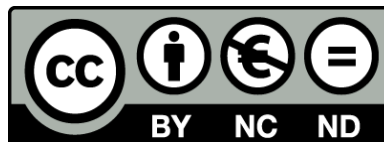




UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Incidència de l'exercici puntual sobre la consolidació motriu segons el requeriment cognitiu de la tasca

Eric Roig Hierro



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0. Spain License.**

TESI DOCTORAL

**Incidència de l'exercici puntual sobre la consolidació
motriu segons el requeriment cognitiu de la tasca**

Eric Roig Hierro

2023



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Incidència de l'exercici puntual sobre la consolidació motriu segons el requeriment cognitiu de la tasca

Memòria presentada per optar al grau de doctor per la Universitat de Barcelona

Programa de doctorat en ACTIVITAT FÍSICA, EDUCACIÓ FÍSICA I
ESPORT

Autor:

Eric Roig Hierro

Director i tutor:

Dr. Albert Batalla Flores

Facultat d'Educació



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Agraïments

Sovint s'utilitza l'analogia del camí per parlar del procés d'elaboració de la tesi doctoral. Mai ho he vist així. Potser avui, que la finalitzo, al mirar enrere trobo tot un camí ple de persones que m'han ajudat arribar al final.

Em sembla lògic començar parlant de la família. Especialment, d'en Jordi i la Tonyi, i viceversa. Qui sempre m'han donat ales i m'han permès, amb mil formes d'ajuda, emprendre el camí. Ah, i han confiat en mi. Impossible d'aconseguir sense ells.

La força i la fe no me l'han donat només els pares, sinó també la Paula. La "Beatriu" que m'ha acompanyat al llarg del camí i m'ha transmès valors com la constància i la generositat per al treball. Ah, i ha confiat en mi.

Avançant hem trobat companys i companyes de camí que, amb rutes diverses, han parat a donar-me consell i coneixement quan ho he necessitat (la Teresa, en Francesc, en Marc...i moltes persones més).

Totes les persones que van participar voluntàriament en els experiments (i les que no es van limitar a participar, com la Mireia), van posar-hi l'imprescindible i valuós temps que necessitava la tesi. Imperiós agraïment.

A un savi vam anar a buscar per avançar de "cercle" en el camí. L'Antonio Ruiz ens va il·luminar el recorregut que ens quedava amb una extrema intel·ligència. I sempre li agrairem.

No he parlat encara del meu company de viatge. O de vida. "Oh, ets tu aquell Virgili? Aquella font que d'eloqüència va vessar cabdals?", va dirigir-se al seu guia just a l'inici del camí. No va donar cap passa sense aprofitar ni deixar d'admirar la saviesa del seu guia. I el lector/a desitja que no es separin els seus camins al final del purgatori. Que gaudeixin del paradís qui "anells" i "cercles" junts van superar. "Tot mestre, si no ets tu, em sobra", li va dir a Virgili.

En aquesta tesi s'ha utilitzat un llenguatge neutre sense connotació de gènere, a excepció de quan s'especifica. Per tal de facilitar la lectura, s'ha parlat d'autor o d'autora en funció del gènere de la primera persona que apareix a la publicació a la qual es fa referència.

Llistat d'acrònims

AF: activitat física

ACC: circumvolució del cíngol

BDNF: factor neurotròfic derivat del cervell

BG-PMC: circuits que involucren els ganglis basals i el còrtex premotor

BOLD: senyals sobre el nivell d'oxigenació a la sang

CBF: flux de sang al cervell

CMB: descansos actius a l'aula

COGNI-EXE: grup que feia la tasca de major requeriment cognitiu i exercici

COGNI-Control: grup que feia la tasca de major requeriment cognitiu i descansava

COWAT: test controlat d'associació oral de paraules

CSE: excitabilitat corticoespinal

DLPFC: escorça dorsolateral prefrontal

DST: prova de retenció de dígit

EEG: electroencefalografia

FC: freqüència cardíaca

FC màx: freqüència cardíaca màxima

FE: funcions executives

fMRI: ressonància magnètica funcional per imatge

fNIRS: espectroscòpia funcional de l'infraroig proper

HVLT-R: test d'aprenentatge verbal Hopkins revisat

IGF-1: factor de creixement insulínic de tipus I

IMC: índex de massa corporal

IPAQ: qüestionari internacional de l'activitat física

LTD: depressió a llarg termini

LTP: potenciació a llarg termini

MBVRT: test modificat de retenció visual de Benton

M1: escorça motriu primària

NO COGNI-EXE: grup que realitzava la tasca de menor requeriment i exercici

NO COGNI-Control: grup que realitzava la tasca de menor requeriment i descansava

PAL: aprenentatge físicament actiu

PET: tomografia per emissió de positrons

PFC: escorça prefrontal

PPC: escorça parietal posterior

preSMA: l'àrea suplementària premotora

RAH: hipofrontalitat de l'activació reticular

SDMT: test de símbols i dígits

SICI: inhibició intracortical

SMA: àrea suplementària motora

SRTT: tasca de temps de reacció en sèrie

STT: tasca de selecció en sèrie

SVIPT: tasca d'abducció balística del dit polze i de pinçament visual isomètric seqüencial

TMT: test del traçat

VAT: tasca de seguiment i adaptació visomotor

VEGF: factor de creixement endotelial vascular

VO2 màx.: valors del consum d'oxigen màxim

WCST: tasca Wisconsin Card Sorting Test

WTAR: test Wechsler de lectura dels adults

RESUM

L'exercici físic pot incidir positivament en el desenvolupament i rendiment de processos cognitius com les funcions executives (FE) o la memòria. Darrerament, s'ha destacat que una sola sessió d'exercici pot beneficiar el rendiment de les FE a curt termini (en els minuts posteriors a l'exercici) o el rendiment motor a llarg termini (fins 7 dies després de l'exercici). Tot i que s'observa un benefici d'ambdós processos cognitius gràcies a l'exercici agut i que els mecanismes explicatius a nivell biològic (canvis moleculars i funcionals del cervell) són majoritàriament compartits, la majoria d'estudis que han analitzat l'efecte de l'exercici sobre l'aprenentatge motor han emprat tasques d'escassa transferència a contextos habituals on no s'han considerat els requeriments coordinatius ni el paper del control cognitiu durant l'execució. Per aquest motiu, en aquesta tesi s'han aprofitat les investigacions prèvies dels àmbits de recerca de l'exercici i la memòria motriu, i de l'exercici i les FE, per determinar la incidència que una sessió d'exercici intens té sobre la consolidació a llarg termini d'una habilitat motriu esportiva basada en el putt de golf. Addicionalment, s'ha analitzat el paper moderador del requeriment cognitiu de la tasca motriu en l'efecte de l'exercici sobre la consolidació. Un total de 60 persones joves (32 persones de gènere femení i 28 de gènere masculí; $22,71 \pm 1,42$ anys; $21,91 \pm 2,99$ kg·m²) van participar en l'estudi. L'experimentació va consistir en l'execució d'una tasca de precisió a una diana a partir el colpeig de putt de golf i, seguidament, la realització d'una sessió d'exercici intens de cursa per intervals (o descans en els grups control). Dos grups van realitzar la tasca motriu sota condicions d'elevat requeriment cognitiu (a partir de l'efecte Stroop), dels quals un grup feia exercici i l'altre era el seu control, i dos grups realitzaven la tasca motriu en condicions de baix requeriment cognitiu, dels quals un grup feia exercici i l'altre era el seu control. Una setmana després de la primera intervenció, les persones retornaven per dur a terme la mateixa tasca. Els resultats van revelar un impacte positiu de l'exercici sobre la consolidació a llarg termini en ambdós grups que van fer exercici. La millora una setmana després de la intervenció va ser superior en el grup que va fer exercici i la tasca de major requeriment cognitiu, suggerint un efecte de l'exercici sobre la consolidació moderat per la demanda cognitiva de la tasca. Sense la incidència de l'exercici, també es van produir diferències en la consolidació. Mentre el grup que realitzava la tasca de major requeriment cognitiu va millorar el rendiment una setmana després, el grup que va realitzar la tasca de menor requeriment va empitjorar, suggerint que els processos de consolidació poden ser dependents als requeriments cognitius de la tasca.

PARAULES CLAU: Consolidació motriu, Aprenentatge motor, Exercici Agut, Control Cognitiu.

