedo, C. de S. G. (2013). Análise comparativa do equilíbrio unipodal de atletas de ginástica rítmica. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 19(2), 104-107. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922013000200006>
- Shrier, I. (1999). Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: A critical review of the clinical and basic science literature. En *Clinical Journal of Sport Medicine* (Vol. 9, Número 4, p. 221-227). <https://doi.org/10.1097/00042752-199910000-00007>

- Shumway-Cook, A., i Woollacott, M. H. (1985). The Growth of Stability. *Journal of Motor Behavior*, 17(2), 131-147. <https://doi.org/10.1080/00222895.1985.10735341>
- Siegel, J. A., Gilders, R. M., Staron, R. S., i Hagerman, F. C. (2002). Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 173-178. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2002\)016<0173:HMP ODU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2002)016<0173:HMP ODU>2.0.CO;2)
- Skaltsa, E., Kaioglou, V., i Venetsanou, F. (2021). Development of balance in children participating in diferent recreational physical activities. *Science of Gymnastics Journal*, 13(1).
- Skotnicka, M., Karpowicz, K., Bartkowiak, S., i Strzelczyk, R. (2017). The impact of the corrective and stability exercises program on the quality of basic movement patterns among dance students. *Trends in Sport Sciences*, 24(1).
- Slijper, H., i Latash, M. L. (2000). The effects of instability and additional hand support on anticipatory postural adjustments in leg, trunk, and arm muscles during standing. *Experimental Brain Research*, 135(1), 81-93. <https://doi.org/10.1007/s002210000492>
- Slimani, M., Paravlic, A., i Granacher, U. (2018). A Meta-Analysis to Determine Strength Training Related Dose-Response Relationships for Lower-Limb Muscle Power Development in Young Athletes. *Frontiers in Physiology*, 9(AUG), 1155. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01155>
- Sobera, M., i Rutkowska-Kucharska, A. (2019). Postural Control in Female Rhythmic Gymnasts in Selected Balance Exercises: A Study of Two Cases. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 26(1), 3-7. <https://doi.org/10.2478/pjst-2019-0001>
- Solana-Tramunt, M. (2011). *Entrenament de la propiocepció conscient de la CV lumbar: Una aplicació a la natació subaquàtica*. Universitat Ramon Llull.
- Solana-Tramunt, M., Ortegón, A., Morales, J., Nieto-Guisado, A., Nishishinya, M. B., i Villafañe, J. H. (2019). Diagnostic accuracy of lumbopelvic motor control tests using pressure biofeedback unit in professional swimmers: A cross-sectional study. *Journal of Orthopaedics*, 16(6), 590-595. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2019.06.002>
- Steindl, R., Kunz, K., Schrott-Fischer, A., i Scholtz, A. (2006). Effect of age and sex on maturation of sensory systems and balance control. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 48(6), 477-482. <https://doi.org/10.1017/S0012162206001022>
- Stephens, T. M., Lawson, B. R., DeVoe, D. E., i Reiser, R. F. (2007). Gender and bilateral differences in single-leg countermovement jump performance with comparison to a double-leg jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(3), 190-202. <https://doi.org/10.1123/jab.23.3.190>
- Taktak, F., TakTak, I., i Shephard, R. J. (2013). A controlled trial of plyometric training for rhythmic female gymnasts. *The Health & Fitness Journal of Canada*, 6(3), 123-131. <https://doi.org/10.14288/hfjc.v6i3.142>

- Tanner, J. M. (1962). *Growth at adolescence: Vol. (2nd ed.)*. Springfield, Ill.
- Thacker, S. B., Gilchrist, J., Stroup, D. F., i Kimsey, C. D. (2004). The Impact of Stretching on Sports Injury Risk: A Systematic Review of the Literature. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 371-378. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000117134.83018.F7>
- Thompson, B. J. (2009). *Effect of surface stability on core muscle activity during dynamic resistance exercises*. Utah State University.
- Tihany, J. (1989). Fisiología y mecánica de la fuerza. *RED: Revista de entrenamiento deportivo= Journal of Sports Training*, 3(2), 2-10.
- Tincea, R. M. (2020). Analysis of static balances in rhythmic gymnastics in children aged between 6 to 8 years. *Series IX Sciences of Human Kinetics*, 13(62)(2), 93-100. <https://doi.org/10.31926/but.shk.2020.13.62.2.11>
- Tse, M. A., McManus, A. M., i Masters, R. S. (2005). Development and validation of a core endurance intervention program: implications for performance in college-age rowers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(3), 547-552.
- Unió de Consells Esportius de Catalunya. (2021). *Normativa tècnica de Gimnàstica Rítmica*. www.ucec.cat
- Valič, A., Samardžija Pavletič, M., Istenič, N., i Kolar, E. (2015). Countermovement jump on force plate in artistic and rhythmic gymnastics. *2nd International Scientific Congress Organized proceedings. Slovenian Gymnastics Federation. Editors: Mitija Samardžija Pavletič and Maja Bučar Pajek, Portorož. Slovenia*, 119-126.
- van Dieën, J. H., Luger, T., i van der Eb, J. (2012). Effects of fatigue on trunk stability in elite gymnasts. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1307-1313. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2082-1>
- Vargha, A., i Delaney, H. D. (2000). A Critique and Improvement of the CL Common Language Effect Size Statistics of McGraw and Wong. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 25(2), 101-132. <https://doi.org/10.3102/10769986025002101>
- Vera-García, F. J., Barbado, D., Moreno-Pérez, V., Hernández-Sánchez, S., Juan-Recio, C., i Elvira, J. L. L. (2015). Core stability. Concepto y aportaciones al entrenamiento y la prevención de lesiones. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 8(2), 79-85.
- Verkhoshansky, Y. (1967). Are depth jumps useful. *Track and field*, 12(9), 28-35.
- Verkhoshansky, Y. (1968). Impact» method of development of «explosive» force. *Theory and practice of physical culture*, 8, 59-63.
- Verkhoshansky, Y. (2006). *Todo sobre el método pliométrico*. Editorial Paidotribo.
- Vezina, M. J., i Hubley-Kozey, C. L. (2000). Muscle activation in therapeutic exercises to improve trunk stability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(10), 1370-1379. <https://doi.org/10.1053/apmr.2000.16349>
- Villarrasa-Sapiña, I. (2019). *Influencia de la obesidad infantil sobre el control postural y la marcha*. Universitat de València.