RESUMEN

El ejercicio físico puede incidir positivamente en el desarrollo y rendimiento de procesos cognitivos como las funciones ejecutivas (FE) o la memoria. En los últimos años se ha destacado el efecto positivo de una sesión de ejercicio sobre el rendimiento de las FE a corto plazo o del rendimiento motor a largo plazo (hasta 7 días después del ejercicio). Aunque se observa un beneficio de ambos procesos cognitivos gracias al ejercicio agudo y que los mecanismos explicativos a nivel biológico (cambios moleculares y funcionales del cerebro) son mayoritariamente compartidos, la mayoría de estudios que han analizado el efecto del ejercicio sobre el rendimiento motor han empleado tareas de escasa transferencia a contextos habituales donde no se han considerado los requerimientos coordinativos ni el papel del control cognitivo durante la ejecución. Por este motivo, en esta tesis se han aprovechado las investigaciones previas de los ámbitos de investigación del ejercicio y la memoria motriz, y del ejercicio y las FE, para determinar la incidencia que una sesión de ejercicio intenso tiene sobre la consolidación a largo plazo de una habilidad motriz deportiva basada en el putt de golf. Adicionalmente, se ha analizado el papel moderador del requerimiento cognitivo de la tarea motriz en el efecto del ejercicio sobre la consolidación. 60 personas jóvenes (32 personas de género femenino y 28 de género masculino; $22,71 \pm 1,42$ años; $21,91 \pm 2,99$ kg·m²) participaron en el experimento, que consistió en la ejecución de una tarea de precisión a una diana a partir del golpeo de putt de golf y, seguidamente, la realización de una sesión de ejercicio intenso de carrera por intervalos (o descanso en los grupos control). Dos grupos realizaron la tarea motriz bajo condiciones de elevado requerimiento cognitivo a partir del efecto Stroop, de los cuales un grupo hacía ejercicio y el otro descansaba, y dos grupos realizaban la tarea motriz en condiciones de bajo requerimiento cognitivo, de los cuales un grupo hacía ejercicio y el otro descansaba. Una semana después de la intervención, las personas volvían realizar la misma tarea. Los resultados revelaron una influencia positiva del ejercicio sobre la consolidación a largo plazo en ambos grupos que hicieron ejercicio, que fue superior en el grupo que hizo ejercicio y la tarea de mayor requerimiento cognitivo, sugiriendo un efecto del ejercicio sobre la consolidación moderado por la demanda cognitiva de la tarea. Sin la incidencia del ejercicio, también se produjeron diferencias en la consolidación. Mientras el grupo que realizaba la tarea de mayor requerimiento cognitivo mejoró el rendimiento una semana después, el grupo que realizó la tarea de menor requerimiento cognitivo empeoró, sugiriendo que los procesos de consolidación pueden ser dependientes a los requerimientos cognitivos de la tarea.

PALABRAS CLAVE: Consolidación motriz, Aprendizaje motor, Ejercicio Agudo, Control Cognitivo.

ABSTRACT

Exercise can have a positive impact on the development and performance of cognitive processes such as executive functions (EF) or memory. In this sense, it has been highlighted that a single exercise bout can benefit EF performance (or cognitive control) in the short term and motor performance in the long term (7 days after exercise). Although both processes benefit from acute exercise, and the explanatory mechanisms at the biological level (molecular and functional changes in the brain) are largely shared, most of the studies that have analyzed acute exercise effects on motor performance have selected tasks with little transference to habitual contexts. Moreover, they did not consider the coordinative and cognitive requirements during execution. For this reason, in the present work, we benefited from previous research in acute exercise and motor memory field, and acute exercise and EF, to determine the impact of intense exercise on the long-term consolidation of a motor skill based on golf putting. In addition, we aimed to analyze the moderating role of the cognitive requirement during motor task execution on the effects of acute exercise on consolidation. 60 young people (32 females and 28 males; 22.71 ± 1.42 years; 21.91 ± 2.99 kg-m²) participated in this study. The experiment consisted of performing a golf putt precision task followed by an intense exercise bout based on interval running (or resting for the control groups). Four experimental groups were created. Two groups performed the motor task under cognitive demanding conditions (Stroop effect), where one group realized exercise and the other was the control group. The other two groups performed the motor task under low cognitive demand conditions (without Stroop effect), where one group realized exercise and the other was the control group. One week after the first intervention, the people returned to carry out the same task. The results revealed a positive impact of the exercise on long-term consolidation in both exercise groups. Moreover, the improvement was greater in group that performed exercise and the more cognitively demanding task, suggesting an effect of exercise on consolidation moderated by the cognitive demand of the motor learning task. Without the influence of exercise, there were also differences in consolidation. While the group that performed the more cognitively demanding task improved performance, the group that performed the less cognitively demanding task showed decreases in performance, suggesting that the consolidation processes may depend on the task's cognitive requirements.

KEYWORDS: Motor Consolidation, Motor Skill Learning, Acute Exercise, Cognitive Control.

ÍNDIX

AGRAÏMENTS	I
LLISTAT D'ACRÒNIMS	V
RESUM	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1: JUSTIFICACIÓ I MOTIVACIÓ	1
CAPÍTOL 2: PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA I OBJECTIUS	5
2.1 ENFOCAMENT METODOLÒGIC I PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA DE LA RECERCA	5
2.2 OBJECTIUS	6
2.3 ESTRUCTURA DE LA TESI	6
BLOC I: FONAMENTACIÓ TEÒRICA.....	9
CAPÍTOL 3: INFLUÈNCIA DE L'ACTIVITAT FÍSICA SOBRE LA COGNICIÓ	9
3.1 ANTECEDENTS QUE FONAMENTEN LA RELACIÓ ENTRE L'AF I LA COGNICIÓ.....	10
CAPÍTOL 4: EFECTES DE L'EXERCICI PUNTUAL SOBRE LA MEMÒRIA MOTRIU	13
4.1 NIVELLS D'ANÀLISI EN L'ESTUDI DELS EFECTES DE L'EXERCICI AGUT SOBRE LA MEMÒRIA MOTRIU	17
4.1.1 Nivell d'anàlisi biològic	20
4.2 ENFOCAMENTS DE LA RECERCA DE L'EXERCICI I LA MEMÒRIA MOTRIU.....	26

4.2.1 L'enfocament quantitatiu i els moderadors quantitatius de l'efecte.....	27
4.2.1.1 Intensitat de l'exercici físic.....	28
4.2.1.2 Distància entre la tasca i l'exercici físic	30
4.2.1.3 Ubicació temporal de l'exercici físic en relació a la tasca motriu d'aprenentatge	30
4.2.1.5 Durada de l'exercici agut.....	32
4.2.2 L'enfocament qualitatiu i els moderadors qualitatius de l'efecte.....	32
4.2.2.1 Tipologia de l'exercici agut.....	33
4.2.2.2 Moderadors relatius a les persones.....	34
4.2.2.3 Tasca motriu d'aprenentatge.....	38
CAPÍTOL 5: L'EXERCICI PUNTUAL SOBRE LES FUNCIONS EXECUTIVES	49
5.1 APORTACIONS DEL NIVELL D'ANÀLISI BIOLÒGIC.....	50
5.2 APORTACIONS DEL NIVELL D'ANÀLISI COMPORAMENTAL.....	51
5.2.1 L'exercici agut sobre la tasca de l'efecte Stroop	55
5.2.2 Moderadors quantitatius de l'efecte.....	57
5.2.2.1 Temporalitat de l'exercici físic	57
5.2.2.2 Intensitat i durada de l'exercici físic.....	59
5.2.3 Moderadors qualitatius de l'efecte	60
5.2.3.1 Tipologia de l'exercici físic.....	60
CONCRECIÓ DE LA HIPÒTESI	63
<u>BLOC II: METODOLOGIA.....</u>	<u>67</u>
CAPÍTOL 6: METODOLOGIA	67

6.1 PARTICIPANTS	72
6.1.1 Descripció	72
6.1.2 Justificació.....	74
6.1.3 Relació amb altres estudis	75
6.2 PROCEDIMENT.....	77
6.2.1 Fases	78
6.2.1.1 Descripció.....	78
6.2.1.2 Justificació	79
6.2.1.3 Relació amb altres estudis.....	80
6.2.2 Sessió d'exercici	81
6.2.2.1 Descripció.....	81
6.2.2.2 Justificació	82
6.2.2.3 Relació amb altres estudis.....	83
6.2.3 Tasca motriu	84
6.2.3.1 Descripció.....	84
6.2.3.2 Justificació	87
6.2.3.3 Relació amb altres estudis.....	89
<u>BLOC III: RESULTATS</u>	91
CAPÍTOL 7: INTRODUCCIÓ A L'ANÀLISI DELS RESULTATS	91
7.1 VARIABLES DE L'ESTUDI	91
7.2 JUSTIFICACIÓ ESTADÍSTICA	93