- Vuillerme, N., i Nougier, V. (2004). Attentional demand for regulating postural sway: the effect of expertise in gymnastics. *Brain Research Bulletin*, 63(2), 161-165. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2004.02.006>
- Waldhelm, A., i Li, L. (2012). Endurance tests are the most reliable core stability related measurements. *Journal of Sport and Health Science*, 1(2), 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2012.07.007>
- Watson, T., Graning, J., McPherson, S., Carter, E., Edwards, J., Melcher, I., i Burgess, T. (2017). Dance, balance and core muscle performance measures are improved following a 9-week core stabilization training program among competitive collegiate dancers. *International journal of sports physical therapy*, 12(1), 25-41.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training* (16. Aufl.). Hamburg: Czwalina.
- Willardson, J. M. (2007a). Core stability training: Applications to sports conditioning programs. En *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 21, Número 3, p. 979-985). <https://doi.org/10.1519/R-20255.1>
- Willardson, J. M. (2007b). Core stability training for healthy athletes: a different paradigm for fitness professionals. *Strength and Conditioning Journal*, 29(6), 42.
- Willson, J. D., Dougherty, C. P., Ireland, M. L., i Davis, I. M. C. (2005). Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 13(5), 316-325.
- Winter, D. A. (1995). *ABC (anatomy, biomechanics and control) of balance during standing and walking*. Waterloo Biomechanics.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Sons.
- Winter, D. A., Patla, A. E., Ishac, M., i Gage, W. H. (2003). Motor mechanisms of balance during quiet standing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(1), 49-56. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(02\)00085-8](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(02)00085-8)
- Winter, D. A., Prince, F., Frank, J. S., Powell, C., i Zabjek, K. F. (1996). Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. *Journal of Neurophysiology*, 75(6), 2334-2343. <https://doi.org/10.1152/jn.1996.75.6.2334>
- Wirth, K., Hartmann, H., Mickel, C., Szilvas, E., Keiner, M., i Sander, A. (2017). Core Stability in Athletes: A Critical Analysis of Current Guidelines. *Sports Medicine*, 47(3), 401-414. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0597-7>
- Wolff, D. R., Rose, J., Jones, V. K., Bloch, D. A., Oehlert, J. W., i Gamble, J. G. (1998). Postural balance measurements for children and adolescents. *Journal of Orthopaedic Research*, 16(2), 271-275. <https://doi.org/10.1002/jor.1100160215>
- Woollacott, M. H., i Shumway-Cook, A. (1990). Changes in Posture Control Across the Life Span—A Systems Approach. *Physical Therapy*, 70(12), 799-807. <https://doi.org/10.1093/ptj/70.12.799>

- Woollacott, M. H., i Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16(1), 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00156-4](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00156-4)
- Yildizer, G., i Kirazci, S. (2017). Effects of core stability on junior male soccer players' balance: randomized control trial. *Pamukkale Journal of Sport Sciences*, 8(1).
- Yilmaz, N. (2022). Investigation of the effect of isometric core strength training in addition to basic basketball trainings on explosive power in children aged 9-17. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 26(2), 75-82. <https://doi.org/10.15561/26649837.2022.0201>
- Young, J. L., Herring, S. A., Press, J. M., i Casazza, B. A. (1996). The influence of the spine on the shoulder in the throwing athlete. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 7(1), 5-17. <https://doi.org/10.3233/BMR-1996-7103>
- Young, W. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New studies in athletics*, 10, 89.
- Zatsiorsky, V. M., i Kraemer, W. J. (1995). Science and practice of strength training. *Choice Reviews Online*, 33(04), 33-2191-33-2191. <https://doi.org/10.5860/choice.33-2191>
- Zazulak, B. T., Cholewicki, J., i Reeves, P. N. (2008). Neuromuscular control of trunk stability: clinical implications for sports injury prevention. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 16(8), 497-505.
- Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, P. N., Goldberg, B., i Cholewicki, J. (2007). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: A prospective biomechanical-epidemiologic study. *American Journal of Sports Medicine*, 35(7), 1123-1130. <https://doi.org/10.1177/0363546507301585>
- Zazulak, B. T., i Medvecky, M. J. (2019). Trunk stability for injury prevention: The core of evidence. *Connecticut Medicine*, 83(9), 443-450.
- Zazulak, B. T., Ponce, P. L., Straub, S. J., Medvecky, M. J., Avedisian, L., i Hewett, T. E. (2005). Gender Comparison of Hip Muscle Activity During Single-Leg Landing. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(5), 292-299. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.5.292>
- Zech, A., Hübscher, M., Vogt, L., Banzer, W., Hänsel, F., i Pfeifer, K. (2009). Neuromuscular training for rehabilitation of sports injuries: A systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(10), 1831-1841. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a3cf0d>
- Zetaruk, M. N., Violan, M., Zurakowski, D., Mitchell Jr, W. A., i Micheli, L. J. (2006). Recomendaciones para el entrenamiento y prevención de lesiones en gimnastas de rítmica de elite. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 41(151), 100-106.
- Zumbrunn, T., MacWilliams, B. A., i Johnson, B. A. (2011). Evaluation of a single leg stance balance test in children. *Gait & Posture*, 34(2), 174-177. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.04.005>

ANNEXOS

11. ANNEXOS

11.1. CONSENTIMENT INFORMAT

CONSENTIMENT INFORMAT

Jo, que signaré, com a mare, pare o tutor de la participant, confirmo que (si us plau marqui la casella corresponent):

1.	He llegit i he entès la informació sobre el projecte: «Entrenament de control motor lumbopelvià, força explosiva i flexibilitat per Gimnàstica Rítmica», explicat al document informatiu amb data _____.	<input type="checkbox"/>
2.	He tingut l'oportunitat de fer preguntes sobre la participació en aquest projecte	<input type="checkbox"/>
3.	Com a mare, pare o tutor del participant menor d'edat accedeixo a que la (nom) _____ participi voluntàriament en aquest projecte.	<input type="checkbox"/>
4.	Sé que la participant es pot retirar en qualsevol moment sense donar cap explicació i no serà penalitzada per retirar-se o qüestionada per la raó que es retira.	<input type="checkbox"/>
5.	Els processos relatius a la confidencialitat s'han explicat amb claredat.	<input type="checkbox"/>
6.	Les dades d'investigació, les publicacions i l'emmagatzematge d'aquestes dades han quedat explicats.	<input type="checkbox"/>
7.	Entenc que altres investigadors tindran accés a aquestes dades, sempre i quant estiguin d'acord en preservar la confidencialitat de les dades i també si estan d'acord amb els termes especificats en aquest formulari.	<input type="checkbox"/>
8.	Jo, com a pare, mare o tutor, d'acord amb la investigadora, accedeixo a signar i posar data a aquest formulari de consentiment..	<input type="checkbox"/>

Participant:

Nom del participant Signatura Data

Mare, pare o Tutor:

Nom de la mare, pare o tutor Signatura Data

Investigador:

Nom de l'investigador Signatura Data

CONSENTIMENT INFORMAT

Jo,....., pare, mare o tutor de amb DNI....., actuant en nom i interès propi,

DECLARO QUE:

He rebut la informació sobre el projecte «Entrenament de control motor lumbopelvià, força explosiva i flexibilitat per Gimnàstica Rítmica» del qual se m'ha entregat un document informatiu annex a aquest consentiment i pel qual se sol·licita la meva participació. He entès el seu significat, han estat clarificats els meus dubtes i se m'han exposat les accions que es derivaran d'aquest. Se m'ha informat de tots els aspectes relacionats amb la confidencialitat i protecció de dades en quant a la gestió de dades personals que comporta el projecte i les garanties preses en compliment de la Llei 15/1999 de Protecció de Dades Personals.