7.3 ANÀLISI ESTADÍSTIC	94
CAPÍTOL 8: RESULTATS PRINCIPALS	97
8.1 OBJECTIU A: DETERMINAR LA INFLUÈNCIA D'UNA SESSIÓ D'EXERCICI SOBRE LA CONSOLIDACIÓ A LLARG TERMINI DE L'HABILITAT MOTRIU DEL COLPEIG DE PUTT	97
8.1.1 Diferències de rendiment a la tasca entre grups.....	98
8.1.2 Consolidació a llarg termini de l'aprenentatge motor.....	102
8.1.3 Taxa de retenció	104
8.2 OBJECTIU B: IDENTIFICAR LA RELACIÓ ENTRE ELS REQUERIMENTS COGNITIVS DE LA TASCA MOTRIU D'APRENENTATGE I L'EFECTE DE L'EXERCICI AGUT SOBRE LA CONSOLIDACIÓ MOTRIU.....	106
8.2.1 Comparació de la consolidació entre grups que realitzaven la mateixa tasca	106
8.2.2 Comparació de la consolidació entre grups que realitzen diferents tasques.....	108
8.3 OBJECTIU C: CARACTERITZAR ELS PROCESSOS DE CONSOLIDACIÓ A LLARG TERMINI DE DUES MEMÒRIES MOTRIUS AMB DIFERENT REQUERIMENT COGNITIU SENSE LA INCIDÈNCIA DE L'EXERCICI.....	109
8.3.1 Diferències entre tasques al rendiment inicial.....	109
8.3.2 Diferències entre tasques en la taxa d'adquisició	110
8.3.3 Diferències entre tasques en la consolidació motriu	111
CAPÍTOL 9: RESULTATS DE LES VARIABLES INDEPENDENTS SECUNDÀRIES	113
9.1 DIFERÈNCIES SEGONS EL GÈNERE.....	113
9.1.1 Diferències de rendiment a la tasca	113
9.1.2 Diferències de consolidació motriu	115
9.2 DIFERÈNCIES SEGONS EL NIVELL FÍSIC	116
9.2.1 Diferències de rendiment a la tasca	116

9.2.2 Diferències de consolidació motriu	117
9.3 DIFERÈNCIES SEGONS L'IMC	118
9.3.1 Diferències de rendiment a la tasca	118
9.3.2 Diferències de consolidació motriu	119
9.4 DIFERÈNCIES SEGONS LA PRÀCTICA D'AF	119
9.4.1 Diferències de rendiment a la tasca	119
9.4.2 Diferències de consolidació motriu	120
CAPÍTOL 10: SÍNTESI DELS RESULTATS PRINCIPALS	123
CAPÍTOL 11: DISCUSSIÓ DELS RESULTATS	125
11.1 OBJECTIU A) DETERMINAR LA INFLUÈNCIA D'UNA SESSIÓ D'EXERCICI SOBRE LA CONSOLIDACIÓ A LLARG TERMINI DE L'HABILITAT MOTRIU DEL COLPEIG DE PUTT	126
11.1.1 Sobre la intensitat de l'exercici físic	127
11.1.2 Sobre la temporalitat de l'exercici físic.....	129
11.1.3 Sobre la tipologia d'exercici físic agut	132
11.2 OBJECTIU B) IDENTIFICAR LA RELACIÓ ENTRE ELS REQUERIMENTS COGNITIVS DE LA TASCA MOTRIU D'APRENTATGE I L'EFECTE DE L'EXERCICI AGUT SOBRE LA CONSOLIDACIÓ MOTRIU.....	135
11.2.1 El paper moderador de la demanda coordinativa en els efectes de l'exercici físic sobre la consolidació dels aprenentatges	136
11.2.2 El paper moderador de la demanda cognitiva en els efectes de l'exercici sobre la consolidació.....	141
11.3 OBJECTIU C) CARACTERITZAR ELS PROCESSOS DE CONSOLIDACIÓ A LLARG TERMINI DE DUES MEMÒRIES MOTRIUS AMB DIFERENT REQUERIMENT COGNITIU SENSE LA INCIDÈNCIA DE L'EXERCICI.....	148
11.3.1 Segons el rendiment inicial.....	148

11.3.2 Segons la consolidació a llarg termini.....	151
CAPÍTOL 12: DISCUSSIÓ DELS RESULTATS DE LES VARIABLES SECUNDÀRIES.....	155
12.1 DIFERÈNCIES SEGONS EL GÈNERE.....	155
12.2 DIFERÈNCIES SEGONS EL NIVELL FÍSIC REPORTAT	157
12.3 DIFERÈNCIES SEGONS L'ÍNDEX DE MASSA CORPORAL.....	158
12.4 DIFERÈNCIES SEGONS EL TIPUS DE PRÀCTICA D'AF REGULAR	158
<u>BLOC IV: CONCLUSIONS</u>	<u>161</u>
CAPÍTOL 13: CONCLUSIONS.....	161
13.1 CONCLUSIONS VINCULADES A L'APLICABILITAT DELS RESULTATS.....	163
13.1.1 Aplicació pràctica.....	163
13.1.2 Innovacions que es poden produir a la recerca específica.....	165
CAPÍTOL 14: LIMITACIONS	167
14.1 LIMITACIONS ESPECÍFIQUES DE L'ESTUDI.....	167
14.2 LIMITACIONS COMPARTIDES AMB ALTRES ESTUDIS DEL CAMP	169
CAPÍTOL 15: PROSPECTIVA.....	171
<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>175</u>
<u>ANNEXOS</u>	<u>217</u>
ANNEX 1. INSTRUMENTS I DOCUMENTACIÓ EMPRADA PER AL DISSENY	217
ANNEX 2. ALTRES CÀLCULS ESTADÍSTICS	225

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Detall sobre el procés d'aprenentatge motor offline.	14
Taula 2. Processos de la memòria motriu que es poden veure impactats per l'exercici puntual	15
Taula 3. Substàncies neuroquímiques produïdes per una sessió d'exercici que s'aprofiten per a la consolidació motriu	18
Taula 4. Resum i fases del procés de potenciació a llarg termini (LTP)	22
Taula 5. Canvis moleculars i funcionals produïts per l'exercici agut i que beneficien el procés de consolidació d'un aprenentatge motor	24
Taula 6. Diferent activació principal de les regions del cervell segons la tasca: tres exemples	39
Taula 7. Resum de les eleccions metodològiques que caracteritzen l'estudi.....	68
Taula 8. Decisions metodològiques per augmentar la qualitat metodològica de l'estudi	70
Taula 9. Característiques bàsiques de les persones incloses a l'estudi segons el grup	73
Taula 10. Decisions relatives a l'edat i la mostra dels estudis publicats i recollits a Roig-Hierro et al. (2022).	77
Taula 11. Moments d'utilització de la prova de retenció emprada als estudis del camp	81
Taula 12. Tipologia d'exercici emprada a les investigacions del camp.....	83
Taula 13. Tasques motrius d'aprenentatge emprades als diferents estudis del camp.....	90
Taula 14. Resum de les variables de l'estudi	93
Taula 15. Valors de mitjana i desviació estàndard de la precisió a les diferents proves segons el grup experimental.....	98
Taula 16. Diferències de medianes de precisió a la tasca segons parelles de grups.....	100
Taula 17. Diferències de medianes de consistència a l'adquisició i retenció segons parelles de grups.....	101

Taula 18 . Relació de mitjanes per bloc de precisió i consistència a les diferents proves segons el grup	102
Taula 19. Diferències de medianes de precisió entre el bloc final i inicial de la prova de retenció.....	105
Taula 20. Diferències de medianes de puntuació i consistència per grup en les diferents proves segons el gènere.	114
Taula 21. Diferències de precisió i consistència entre l'adquisició i la retenció. Comparació segons el gènere reportat	115
Taula 22. Diferències de precisió i consistència entre l'adquisició i la retenció. Comparació segons el nivell físic reportat.....	117
Taula 23. Síntesi dels resultats principals de l'estudi	123
Taula 24. Càlcul de la normalitat de la distribució de les dades per a les variables de precisió i consistència als diferents punts per cada grup a partir de la prova de Shapiro-Wilk.....	225
Taula 25. Càlcul de la homogeneïtat de les variàncies de les dades per cada variable als diferents punts partir del test de Levene.....	227
Taula 26. Percentatge dels canvis individuals de precisió entre la prova d'adquisició i la de retenció.....	229
Taula 27. Percentatge dels canvis individuals de consistència entre la prova d'adquisició i retenció.....	230