La meva col·laboració al projecte és totalment voluntària i tinc dret a retirar-me d'aquest mateix en qualsevol moment, revocant el present consentiment, sense que aquesta retirada pugui influir negativament a la meva persona en cap sentit. En cas de retirada, tinc dret a que les meves dades siguin eliminades del fitxer de l'estudi. Per tot el que s'ha exposat anteriorment.

DONO EL MEU CONSENTIMENT A:

1. Participar en el projecte «Entrenament de control motor lumbopelvià, força explosiva i flexibilitat per Gimnàstica Rítmica».
2. Que l'equip d'investigació SAFE i la alumna, Cristina Cabrejas Mata com a investigadora principal, puguin gestionar les meves dades personals i difondre la informació que aquest projecte generi. Es garanteix que es preservarà en tot moment la meva identitat i intimitat, amb les garanties establertes a la Llei 15/1999 de protecció de dades i normativa complementària.
3. Que l'equip SAFE conservarà tots els registres efectuats sobre la meva persona en suport electrònic, amb les garanties i els terminis legalment previstos, si estiguessin establerts, i a falta de previsió legal, pel temps que fos necessari per complir les funcions del projecte per les que les dades van ser recaptades.

A Barcelona a.....de.....2019

Signatures:

Participant

Mare, pare o tutor

Investigador principal

11.2. ENTRENAMENT FUNCIONAL INTEGRAT DE CORE

Proposta d'entrenament - Doctorat Cristina Cabrejas

Programa de core i força explosiva per gimnastes de rítmica del Club Muntanyenc Sant Cugat.

Durada de la intervenció: 8 setmanes

Objectiu: La millora de l'estabilitat lumbopelviana, dels equilibris; *passé* tancat, equilibri cama al costat amb ajuda i *arabesque*, i dels salts; corza des d'*assemblée*, tisores i gambada.

S= Setmana; Series x repeticions; D= Dreta; E= Esquerra

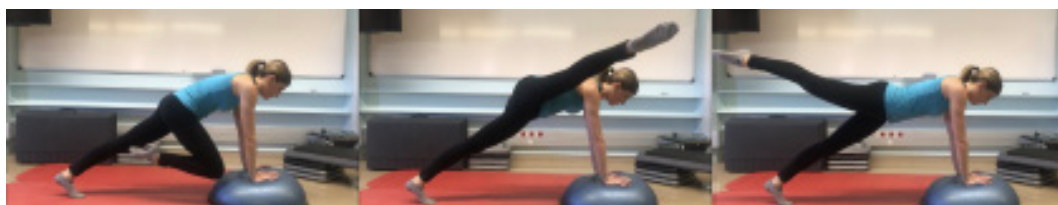
BLOC 1: CIRCUIT

7 estacions, durada: 10 min

- **Lateral hip bridge** amb bossu (posicions de *passé*, cama al costat, *arabesque*)
 - S1,2: 2x6 (D i E aguantant 2" a cada posició = 45" aprox)
 - S3,4,5,6: 3x6 (D i E aguantant 2" a cada posició = 45" aprox)
 - S7,8: 4x6 (D i E aguantant 2" a cada posició = 45" aprox)



- **Prone plank** amb braços estirats amb pilota de rítmica, bàsquet o goma-escuma (posicions de *passé*, cama costat i *arabesque*)
 - S1,2,3,4,5,6: 3x6 (D i E aguantant 2" a cada posició = 45" aprox)
 - S7,8: 4x6 (D i E aguantant 2" a cada posició = 45" aprox)



- **Multisalts amb equilibri amb cons** (posicions de *passé*, cama al costat i *arabesque*)
 - S1,2,3,4,5,6,7: 2x6 (alternant D i E)
 - S8: 3x6 (alternant D i E)



- **Multisalts amb salt + equilibri post salt** (posicions de *passé*, cama al costat i *arabesque*)
 - S1,2,3,4,5,6,7: 2x6 (alternant D i E)
 - S8: 3x6 (alternant D i E)

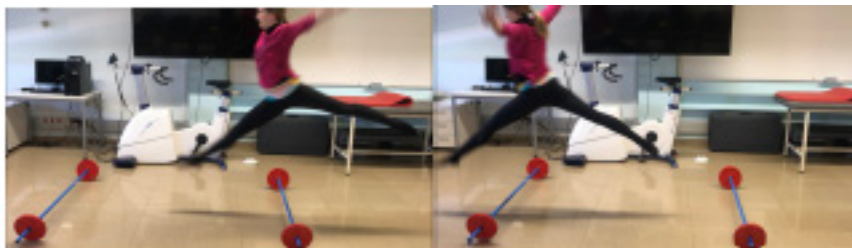


- **Multisalts amb els diferents salts** (corza, tisora)
 - S1,2: 2x8 (alternant D i E)
 - S3,4,5: 4x8 (alternant D i E)
 - S6,7,8: 6x8 (alternant D i E)

*A la corza es salta des de dos peus i les tisores des d'un peu



- **Multisalts amb zancades** amb tanquetes
 - S1,2,3,4,5: 4x8 (alternant D i E)
 - S6,7,8: 6x8 (alternant D i E)



- **Equilibris sobre disc d'equilibri** (*passé*, *costat*, *arabesque*)
 - S1,2,3,4,5: 2x3 (aguantant 5" una serie D i una E)
 - S6,7,8: 2x3 (aguantant 10" una serie D i una E)

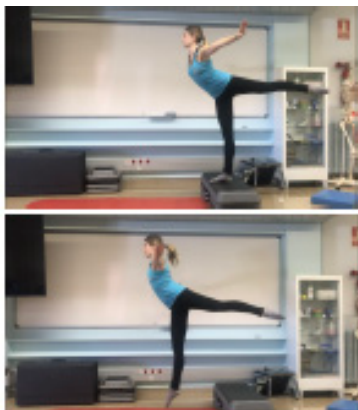


Bloc 2: PLIOMETRIA + EQUILIBRIS I SALTS ESPECÍFICS DE GR

- Part de FORÇA EXPLOSIVA (salts) amb bancs suecs - Files (amb 3 bancs, dues gimnastes per banc i dos torns) Durada aproximada 15 mins
- Drop- jump *passé*
 - S1,2,3,4,5,6,7,8: 1x2 (D i E)



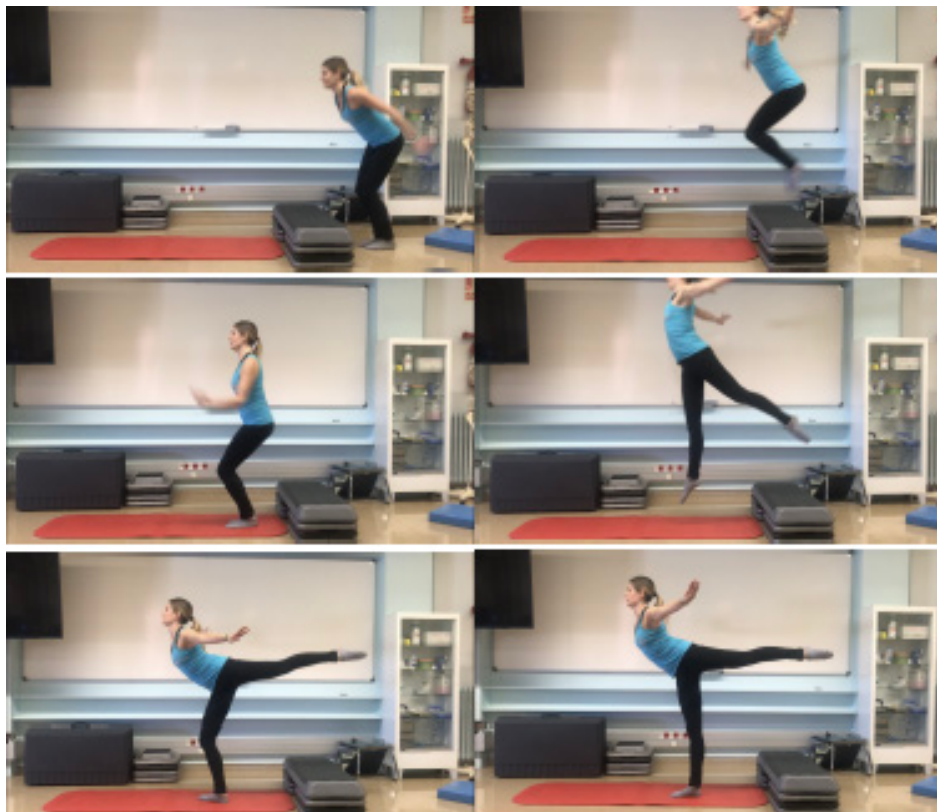
- Drop - jump *arabesque*
 - S1,2,3,4,5,6,7,8: 1x2 (D i E)



- Jump-Drop-Jump *passé*
 - S1,2,3,4,5,6,7,8: 1x2 (D i E)



- Jump-Drop-Jump *arabesque*
 - S1,2,3,4,5,6,7,8: 1x2 (D i E)



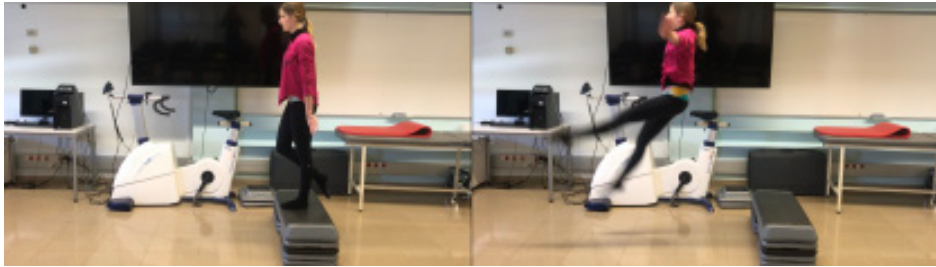
- Jump-Drop-Jump Cama al costat
 - S1,2: 0
 - S3,4,5,6,7,8: 1x2 (D i E)



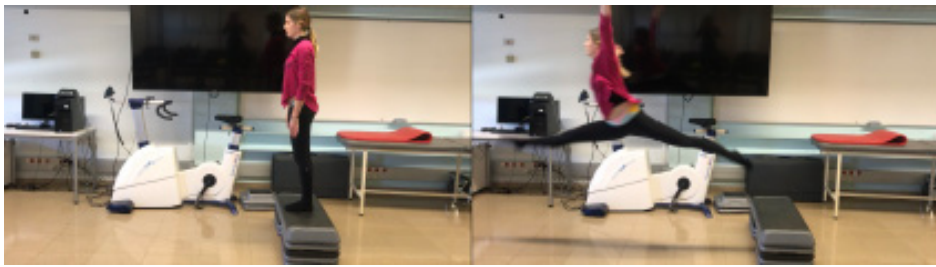
- Drop - Jump corza (1 x D i E)
 - S1,2,3,4,5: 1x2 (D i E)
 - S6,7,8: 1x4 (D i E)



- Drop - Jump tisores (1 x D i E)
 - S1,2,3,4,5: 1x2 (D i E)
 - S6,7,8: 1x4 (D i E)



- Drop - Jump gambada (1 x D i E)
 - S1,2,3,4,5: 1x2 (D i E)
 - S6,7,8: 1x4 (D i E)

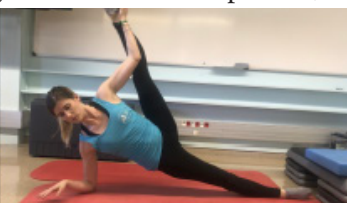


Bloc 3: CORE + PLIOMETRIA + EQUILIBRIS I SALTS ESPECÍFICS DE GR

- Durada aproximada 15 mins
- Lateral planks amb braços estirats (*passé*, cama costat i *arabesque*)
 - S1,2,3,4,5: 2x6 (D i E aguantant 2" a cada posició)
 - S6,7,8: 4x6 (D i E aguantant 2" a cada posició)



- Lateral plank amb colzes a terra (*passé*, cama costat i *arabesque*)
 - S1,2,3,4,5: 2x6 (D i E aguantant 2" a cada posició)
 - S6,7,8: 4x6 (D i E aguantant 2" a cada posició)



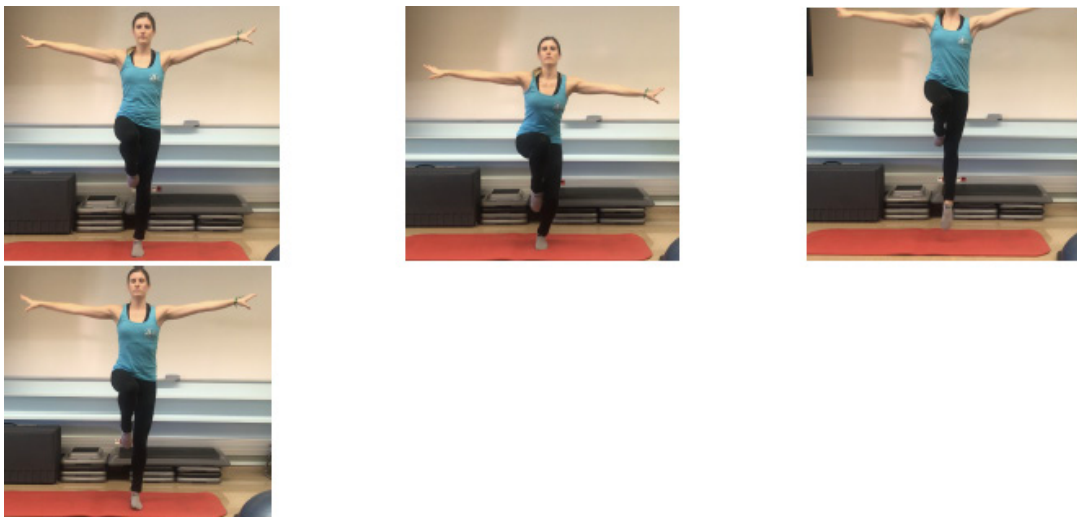
- Pelvic Tilt amb pujant i baixant malucs (*passé* i cama al costat)
 - S1,2,: 2x4 (aguantar 8" D i E a cada posició)
 - S3,4,5,6,7,8: 4x6 (aguantar 16" D i E a cada posició)