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Mapa de conceptes de la tesi segons l'ordre d'aparició.....	8
Figura 2. Elements destacats a la literatura com a moderadors dels efectes de l'exercici sobre la memòria motriu.....	28
Figura 3. Esquema de les fases de l'experiment.....	79
Figura 4. Representació de la tasca motriu emprada al present experiment.....	85
Figura 5. Exemple d'ordre a un intent de colpeig de la tasca EF.....	86
Figura 6. Procediments estadístics realitzats per a l'anàlisi de les dades.....	96
Figura 7. Ordre de presentació dels resultats i relació amb els continguts que es tractaran en els propers apartats.....	97
Figura 8. Mitjana de la puntuació per blocs d'intents a les diferents proves segons el grup.....	99
Figura 9. Consistència a la tasca durant l'adquisició i la retenció a cada grup.....	100
Figura 10. <i>Evolució de la precisió entre l'adquisició i la retenció.</i>	103
Figura 11. <i>Evolució dels valors mitjans de consistència entre proves a cada grup.</i>	104
Figura 12. Evolució de les puntuacions entre el darrer bloc d'adquisició i els blocs de la retenció.....	105
Figura 13. Canvis de puntuació mitjana entre l'adquisició i la retenció segons el grup.....	107
Figura 14. Evolució de la consistència de les puntuacions entre l'adquisició i la retenció.....	108
Figura 15. Valors de precisió a l'adquisició segons la tasca motriu realitzada.....	110
Figura 16. Evolució de les puntuacions durant els blocs d'adquisició segons la tasca.....	111
Figura 17. Evolució de la precisió mitjana per bloc entre l'adquisició i la retenció. Comparació dels dos grups control.....	112
Figura 18. Puntuació a la prova d'adquisició segons el grup i el gènere.....	114

Figura 19. Diferències de la delta de precisió a cada grup segons el gènere de les persones. .	116
Figura 20. Diferències de delta de precisió a cada grup segons el nivell físic reportat.....	118
Figura 21. Diferències de delta de precisió entre grups segons la tipologia d'AF regular reportada.	121
Figura 22. Exemple escala PEDro en versió resumida.	217
Figura 23. Qüestionari emprat per determinar l'índex de lateralitat de les persones.	218
Figura 24. Model de consentiment informat emprat a la present investigació.....	219
Figura 25. Dictamen favorable de la comissió bioètica respecte el disseny experimental de la tesi doctoral.....	220

INTRODUCCIÓ

Capítol 1: Justificació i motivació

Una de les perspectives des de la qual s'ha abordat recentment l'impacte de l'AF sobre les persones és en relació amb el rendiment acadèmic d'infants i joves (Singh et al., 2019). L'interès de l'anterior se centra en la comprensió i descripció, des de diferents nivells d'anàlisi, dels beneficis que l'AF provoca sobre els processos d'aprenentatge i consolidació en contextos formatius.

Això ha derivat en un auge d'intervencions a partir de l'AF dirigides a infants i joves i que la recerca ha destacat l'impacte positiu sobre el rendiment acadèmic (Donnelly et al., 2016). La influència que tenen aquests resultats sobre la societat es fa visible tant a les escoles, que inclouen noves metodologies basades en els descansos actius a l'aula (CMB) (Watson et al., 2017) o l'aprenentatge físicament actiu (PAL) (Mullender-Wijnsma et al., 2016), com a les polítiques nacionals, com és el cas de Dinamarca que ha incrementat el temps d'AF obligatòria a les escoles (Skovgaard & Johansen, 2020).

Això no obstant, la majoria de programes i intervencions es dirigeixen a la millora del control cognitiu i dels processos d'aprenentatge no motriu (Daly-Smith et al., 2018), mentre només les intervencions PAL de motricitat integrada atenen intencionadament la dimensió motriu, tot i que la finalitat és la potenciació d'altres processos d'aprenentatge, cognitius i de comportament (Mavilidi et al., 2022). Així doncs, el rendiment acadèmic s'ha concretat a partir d'indicadors basats en aprenentatges curriculars no procedimentals sense tenir en compte els aprenentatges relacionats amb el cos i la motricitat.

Per aquest motiu, no es detecten intervencions d'AF que es dirigeixin a la millora del rendiment acadèmic motriu, ni dels processos d'aprenentatge i consolidació motriu. Aquesta mancança detectada es contraposa amb l'objectiu personal d'incrementar el valor de les experiències motrius als àmbits formatius, així com amb l'interès de dotar d'eines i recursos formadors per millorar els processos d'aprenentatge motor. Derivat d'aquest interès, es justifica l'aproximació personal a l'àmbit d'estudi de l'exercici i la memòria motriu.

La preocupació constant de les persones formadores per millorar els processos d'aprenentatge motor és compartida en diferents àmbits, com pot ser l'esportiu, el de l'Educació Física, o fins i

tot laboral. Per aquest motiu, la recerca s'ha centrat a descriure les condicions de pràctica i les decisions pedagògiques que potencien l'aprenentatge motor des de diferents àmbits de les neurociències, com el feedback (Wang et al., 2017), la variabilitat en la pràctica (Pesce et al., 2019) o l'organització de la pràctica (Lin et al., 2018). Més enllà de les decisions i condicions durant l'execució, en els darrers anys s'ha proposat una estratègia complementària per potenciar els processos d'aprenentatge motor, com és realitzar una sessió d'exercici (Wanner, Cheng, et al., 2020).

L'objectiu d'aquest àmbit se centra a descriure la incidència que l'exercici i, concretament, l'exercici puntual, pot tenir en la potenciació dels processos d'adquisició i consolidació de les habilitats motrius. L'aplicabilitat d'aquests resultats en els àmbits formatius i esportius pot arribar a ser elevada, esdevenint en propostes pràctiques —com el PAL o els CMB— que es dirigeixin a incrementar la qualitat dels processos d'aprenentatge i rendiment motor.

Fins al moment, l'àmbit de recerca de l'exercici agut i la memòria motriu s'ha abordat des d'una perspectiva clínica i poc aplicable a contextos formatius i esportius: només es disposen de dos estudis amb nens/es (Angulo-Barroso et al., 2019; Lundbye-Jensen et al., 2017) i només un estudi ha analitzat l'efecte de l'exercici sobre una habilitat esportiva (Bonuzzi et al., 2020). Per aquest motiu, previ a l'anàlisi d'intervencions en contextos formatius i esportius amb infants, es destaca la necessitat de realitzar un seguit d'investigacions prèvies que resolguin les mancances detectades a l'àmbit. Sobretot aquelles que es relacionen amb l'increment de l'aplicabilitat i transferibilitat dels resultats.

En aquest sentit, una de les limitacions que s'han detectat en aquest àmbit d'estudi i que es comentarà al llarg del treball, és l'absència d'investigacions dirigides a entendre el paper de la tasca motriu. És a dir, com l'exercici agut influencia diferents tasques d'aprenentatge motor. No només la comparació entre tasques, sinó la utilització de tasques que siguin més transferibles als contextos quotidians de les persones. Aquests passos es consideren clau per augmentar l'aplicabilitat i transferència dels resultats, perquè la inclusió de major diversitat de tasques motrius pot facilitar l'aplicació de les intervencions en contextos d'aprenentatge motor variats.

Abans de fer la comparació de diferents tasques motrius s'ha volgut determinar l'afectació de l'exercici a la tasca en funció de les característiques qualitatives d'aquesta. Concretament, les determinades a partir de la dimensió cognitiva. Aquesta dimensió sovint ha estat oblidada en les tasques d'aprenentatge emprades en l'àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu. Per abordar aquesta qüestió, ha calgut l'aproximació a un altre àmbit de recerca, el de l'exercici agut i les funcions executives (FE en endavant). Tot i que el darrer àmbit d'estudi ha estat tradicionalment

desvinculat de l'àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu, en el present treball s'han destacat les convergències.

Per tal d'abordar les necessitats destacades anteriorment, en el present estudi es concentren dues innovacions principals: la utilització d'una tasca motriu esportiva i l'anàlisi del paper del control cognitiu durant l'execució motriu amb relació a l'impacte de l'exercici agut sobre la consolidació d'aquesta habilitat. Donat que el focus de l'estudi s'ha centrat en l'anterior, algunes decisions (com la població d'estudi o els paràmetres de l'exercici) han replicat investigacions anteriors. Això respon a la voluntat de voler avançar en l'àmbit de recerca amb la rigorositat i prudència que les evidències prèvies proporcionen.