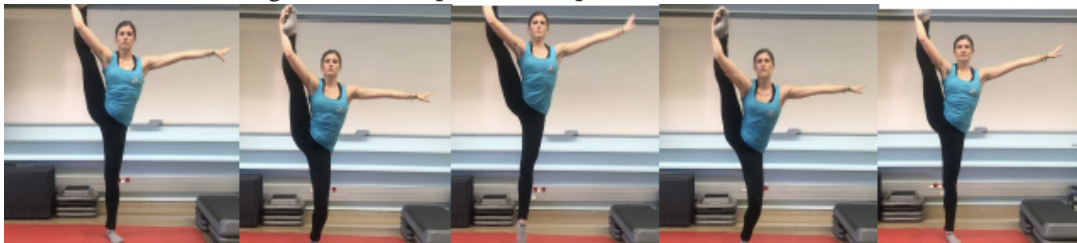
- Pelvic Tilt amb rebots saltant (*passé* i cama al costat)
 - S1,2,: 2x4 (aguantar 8" D i E a cada posició)
 - S3,4,5,6,7,8: 4x6 (aguantar 16" D i E a cada posició)



- Pliometria amb *passé*
 - S1,2,: 2x4 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)
 - S3,4,5,6,: 4x8 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)
 - S7,8: 4x10 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)



- Pliometria amb cama al costat
 - S1,2,: 2x4 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)
 - S3,4,5,6,: 4x8 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)
 - S7,8: 4x10 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)



- Pliometria amb *arabesque*
 - S1,2,: 2x4 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)
 - S3,4,5,6,: 4x8 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)
 - S7,8: 4x10 (aguantar 8" la posició d'equilibri D i E)



Quadre resum entrenament funcional integrat de core

Block 1. Circuit *							
1. Lateral hip bridge with Bossu (a)	2. Prone plank with hand placed on soft ball (a)	3. Passe, side balance and arabesque over an unstable disc	4. Plyometric hops combining passe, side balance and arabesque	5. Plyometric hops: hop passe-hop, hop arabesque-hop, hop side balance-hop	6. Plyometric hops executing the scissor leap	7. Plyometric hops executing the stag leap	8. Plyometric hops executing the split leap
Block 2. Plyometric exercises							
9. Drop Jump passe (b)	10. Drop Jump arabesque (b)	11. Jump-Drop-Jump passe (b)	12. Jump-Drop-Jump arabesque (b)	13. Jump-Drop-Jump side balance (b)	14. Plyometric hops with passe	15. Plyometric hops with side balance	16. Plyometric hops with arabesque
Block 3. Core stability exercises							
17. Drop Jump stag leap (b)	18. Drop Jump scissors leap (b)	19. Drop Jump split leap (b)	20. Lateral plank with arm straight (a)	21. Lateral plank with elbow (a)	22. Hip bridge with passe	23. hip bridge with side balance	
					24. hip bridge + plyometric with passe *	25. hip bridge + plyometric with side balance *	

11.3. VÍDEO ENTRENAMENT FUNCIONAL INTEGRAT DE CORE

Vídeo Resum entrenament funcional integrat de core per joves gimnastes de rítmica:

<https://drive.google.com/drive/folders/1bSAx-6PMbj1zzD8itqPQO6uFGdKjw61>

11.4. PLANIFICACIÓ SETMANAL ENTRENAMENTS

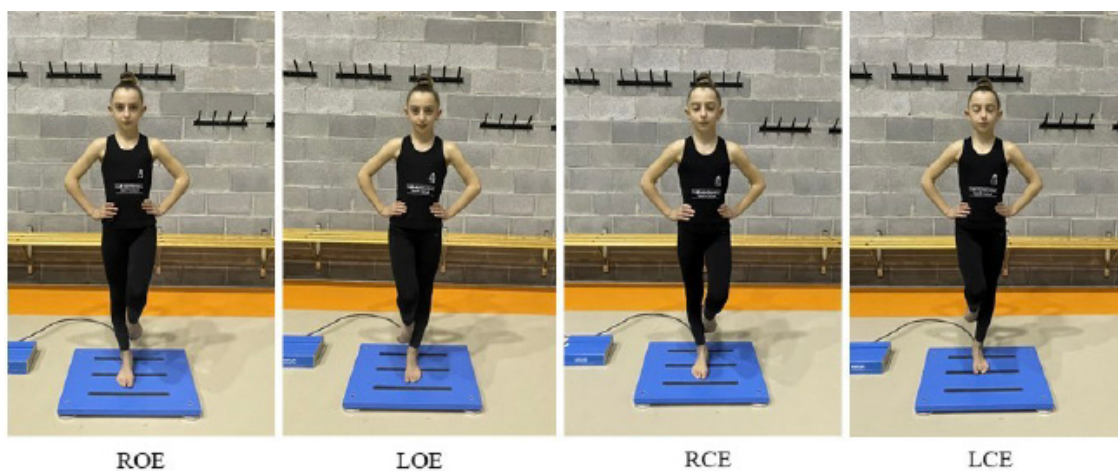
Hora	Dimarts		Dijous		Divendres	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC
18:00-18:30	Activació i estiraments		Activació i estiraments		Activació i estiraments	
18:30-19:00	Intervenció CST	Escalfament tradicional de GR	Intervenció CST	Escalfament tradicional de GR	Intervenció CST	Escalfament tradicional de GR
19:00-19:15	Flexibilitat als bancs		Flexibilitat als bancs		Flexibilitat als bancs	
19:15-20:15	Ballet + Equilibris i girs		Acrobàcies i salts		Maneig d'aparell	
20:15-21:00	Coreografies de competició		Coreografies de competició		Coreografies de competició	

11.5. PROTOCOL DE TESTS ESTUDI 2

Test d'equilibri unípede (SLST)

Els subjectes van realitzar quatre equilibris diferents d'una cama sobre la plataforma en ordre aleatori. El període de repòs entre condicions va ser d'entre tres i cinc minuts. El SLST es va realitzar sobre el membre inferior dret o esquerre i amb els ulls oberts o tancats.