La recerca que es descriu, recull nombroses vinculacions personals que venen determinades per la meua formació i experiència professional. Per dur a terme la present investigació s'han hagut de considerar els coneixements i vivències que m'ha aportat la meua experiència com a mestre d'Educació Primària, com formador de formadors, així com a entrenador de futbol i basquetbol. La pertinença al programa de doctorat "Activitat Física, Educació Física i Esport" i al grup de treball "Motricitat, Cognició, Infància i Escola", m'ha facilitat l'accés al coneixement investigador necessari per abordar un àmbit de recerca tant recent com vinculat als interessos del programa i del grup. Per aquests motius, així com pels anteriors, s'ha treballat en aquesta tesi amb la voluntat de generar una aportació, per humil que sigui, en l'àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu que permeti avançar cap a l'aplicabilitat en contextos formatius i esportius.

Capítol 2: Plantejament del problema i objectius

2.1 Enfocament metodològic i plantejament del problema de la recerca

L'àmbit d'estudi de l'exercici agut i la memòria motriu s'ha abordat des d'una perspectiva, majoritàriament, clínica i poc aplicable als contextos formatius i educatius habituals. Els avenços d'aquestes recerques han generat un marc metodològic d'intervenció que permet acceptar algunes premisses en relació amb les decisions que la persona formadora pot prendre durant el disseny de les intervencions. Una de les conseqüències de l'anterior és que s'ha renunciat a estudiar aspectes que incrementen l'aplicabilitat i transferència dels resultats que proporciona l'àmbit, com el paper de la tasca motriu d'aprenentatge.

Acceptant el valor de les recerques anteriors, que fonamentaran i justificaran les decisions que es prendran al llarg del treball, es creu convenient abordar aquest àmbit d'estudi des d'una perspectiva diferent. A continuació s'enumeren els elements diferenciadors, que es desenvoluparan durant la fonamentació teòrica:

- Es crea una tasca esportiva basada en el golf en relació a la necessitat de seleccionar una tasca d'aprenentatge que proporcioni major aplicabilitat a contextos usuals.
- La selecció del golf com a disciplina esportiva per inspirar la tasca es fonamenta en la facilitat de controlar i gestionar, com a investigador, moltes de les variables estranyes que sovint influencien els dissenys experimentals que emprèn tasques esportives. Es tracta d'una modalitat individual i sense interacció directa amb l'oposició, amb una execució discreta de l'habilitat.
- Per tal d'analitzar el paper que el control cognitiu durant l'execució pot exercir sobre els efectes de l'exercici agut en la consolidació, es van comparar dues tasques motrius amb idèntica execució motriu però condicionada a dos tipus de contextos d'execució. En un context es va incrementar la demanda cognitiva prèvia al llançament, mentre que en l'altre es va reduir al màxim.
- Es destaca la facilitat per integrar les demandes cognitives sobre l'execució de l'habilitat motriu (per respondre a un dels objectius d'anàlisi de la tesi) a partir de la modalitat esportiva seleccionada. En comparació a proves pilot prèvies realitzades en aquesta tesi i basades en modalitats esportives com l'handbol, el golf facilitava la integració d'aquestes demandes sense incórrer en possibles interferències derivades de la mateixa modalitat esportiva.

- En relació amb la necessitat d'integrar les demandes cognitives cal concretar que en el present estudi s'ha creat la tasca d'aprenentatge de forma específica.
- Addicionalment, les variables seleccionades per analitzar el rendiment motor també s'alineen amb la necessitat descrita prèviament d'incrementar l'aplicabilitat a contextos habituals. Tant les variables com les seves formes de mesura són senzilles d'emprar per a persones formadores i entrenadores.

Les decisions anteriors atenen al problema d'investigació que dona peu a aquest estudi. Concretament, en aquesta investigació s'analitzen els efectes d'una sessió d'exercici sobre la consolidació d'una habilitat motriu discreta de colpeig i es comparen els efectes segons si l'adquisició es fa a partir d'una pràctica amb elevat requeriment del control cognitiu per a l'execució o d'una pràctica amb reduït requeriment del control cognitiu.

2.2 Objectius

L'objectiu del present estudi és el de determinar la incidència de l'exercici puntual sobre la consolidació a llarg termini de les habilitats motrius adquirides sota les mateixes condicions d'execució motriu però amb diferent requeriment cognitiu.

Els objectius específics que permeten concretar l'anterior són:

- a) Determinar l'impacte d'una sessió d'exercici sobre la consolidació a llarg termini de l'habilitat motriu del colpeig de putt.
- b) Identificar la relació entre els requeriments cognitius de la tasca motriu d'aprenentatge i l'efecte de l'exercici agut sobre la consolidació motriu.
- c) Caracteritzar els processos de consolidació a llarg termini de dues memòries motrius amb diferent requeriment cognitiu sense la incidència de l'exercici.

2.3 Estructura de la tesi

Aquesta tesi es vertebrava a partir de quatre blocs:

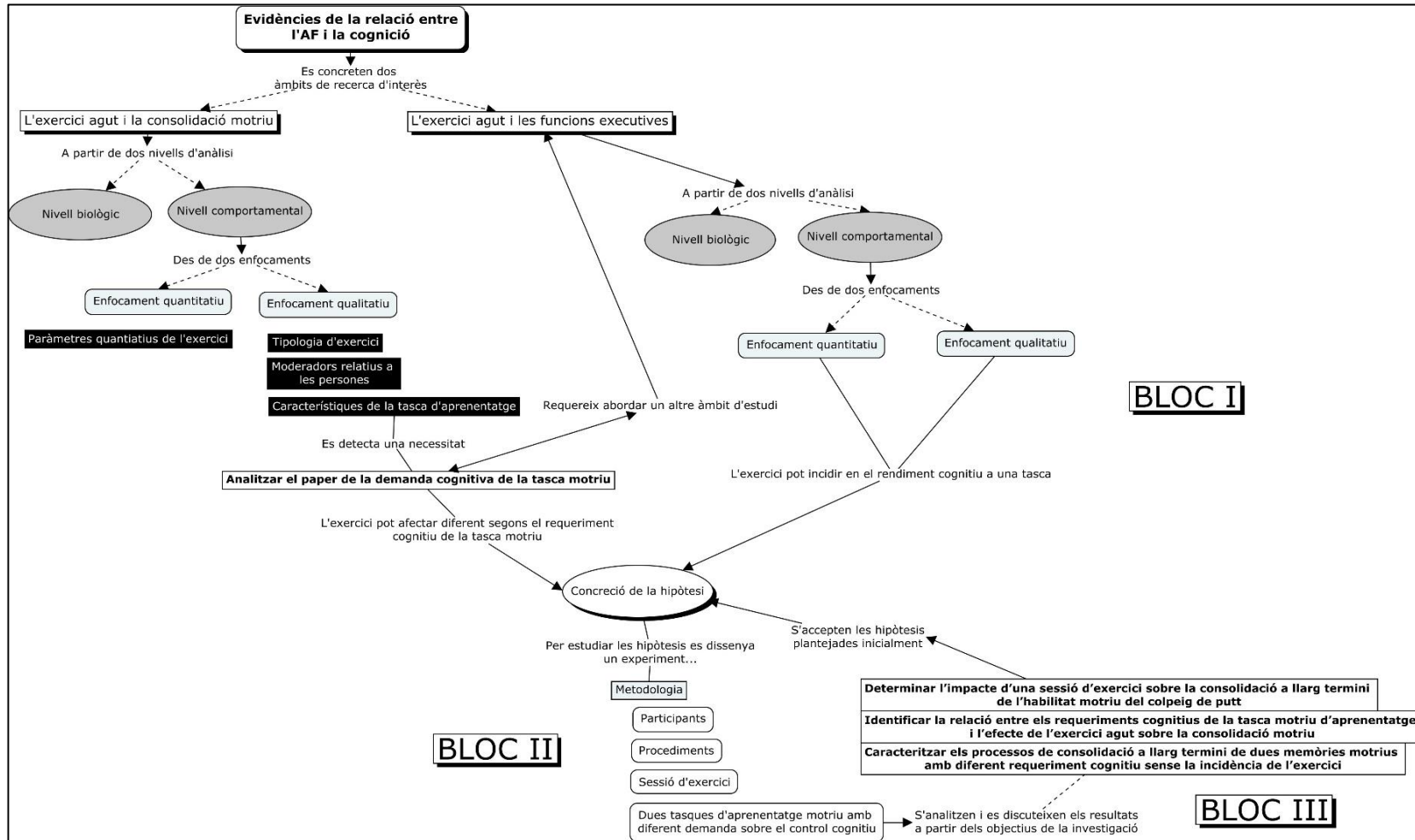
- Bloc I: Fonamentació teòrica. Es presenten els conceptes, els enfocaments i els estudis que permeten concretar les hipòtesis que es plantegen en el darrer apartat d'aquest bloc. Es parteix de la concreció de dos àmbits d'estudi d'interès dintre del camp de l'AF i la cognició. Un cop determinats els àmbits d'interès, es descriuen els nivells d'anàlisi explicativa i els enfocaments que s'han abordat des de l'àmbit de l'exercici agut i la

memòria motriu. Seguidament, un cop és detectada una necessitat en aquest àmbit d'estudi, se situa el focus en l'àmbit de l'exercici agut i les FE. Novament, se segueix l'ordre anterior i es descriuen els nivells d'anàlisi i els enfocaments. Un cop descrits els dos àmbits es disposa de fonamentació per concretar i justificar les hipòtesis de l'estudi.