Els equilibris es van realitzar a peus descalços respectant les condicions ecològiques de la GR. El peu de suport es va col·locar al centre de la plataforma. Es va aixecar la cama sense suport perquè el dit gros del subjecte toqués lleugerament el mal·lèol medial de la cama de suport (sense suport). Els dos malucs es van col·locar en una posició neutra. Les participants es van posar dretes a la plataforma de força amb les mans col·locades als costats dels malucs. Per als equilibris realitzats amb els ulls oberts, es va demanar a les gimnastes que mirassin una marca col·locada a l'alçada dels seus ulls a la paret a un metre de la plataforma. En la condició d'ulls tancats, es va demanar als participants que tanquessin els ulls després d'un senyal de l'experimentador. Els enregistraments es van iniciar després que la postura era estable a la plataforma i duraven 30 s. Es suggereix que en un temps d'enregistrament de 30 s els paràmetres posturogràfics són estables i fiables (Scoppa et al., 2013). Cada tasca d'una cama es va repetir tres vegades amb un interval de repòs de 10 s aproximadament. Els investigadors van evitar els patrons d'aprenentatge mantenint-se en silenci i sense donar cap comentari sobre els intents.



Tests d'equilibri específics de RG

En ordre aleatori es va demanar a les gimnastes que realitzessin els equilibris amb la cama dominant, descalces i estiguessin en la posició el més quieta possible amb peu pla. El període de repòs entre condicions va ser d'entre tres i cinc min. Els enregistraments es van iniciar després que la postura es tornés estable a la plataforma. La durada dels enregistraments va ser de 10 s, el temps més curt possible que permet el programari de la plataforma, per mantenir la similitud amb el temps real dels equilibris de GR, que acostumen a ser d'un màxim de dos s en competicions (Gateva, 2016). Cada element d'equilibri es va repetir tres vegades amb un interval de repòs de

10 s aproximadament. Els investigadors van evitar els patrons d'aprenentatge mantenint-se en silenci i sense donar cap comentari en els tres intents.

L'avaluació de l'execució dels equilibris es va fer d'acord amb les sol·licituds de la F.I.G. Code Score (Federació Internacional de Gimnàstica (F.I.G), 2017) per tres jutgesses de GR. Les jutgesses van arribar a la puntuació després de restar les deduccions d'execució. En funció de la falta s'aplicava una deducció superior o inferior. Faltes petites 0,10 punts, faltes mitjanes 0,20-0,30 punts i faltes grans 0,50 punts o més. Les jutgesses van tenir en compte les dimensions de la col·locació del cos, l'amplitud, l'estabilitat i la netedat corporal. La mala execució dels equilibris va rebre puntuacions més altes i els equilibris ben realitzats van obtenir puntuacions més baixes. La millor puntuació dels tres intents es va registrar per a anàlisis posteriors i la mitjana de punts de tres jutges va representar el valor final de la puntuació.

Mesures antropomètriques

Totes les mesures antropomètriques van ser desenvolupades per un investigador certificat ISAK segons els procediments estàndard ISAK.

11.7. GALERIA D'IMATGES















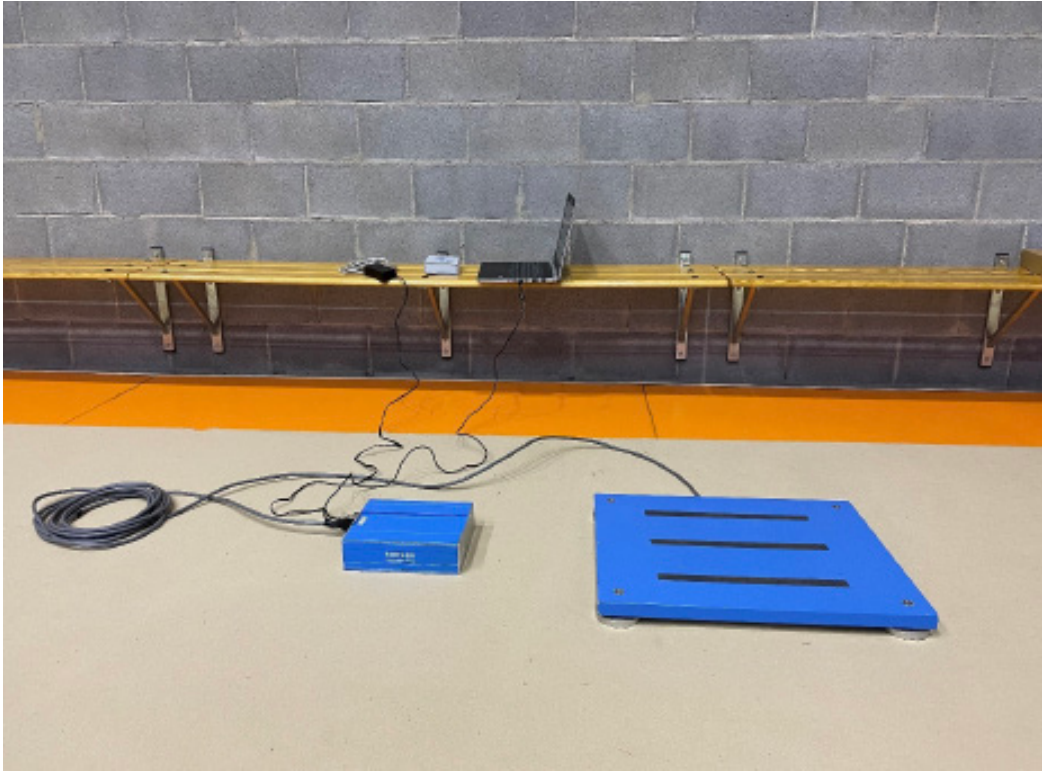


























 **monicasolana2**
Sant Cugat del Vallès



 Liked by **normamasvallespin** and **96 others**

monicasolana2 Último día de per-test antes de empezar la intervención de la tesis de [@cristisardi](#) con las chicas de [#gimnasiaartmica](#) [#loveyjob](#) [#master](#) [#ph](#) [#phdlife](#) [@blanquerna](#)[fcs](#)

TREBALLS PUBLICATS

12. TREBALLS PUBLICATS I/O ENVIATS A PUBLICAR

1r Estudi:

«The Effect of Eight-Week Functional Core Training on Core Stability in Young Rhythmic Gymnasts: A Randomized Clinical Trial»

Publicat el 16 de març del 2022 a la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health* (MPDI)

2n Estudi:

«Does 8 Weeks of Integrated Functional Core and Plyometric Training Improve Postural Control Performance in Young Rhythmic Gymnasts?»

Publicat el 23 de juliol del 2022 a la revista *Motor Control – Human Kinetics Journal*

3r estudi:

«The Effects of an Eight-Week Integrated Functional Core and Plyometric Training Program on Young Rhythmic Gymnasts' Explosive Strength.»

Publicat el 6 de gener del 2023 a la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health* (MPDI).



Article

The Effect of Eight-Week Functional Core Training on Core Stability in Young Rhythmic Gymnasts: A Randomized Clinical Trial

Cristina Cabrejas ¹, Mónica Solana-Tramunt ^{1,2,*}, Jose Morales ¹, Josep Campos-Rius ¹, Alberto Ortegón ^{1,3}, Ainhoa Nieto-Guisado ¹ and Eduardo Carballeira ⁴

¹ Department of Sports Sciences, Ramon Llull University, FPCEE Blanquerna, 08022 Barcelona, Spain; cristinacm19@blanquerna.url.edu (C.C.); josema@blanquerna.url.edu (J.M.); josepcr@blanquerna.url.edu (J.C.-R.); albertoop@blanquerna.url.edu (A.O.); ainhoang@blanquerna.url.edu (A.N.-G.)

² Royal Spanish Swimming Federation, 28007 Madrid, Spain

³ NSCA, 28036 Madrid, Spain

⁴ Department of Physical Education and Sport, Faculty of Sport Science and Physical Education, University of A Coruña, 15179 A Coruña, Spain; eduardo.carballeira@udc.es

* Correspondence: monicast2@blanquerna.url.edu; Tel.: +93-53-30-00



Citation: Cabrejas, C.;

Solana-Tramunt, M.; Morales, J.;

Campos-Rius, J.; Ortegón, A.;

Nieto-Guisado, A.; Carballeira, E.

The Effect of Eight-Week Functional

Core Training on Core Stability in

Young Rhythmic Gymnasts: A

Randomized Clinical Trial. *Int. J.**Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*,3509. [https://doi.org/10.3390/](https://doi.org/10.3390/ijerph19063509)[ijerph19063509](https://doi.org/10.3390/ijerph19063509)

Academic Editors: Filipe Manuel

Clemente, Ana Filipa Silva and

Daniele Conte

Received: 30 January 2022

Accepted: 11 March 2022

Published: 16 March 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors.

Licensee MDPI, Basel, Switzerland.

This article is an open access article

distributed under the terms and

conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY) license ([https://](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)[creativecommons.org/licenses/by/](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

4.0/).

Abstract: It is suggested that core stability (CS) might improve rhythmic gymnasts' performance. Nevertheless, the effect of core stability training (CST) in CS performance is not clear. Purpose: Evaluating the effect of an eight-week functional CST on young rhythmic gymnasts' CS performance. **Method:** A sample of 45 young female rhythmic gymnasts from a competitive team (age = 10.5 ± 1.8 years, height = 144.1 ± 10.6 cm, weight 38.2 ± 8.9 kg, peak height velocity (PHV) = 12.2 ± 0.6 years) participated in the study. The participants were randomly allocated into the control group (CG) and experimental group (EG) and completed pre-tests and post-tests of specific CS tests using a pressure biofeedback unit (PBU). The CS was assessed by the bent knee fall out (BKFO), the active straight leg raise (ASLR) tests and the pelvic tilt test, all performed on the right and left sides. The EG ($n = 23$) performed an eight-week functional CST program based on rhythmic gymnastics (RG) technical requirements added to the traditional RG training sessions. Meanwhile, the CG ($n = 22$) received the traditional RG training sessions. **Results:** Mixed model analysis showed non-significant interaction effects; however, the ANOVA omnibus test showed a time effect ($p < 0.05$) in right BKFO ($F_{1,42} = 4.60$; $p = 0.038$) and both pelvic tilt tests (right $F_{1,42} = 22.01$, $p < 0.001$; left $F_{1,42} = 19.13$, $p < 0.001$). There were non-significant interaction effects. The fixed effects estimated parameters for right BKFO showed that both groups had less pressure variation after intervention compared with pre-intervention ($\beta = -1.85$ mmHg, 95%CI = $[-3.54$ to $-0.16]$, $t_{42} = -2.14$, $p = 0.038$). Furthermore, the left pelvic tilt ($\beta = 37.0$ s, 95%CI = $[20.4$ to $53.6]$, $t_{42} = 4.37$, $p < 0.001$) improved 8.9 s more than the right pelvic tilt ($\beta = 28.1$ s, 95%CI = $[16.3$ to $39.8]$, $t_{42} = 4.69$, $p < 0.001$) considering both groups together. **Conclusions:** Adding a functional CST to regular training showed a trend in improving the performance of CS-related variables, which could help improve RG-specific performance. Coaches working with rhythmic gymnasts should consider adding a functional CST to regular training to improve CS performance leading to increased specific RG performance.

Keywords: rhythmic gymnastics performance; core motor control; lumbopelvic motor control; lumbopelvic-training; pelvic tilt test; bent knee fall out; active straight leg raise

1. Introduction

Rhythmic gymnastics (RG) is a sport that requires early selection of athletes and intensive training in childhood and adolescence [1,2]. Important performance predictors for RG novices are strength and, in general, physical fitness [3,4]. Rhythmic gymnasts also

Motor Control, (Ahead of Print)
<https://doi.org/10.1123/mc.2022-0046>
 © 2022 Human Kinetics, Inc.
 First Published Online: July 23, 2022

Human Kinetics 
 ARTICLE


Does 8 Weeks of Integrated Functional Core and Plyometric Training Improve Postural Control Performance in Young Rhythmic Gymnasts?

Cristina Cabrejas,¹ Jose Morales,² Mónica Solana-Tramunt,^{1,3}
 Ainhoa Nieto-Guisado,¹ Alesander Badiola-Zabala,^{1,4}
 and Josep Campos-Rius¹

¹Faculty of Psychology, Education Sciences and Sport Blanquerna, Ramon Llull University, Barcelona, Spain; ²Department of Sport Sciences, Faculty of Sports Sciences Blanquerna in Ramon Llull University, Barcelona, Spain; ³Royal Spanish Swimming Federation, Madrid, Spain; ⁴Department of Health Sciences, FPCEE Blanquerna, Ramon Llull University, Barcelona, Spain

It has been suggested that core stability and plyometric training (CPT) can enhance athletes' postural control. Nevertheless, the effects of an integrated core and plyometric training program on rhythmic gymnastics (RG) performance are unclear. This study aimed to evaluate the effects of an integrated functional CPT program on young rhythmic gymnasts' postural performance. A sample of 44 young female rhythmic gymnasts from a competitive team (age = 10.5 ± 1.8 years) participated in the study. The subjects were randomly divided into a control group and an experimental group. Pre- and posttest design was used. Postural control was assessed using single-leg stance tests and RG-specific balances over a force platform and evaluated by expert RG judges. The experimental group ($n = 23$) completed an 8-week functional CPT program based on RG technical requirements. Meanwhile, the control group ($n = 21$) received their usual training sessions. A mixed model of analysis of variance was applied to evaluate the effects of an intrasubject factor and an intersubject factor on each of the dependent variables. After 8 weeks, the experimental group obtained significant better results in some variables of the right support leg with eyes open and left support leg with eyes open single-leg support ($p < .01$), improvements were also found in some specific RG balances: Arabesque measured on the force platform ($p < .01$) and the side leg with help balance scored by the judges ($p < .01$). In conclusion, an integrated functional CPT program improved postural control in young rhythmic gymnasts. Coaches should consider using this CPT to improve RG performance.