- Bloc II: Metodologia. En aquest bloc es concreten les decisions metodològiques que s'han seguit durant el disseny experimental. Específicament, les persones participants en l'estudi, les característiques de la sessió d'exercici i de la tasca d'aprenentatge, així com el procediment experimental que s'ha seguit.
- Bloc III: Resultats. Es presenten els resultats obtinguts ordenats segons els objectius de la investigació. Addicionalment, es presenten altres resultats que no es vinculen amb els objectius inicials de la tesi. Seguidament, es discuteixen tenint en compte tant els objectius com la fonamentació presentada al bloc I.
- Bloc IV: Conclusions. Aquest bloc es centra en les conclusions que es poden extreure dels resultats, així com l'aplicabilitat que poden tenir. A més, es destaquen les limitacions que afecten el present estudi i es proposa la perspectiva de futur de l'àmbit de recerca.

Finalment, als annexos s'inclouen els exemples dels instruments i documentació relacionada amb l'experiment i altres resultats de l'estudi no inclosos en el bloc III. A la Figura 1 es pot visualitzar un esquema sobre l'estructura seguida a la tesi.

Figura 1. Mapa de conceptes de la tesi segons l'ordre d'aparició.



BLOC I: FONAMENTACIÓ TEÒRICA

Capítol 3: Influència de l'activitat física sobre la cognició

La influència que exerceix l'activitat física (AF) sobre la cognició ha estat objecte d'estudi d'una gran quantitat d'investigacions en els darrers anys (Chang et al., 2012; Moreau & Chou, 2019). Aquest interès creixent pot venir derivat de l'aplicabilitat dels resultats que s'obtenen de la conseqüent creació de programes d'AF dirigits a la millora de diverses funcions cognitives en contextos quotidians (Ishihara et al., 2021; Singh et al., 2019), així com per l'aparició de tècniques d'anàlisi de l'activitat cerebral (a Mellow et al. (2020) es troba una descripció detallada de les tècniques d'anàlisi cerebral emprades darrerament al camp d'estudi de l'AF i la cognició). Per tot això, en pocs anys s'han multiplicat les recerques sobre la relació entre l'AF i la cognició, fet que origina que a dia d'avui es disposi de gran quantitat d'evidències sòlides sobre aquesta qüestió (Chang et al., 2012; Roig et al., 2013).

Els dos aspectes que, des de la dècada dels 70 del segle passat, han implicat un increment de l'activitat investigadora en aquest camp han estat els avenços en neurociència i l'augment de les investigacions experimentals que suggerien relacions entre la vida activa i alguns processos cognitius.

Els avenços en les recerques en neurociència es van amplificar a partir de l'aparició noves tècniques i instruments. Va ser llavors quan es van validar hipòtesis prèvies, com la de la doctrina de la neurona proposada per Ramon i Cajal a finals del segle XIX en detriment de la teoria reticular de Golgi, a partir d'observacions més específiques del sistema nerviós central (Bear et al., 2008). Les aportacions posteriors van permetre comprendre el paper de la comunicació neuronal i determinar processos cognitius com la memòria a partir del que succeeix a nivell neuronal (Fuster, 2010), el que es coneix segons Eichenbaum (2003) com "l'aspecte de connexió". Com es veurà més endavant, l'estudi de la connectivitat neuronal ha estat clau per entendre els efectes de l'AF sobre la cognició.

Això no obstant, la connexió no és l'únic aspecte que va generar interès en relació amb el cervell. Seguint Eichenbaum (2003) es destaquen altres tres "C": compartimentalització (que fa referència a les àrees del cervell i les seves funcions principals), cognició (que se centra en el procés general que desencadena últimament un comportament) i consolidació (que analitza l'adquisició i el manteniment dels comportaments). En els anys 50 es van concretar avenços

importants en la localització de les funcions cerebrals. Tot i no ser temàtica inèdita, ja que durant el segle XVIII es dona un progrés en el coneixement anatòmic del cervell (Bear et al., 2008), va adquirir una nova perspectiva a partir de complementar les observacions sobre pacients amb àrees del cervell extirpades, com el cas del pacient H.M. de Brenda Milner als anys 50 (Milner et al., 1998), amb les aportacions sobre connectivitat neuronal. Les troballes relatives a la connectivitat neuronal i les àrees del cervell van permetre comprendre processos més generals com la cognició i la consolidació així com la seva relació amb l'AF.

Durant el present treball es recorrerà a dues "C" (compartimentalització i connexió), per explicar els efectes de l'AF sobre la cognició i la consolidació, les altres dues "C" proposades per Eichenbaum (2003). Pel fet que es tracta d'aspectes diferenciats (tot i que interrelacionats) i per tal de facilitar l'estructura del contingut, en aquest treball es parlarà de nivells d'anàlisi segons la concreció jeràrquica del cervell a la qual s'està fent referència:

- Nivell de cognició i comportament, essent el més general i on es fan visibles de forma aplicada (per exemple, en el rendiment a una tasca) els processos cognitius, esdevenint aquest nivell el producte dels anteriors.
- Nivell funcional, fent referència a les regions del cervell i les seves funcions.
- Nivell neuronal, que es focalitza en la relació i comunicació entre neurones i l'establiment de xarxes neuronals.
- Nivell molecular, essent el més específic i on es concreten els processos dintre de cada neurona.

Aquests 4 nivells d'anàlisi s'agruparan en dos grans blocs que han centrat l'interès de la recerca de l'AF i la cognició: el nivell comportamental, és a dir, el rendiment observable a una tasca i el nivell biològic, és a dir, el que determina els canvis funcionals, neuronals i moleculars que es produeixen a partir d'una sessió d'exercici que influeixen sobre els processos cognitius.

3.1 Antecedents que fonamenten la relació entre l'AF i la cognició

Durant la segona meitat del segle XX van publicar-se estudis que reportaven l'efecte de l'AF sobre la salut mental (Taylor et al., 1985), el rendiment acadèmic (Hart & Shay, 1964) i motriu (Carron & Ferchuk, 1971) o la memòria (Pack et al., 1974; Tomporowski et al., 1987). Tot i que les evidències eren limitades, com ho era la quantitat d'estudis realitzats, la convergència de les troballes relatives a la connectivitat, la compartimentalització i dels experiments realitzats, va propiciar la creació d'una línia d'estudi específica: l'AF i la cognició.

Els primers estudis que explicaven els efectes de l'AF sobre la cognició van aprofitar les aportacions de Yerkes i Dodson (1908) per parlar de l'*arousal* com a possible mecanisme pel qual l'AF beneficiava la cognició. Concretament, es suggeria que l'AF fos un factor estressant propiciant de l'increment de l'*arousal* generant una millora dels processos atencional que facilitaria la realització d'una tasca cognitiva (Tomporowski & Ellis, 1986). Tot i que avui en dia no s'utilitza el concepte de l'*arousal* psicològic per explicar els efectes de l'AF en la cognició, s'ha confirmat el paper que l'AF exerceix per facilitar els processos atencional i, en conseqüència, el rendiment a una tasca cognitiva (Tsuk et al., 2019; Waters et al., 2020; Zhou & Qin, 2019).

Paral·lelament, l'increment de les recerques al camp de la biologia va facilitar la identificació de més mecanismes explicatius de l'efecte de l'AF sobre la cognició: les substàncies neuroquímiques i els canvis funcionals al cervell. En primer lloc, es va determinar el paper d'algunes substàncies neuroquímiques, com el factor neurotròfic derivat del cervell (BDNF) (Poduslo & Curran, 1996), sobre els processos cognitius (Alsina et al., 2001). Aquestes troballes van permetre relacionar l'increment d'aquestes substàncies provocat per la realització de l'AF (Oloff et al., 1998) amb la millora dels processos cognitius (Winter et al., 2007).

Més enllà de l'atenció i les substàncies neuroquímiques, a partir del segle XXI s'han intensificat les recerques centrades en l'activitat i els canvis al cervell durant les tasques cognitives i la influència que pot exercir l'AF (Mang et al., 2016; Singh & Staines, 2015; Wagner et al., 2017). L'arribada de tècniques i instruments d'anàlisi més accessibles per als investigadors, com l'electroencefalografia (EEG) (Dal Maso et al., 2018), l'electroscòpia infraroja funcional (fNIRS) (Park & Schott, 2022) o la imatge per ressonància magnètica funcional (fMRI) (Wagner et al., 2017), van propiciar l'estudi de l'activitat cerebral en relació amb l'AF i les tasques cognitives. Les investigacions conclouen que els canvis en el comportament depenen d'una major activació i una regulació més econòmica d'algunes regions del cervell —durant la tasca cognitiva— gràcies a l'AF (Park & Schott, 2022).

Es destaquen tres mecanismes explicatius principals en relació amb els efectes de l'exercici sobre la cognició dels quals es parlarà de forma interrelacionada al llarg d'aquest treball: l'increment de l'atenció, l'increment de les substàncies neuroquímiques i l'activació de regions del cervell. L'avenç en cadascuna de les línies anteriors va propiciar una intensificació de les recerques en AF i cognició —fet que es comprova pel gran volum de recerques publicades en els darrers 10 anys— i una especialització en les funcions cognitives que s'estudien. És per això que en aquest punt es deixarà de parlar de cognició com un únic procés per referir-se als processos cognitius

específics. Això respon a la necessitat plantejada per Sibley et al. (2006) de centrar l'anàlisi en les habilitats cognitives específiques sobre les quals recauen la resolució d'una tasca. Per aquest motiu, en els darrers anys les investigacions s'han focalitzat en l'estudi de l'AF i l'atenció (Altermann & Gröpel, 2022), les funcions executives (Mehren et al., 2019), els processos d'aprenentatge i memòria declarativa (Etnier et al., 2014), aprenentatge i la memòria motriu (Roig et al., 2012), o, fins i tot, de la velocitat de processament de la informació (Chang & Etnier, 2009).

A partir d'aquest punt es concretaran els àmbits d'estudi del camp de l'AF i la cognició que són d'interès en aquesta tesi. En primer lloc, se centrarà l'interès en l'àmbit de l'exercici puntual i la memòria motriu. En l'anàlisi d'aquest àmbit es detecta una necessitat d'estudi en relació al paper de la tasca motriu. Per aquest motiu, s'aborden també les aportacions de l'àmbit de l'exercici agut i les funcions executives (FE). Es pot suggerir que una de les motivacions del present estudi ha estat la de convergir dos àmbits d'estudi, sovint tractats de forma independent, per nodrir i enriquir una recerca experimental específica inspirada en l'àmbit de l'exercici puntual i la memòria motriu.

Abans de descriure cadascun dels àmbits comentats, esdevé necessari concretar la utilització dels termes "AF" i "exercici" en endavant. Donat que s'ha demostrat el paper de les característiques de l'AF per moderar els beneficis sobre els diferents processos cognitius (Pesce, 2012), es decideix parlar concretament d'exercici. Això es deu al fet que l'exercici és una subcategorització de l'AF que requereix la planificació i estructuració de l'activitat (és a dir, segueix unes característiques determinades) per atendre a una finalitat de millora de la salut i competència motriu (González-Peris et al., 2022).

Capítol 4: Efectes de l'exercici puntual sobre la memòria motriu

L'any 2012, es va realitzar una investigació on es va comparar l'efecte de realitzar una sessió d'exercici intens, abans o després de practicar una tasca de seguiment visomotor, sobre la consolidació del seu aprenentatge (Roig et al., 2012). La consolidació fa referència al manteniment a llarg termini de l'aprenentatge i que aquest es pugui utilitzar en tasques futures, mentre que l'adquisició es referirà al procés on es codifica la informació relativa a l'aprenentatge (Krakauer & Shadmehr, 2006; Redolar-Ripoll, 2014). Els resultats de Roig et al. (2012) van mostrar beneficis significatius a la consolidació per als grups que van fer l'exercici, en contraposició amb el grup que va descansar. De l'estudi es va destacar que l'impacte va ser major una setmana després de l'aprenentatge, en comparació a quan es va mesurar una hora o un dia després. Els autors van suggerir que la seva sessió d'exercici, ciclisme estàtic per intervals d'alta i moderada intensitat, va potenciar els processos de consolidació motriu sense pràctica (*offline*), resultant en un increment en l'actuació motriu dies després de l'aprenentatge (es pot consultar l'explicació de la memòria *offline* a la Taula 1).

La investigació anterior es va inspirar en estudis previs que demostraven un efecte de l'exercici puntual sobre els processos d'aprenentatge i memòria declarativa (Coles & Tomporowski, 2008; Pesce et al., 2009; Winter et al., 2007). Tot i això, l'estudi de Roig et al. (2012) no va ser el primer a reportar aquests beneficis. En plena impregnació del cognitivisme a àrees d'estudi com la de l'aprenentatge motor, una investigació conduïda per Schmidt (1969) va determinar que, tot i ser perjudicial per a l'aprenentatge immediatament posterior, la fatiga causada per una sessió d'exercici intens va mantenir el rendiment motor a la tasca un dia després de l'aprenentatge. Els autors van suggerir que la sessió fos eficaç per preveure el decaïment del rendiment motor sense pràctica.

Els estudis com l'anterior van aparèixer als anys 70 influenciats per la hipòtesi de la U invertida plantejada per Yerkes & Dodson (1908). Tot i que aquesta hipòtesi no parlava de l'efecte de l'exercici, es va analitzar el paper d'aquest com un element que augmenta l'estrès al sistema. Segons la hipòtesi de la U invertida, es produiria un benefici en l'actuació a una tasca derivat dels increments causats per un element d'estrès, com l'exercici o la pròpia complexitat de la tasca, però seguit per un decrement del rendiment causat per la fatiga i la consumpció de recursos destinats a resoldre-la (Yerkes & Dodson, 1908). Els estudis van voler comprovar si els nivells d'activació produïts per l'exercici com a agent que incrementa l'estrès al sistema seguien la hipòtesi de la U invertida.

Concretament, diversos estudis als anys 70 es van centrar a analitzar el paper de la fatiga causada per una sessió d'exercici d'alta intensitat prèvia als aprenentatges motors i la seva retenció. Contràriament als resultats de Schmidt (1969) presentats abans, diversos estudis van reportar un efecte perjudicial, no només en el rendiment motor immediat sinó fins a 24 (Pack et al., 1974; Thomas et al., 1975), 48 (Carron & Ferchuk, 1971) i 72 hores després de l'aprenentatge (Godwin & Schmidt, 1971).

Derivat dels resultats anteriors, l'àmbit d'estudi de l'exercici agut, o la fatiga, sobre la memòria motriu es va aturar. Per aquest motiu, l'estudi de Roig et al. (2012), que incloïa innovacions metodològiques, com la mesura al cap de 7 dies o l'exercici intens sense fatiga excessiva, va desencadenar un seguit d'investigacions centrades en l'exercici puntual i la consolidació dels aprenentatges motors. Aquest àmbit d'estudi no només encara perdura sinó que s'ha intensificat en els darrers anys, focalitzant-se en entendre l'impacte de l'exercici agut sobre diferents processos de la memòria motriu (s'amplia l'explicació sobre els processos de la memòria motriu i l'exercici a la Taula 2) i des de dos nivells d'anàlisi diferenciats: el comportamental i el biològic.