Keywords: core control, specific core strength, lower limbs power, balance

Morales (josema@blanquerna.url.edu) is corresponding author,  <https://orcid.org/0000-0001-5165-5195>. Jose Morales is now at the Department of Sport Sciences, Blanquerna University, Barcelona, Spain.



Article

The Effects of an Eight-Week Integrated Functional Core and Plyometric Training Program on Young Rhythmic Gymnasts' Explosive Strength

Cristina Cabrejas ¹, Mónica Solana-Tramunt ^{1,2}, Jose Morales ^{1,*}, Ainhoa Nieto ¹, Ana Bofill ³, Eduardo Carballera ⁴ and Emanuela Pierantozzi ⁵¹ Department of Sports Sciences, Ramon Llull University, FPCEE Blanquerna, 08022 Barcelona, Spain² Royal Spanish Swimming Federation, 28007 Madrid, Spain³ Department of Medical Sciences, Faculty of Medicine, University of Girona, 17071 Girona, Spain⁴ Department of Physical Education and Sport, Faculty of Sport Science and Physical Education, Campus Bastiagueiro, University of A Coruña, 15179 Oleiros, Spain⁵ Department of Neuroscience, Rehabilitation, Ophthalmology, Genetics, Maternal and Child Health, University of Genoa, 1700 Genoa, Italy

* Correspondence: josema@blanquerna.url.edu; Tel.: +34-932533000



Citation: Cabrejas, C.; Solana-Tramunt, M.; Morales, J.; Nieto, A.; Bofill, A.; Carballera, E.; Pierantozzi, E. The Effects of an Eight-Week Integrated Functional Core and Plyometric Training Program on Young Rhythmic Gymnasts' Explosive Strength. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 1041. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021041>

Academic Editors: José Alberto Frade Martins Parraca, Bernardino Javier Sánchez-Alcaraz Martínez and Diego Muñoz Marin

Received: 30 November 2022

Revised: 30 December 2022

Accepted: 3 January 2023

Published: 6 January 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Background: Explosive strength is essential for rhythmic gymnasts' performance. It has been suggested that core stability (CS) and plyometric training can enhance athletes' explosive strength. Nevertheless, there is some uncertainty about the effects of integrated core and plyometric training (CPT) programs on rhythmic gymnastics (RG) performances. Purpose: to evaluate the effects of an integrated functional CPT program on young rhythmic gymnasts' explosive strength and jump/leap performance. Method: We recruited 44 young (age = 10.5 ± 1.8 years old; peak height velocity, PHV = 12.2 ± 0.6 years old) female rhythmic gymnasts and randomly allocated them into a control group (CG) and an experimental group (EG). Pre and post-intervention, the explosive strength of both groups was assessed using countermovement jump (CMJ) and single-leg CMJ (SLCMJ) tests, conducted using a force platform, and expert RG judges evaluated their performance of RG-specific jumps. Before the post-test, the EG ($n = 23$) completed an 8 week functional CPT program based on RG technical requirements. Meanwhile, the participants in the CG ($n = 21$) received their regular training sessions. Linear mixed model analyses were applied to evaluate the effects of an intra-subject factor (TIME: pre-post) and an inter-subject factor (GROUP: control-experimental) on each dependent variable. When no significant interaction effect was found, Cohen's d effect size was calculated. Results: After 8 weeks, the EG obtained significantly better results in all variables measured by the CMJ and SLCMJ ($p < 0.01$) tests. The judges' scores indicated greater improvements in the EG after the CPT program in the stag and the split leap. Conclusions: An integrated functional CPT program improved explosive strength in a group of young rhythmic gymnasts and had a large impact on aspects of RG-specific performance. Coaches should consider using this CPT to improve RG performance.

Keywords: rhythmic gymnastics; lower limb power; jumping ability; specific core strength; plyometric training; integrated training; rhythmic gymnastics performance

1. Introduction

Strength is among the main physical capacities that have been found to contribute to performance in rhythmic gymnastics (RG) [1–4], and it is required for most of the movements and elements in this sport [5]. Successful technical performance, with the necessary range and intensity, is only possible with well-developed strength [6]. Therefore, strength is unquestionably a determining factor in high-performance RG [7].

VITA

Cristina Cabrejas Mata és una apassionada de l'esport i en concret de la gimnàstica rítmica des de que tenia 6 anys, gràcies a la vinculació familiar amb l'esport d'alt rendiment. Des del seu naixement, en la localitat de Barcelona, ha estat vinculada a l'activitat física i l'esport, doncs els seus pares han estat esportistes d'alt rendiment. El seu pare, Roberto Cabrejas, va ser finalista com atleta en la modalitat de salt d'alçada en els JJOO de Moscou '84, va batre el rècord d'Espanya en diverses ocasions i durant molta anys va ser campió d'Espanya de salt d'alçada, i dues vegades en decatló. Per altre banda la seva mare, Herminia Mata, va formar part del primer conjunt de la selecció Espanyola de gimnàstica rítmica que va aconseguir la 3a posició en el mundial de Madrid de 1975. Els dos es van conèixer al CAR de Madrid i han dedicat tota la seva vida a l'esport, el Roberto com a entrenador de salts de llargada i triple salt al CAR de Sant Cugat, i com a professor d'Educació Física, i l'Herminia com a professora de gimnàstica rítmica de l'INEFC de Barcelona durant 45 anys, així com entrenadora i jutge d'alt rendiment en gimnàstica rítmica. Amb tot això, la Cristina i la seva germana Herminia van créixer amb uns forts valors esportius, l'Herminia es va decantar per l'atletisme i bombera de professió, i la Cristina va optar per seguir els passos de la seva mare; ser gimnasta i entrenadora en l'alt rendiment de rítmica i arribar a ser professora de la Universitat.

La Cristina és llicenciada en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport per la Universitat INEFC de Barcelona, disposa d'un màster de formació del professorat per la Universitat de Barcelona i és entrenadora nacional de gimnàstica rítmica. En aquests moments està a la recta final del seu doctorat en Ciències de l'Educació i l'Esport per la Universitat Ramon Llull, Blanquerna-URL.

Resideix a Barcelona, on es dedica a la realització del seu doctorat i a la vegada imparteix classes al grau de CAFE Blanquerna, Universitat Ramon Llull, al grau de CAFE de l'INEFC de Barcelona, i és entrenadora i directora tècnica de la secció de gimnàstica del Club Muntanyenc Sant Cugat. Per poder realitzar el doctorat, també ha hagut de submergir-se en el món de la investigació, participant en el congrés del ECSS de Sevilla 2020, així com publicant diversos articles en revistes científiques.

Actualment la Cristina somia en que és reconegui i es valori la gimnàstica rítmica, així com l'esport femení en general, per poder proporcionar a les nenes referents esportius i poder gaudir de l'activitat física i l'esport durant tota la seva vida. Degut a la seva experiència, esta convençuda que la gimnàstica rítmica dirigida i entrenada per bons professionals, aporta grans beneficis físics i psicològics a tots aquells que la practiquen.