Taula 1. *Detall sobre el procés d'aprenentatge motor offline.*

Definició	<p>Una habilitat motriu un cop adquirida, no necessita de pràctica constant per mantenir-se (Xu et al., 2009). Les habilitats motrius es codifiquen com a canvis neurofisiològics permanents en les àrees motores del sistema nerviós central (SNC) (Monfils et al., 2005) i, fins i tot, en regions prefrontals mentre l'habilitat no presenta un elevat grau d'automatització (Redolar-Ripoll, 2014; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997), o per emmagatzemar els aprenentatges declaratius vinculats a l'aprenentatge de l'habilitat motriu, com la regió DLPFC (Galea et al., 2010). Aquesta característica destacable no implica que les memòries motrius siguin fixes, no evolucionin, o no es puguin perdre. De fet, després d'aprendre una tasca motriu, les memòries pateixen una transformació vinculada a una reorganització neuronal que portarà a realitzar millors execucions futures inclús sense practicar addicionalment (Pereira et al., 2013).</p>
Exemple pràctic	<p>En un experiment realitzat per Floyer-Lea & Matthews (2005), van analitzar els patrons d'activació cerebral durant la realització d'una tasca de seguiment visomotor continu i les següents fases d'aprenentatge <i>offline</i> (sense pràctica). Els resultats van confirmar canvis en els patrons d'activació relacionats amb les fases d'aprenentatge ràpid i a curt termini i d'aprenentatge lent a llarg termini (Floyer-Lea & Matthews, 2005). Aquesta reorganització del mapa neuronal durant el procés d'aprenentatge motor es repeteix també en els moments de tornar a aprendre una habilitat motriu, fins i tot quan el cervell ha patit lesions (Monfils et al., 2005).</p>

Condicionants	<p>Els beneficis <i>offline</i> sobre les habilitats motrius poden dependre del descans. La consolidació de les memòries motrius dependent al descans es correlaciona amb la quantitat de son durant la fase 2, de moviments oculars no ràpids (Walker et al., 2005). No obstant, el descans pot afectar de diferent forma i sobre diferents components la consolidació d'una memòria motriu. L'exercici agut també pot beneficiar el procés de consolidació dependent al son (Munz et al., 2021).</p> <p>Una possible interpretació de l'efecte transitori del descans sobre la memòria motriu és que facilita la consolidació propera a nivell sinàptic, que es tradueix en beneficis <i>offline</i> de l'aprenentatge d'una habilitats (Humiston & Wamsley, 2018). De fet, els mateixos autors proposen que un període de descans molt breu posterior a la pràctica pot beneficiar l'execució de la pròpia habilitat només 15 minuts després de l'entrenament (Humiston & Wamsley, 2018).</p>
---------------	--

Taula 2. *Processos de la memòria motriu que es poden veure influenciats per l'exercici puntual.*

<p>Els processos o fases d'una memòria s'han dividit, tradicionalment, en tres: inicialment es codifica, després pot ser consolidada i finalment pot ser recuperada (Justel & Syrdellis, 2014; Robertson, 2009). Alhora, també pot existir una fase en les quals les memòries necessiten tornar a consolidar-se, el que s'anomena reconsolidació (Lee, 2009). Encara que son processos diferents, son interdependents i es poden sobreposar parcialment en algun moment del temps (Kantak & Winstein, 2012).</p>			
Codificació de l'aprenentatge motor	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> <p>La majoria d'estudis que destaquen efectes de l'exercici sobre la memòria motriu no observen millores en la fase de codificació (a partir del test d'adquisició) mentre que sí ho fan en temporalitats posteriors (Wanner, Cheng, et al., 2020). Tot i això, diversos estudis han demostrat que una simple sessió d'exercici pot potenciar l'adquisició d'un aprenentatge motor a curt termini (Perini et al., 2016; Statton et al., 2015).</p> </td> <td style="width: 50%;"> <p>S'involucren processos cognitius requerits per a la identificació d'estímuls, la selecció de respostes i l'execució (Kantak & Winstein, 2012) per construir les redrepcions sensorials, motrius i estats introspectius que acompanyen originalment un esdeveniment (Sommerville & Decety, 2006), tot a partir de noves connexions neuronals (Monfils et al., 2005). Una de les formes de mesurar a efectes pràctics l'èxit en la codificació, és a partir de la prova d'adquisició. El canvi en l'actuació durant la pràctica de la prova indica l'adquisició d'una habilitat o informació (Kantak & Winstein, 2012).</p> </td> </tr> </table>	<p>La majoria d'estudis que destaquen efectes de l'exercici sobre la memòria motriu no observen millores en la fase de codificació (a partir del test d'adquisició) mentre que sí ho fan en temporalitats posteriors (Wanner, Cheng, et al., 2020). Tot i això, diversos estudis han demostrat que una simple sessió d'exercici pot potenciar l'adquisició d'un aprenentatge motor a curt termini (Perini et al., 2016; Statton et al., 2015).</p>	<p>S'involucren processos cognitius requerits per a la identificació d'estímuls, la selecció de respostes i l'execució (Kantak & Winstein, 2012) per construir les redrepcions sensorials, motrius i estats introspectius que acompanyen originalment un esdeveniment (Sommerville & Decety, 2006), tot a partir de noves connexions neuronals (Monfils et al., 2005). Una de les formes de mesurar a efectes pràctics l'èxit en la codificació, és a partir de la prova d'adquisició. El canvi en l'actuació durant la pràctica de la prova indica l'adquisició d'una habilitat o informació (Kantak & Winstein, 2012).</p>
<p>La majoria d'estudis que destaquen efectes de l'exercici sobre la memòria motriu no observen millores en la fase de codificació (a partir del test d'adquisició) mentre que sí ho fan en temporalitats posteriors (Wanner, Cheng, et al., 2020). Tot i això, diversos estudis han demostrat que una simple sessió d'exercici pot potenciar l'adquisició d'un aprenentatge motor a curt termini (Perini et al., 2016; Statton et al., 2015).</p>	<p>S'involucren processos cognitius requerits per a la identificació d'estímuls, la selecció de respostes i l'execució (Kantak & Winstein, 2012) per construir les redrepcions sensorials, motrius i estats introspectius que acompanyen originalment un esdeveniment (Sommerville & Decety, 2006), tot a partir de noves connexions neuronals (Monfils et al., 2005). Una de les formes de mesurar a efectes pràctics l'èxit en la codificació, és a partir de la prova d'adquisició. El canvi en l'actuació durant la pràctica de la prova indica l'adquisició d'una habilitat o informació (Kantak & Winstein, 2012).</p>		

<p>Consolidació de l'aprenentatge motor</p>	<p>Els beneficis que provoca una sessió d'exercici sobre la memòria motriu es concreten, sobretot, en la fase de consolidació, tant propera (24 hores després) (Mang et al., 2014; Neva et al., 2019) com llunyana (7 dies després) (Roig et al., 2012; Thomas, Johnsen, et al., 2016).</p> <p>És possible que els canvis funcionals que provoca l'exercici els aprofiti el cervell per als processos neuronals relacionats amb l'emmagatzematge de la memòria motriu (Thomas, Johnsen, et al., 2016). En un estudi recent, Lehmann et al. (2022) van emprar mesures d'anàlisi del cervell tant a nivell funcional com estructural i van destacar que els canvis en la plasticitat induïts per l'exercici es feien visibles de forma gradual i progressiva durant l'aprenentatge i no tant de forma immediata.</p>	<p>Des de la perspectiva sistèmica, s'utilitza la consolidació per parlar del procés pel qual una memòria dependent a regions prefrontals de l'escorça prefrontal es converteix en independent i recau sobre regions motores, parietals posteriors i del cerebel. En part, per l'augment de l'automatització de l'habilitat motriu (Redolar-Ripoll, 2014). Des de la perspectiva molecular, es parla de l'estabilització -dependent al temps- dels canvis en l'eficàcia sinàptica (Nader & Hardt, 2009), per la qual es requereix, a diferència de la codificació, la síntesi de proteïnes i del ARN missatger (Machado et al., 2008).</p> <p>Mesurar la consolidació implicarà contrastar l'actuació final en una prova posterior i comparar-la amb l'actuació a la prova inicial, obtenint així una mesura dels canvis <i>offline</i> (sense pràctica) que s'hagin produït (Robertson, 2009). Aquest procés <i>offline</i> de consolidació, on s'enforteix la representació de la memòria (Robertson & Cohen, 2006), indiquen que existeix un procés neuronal actiu post-pràctica que es responsable de les millores posteriors (Kantak & Winstein, 2012), també dependents a elements com la son (Fenn & Hambrick, 2013).</p>
<p>Recuperació de l'aprenentatge i reconsolidació</p>	<p>L'evidència respecte la incidència de l'exercici puntual sobre aquest procés és inexistent. Tot i així, estudis que analitzen altres tipus de memòria, com l'emocional, han destacat una incidència positiva de l'exercici sobre la</p>	<p>Segons Fuster, (2010) el que es recorda i s'evoca ve degut a un fenomen associatiu. És a dir, del que està associat entre sí a l'escorça cerebral, i amb regions motores. Els estímuls (externs o interns) poden activar les xarxes cognitives que emmagatzemen la memòria relacionada (Fuster, 2010).</p>

	reconsolidació de les memòries (Keyan & Bryant, 2017).	Les memòries motrius son dinàmiques i poden patir canvis durant el temps (Lee et al., 2017). Es pot deure als canvis que es produeixen en les connexions sinàptiques on resideixen dites memòries (Kandel, 2007). Un dels factors que poden tornar a un estat làbil una memòria és la recuperació o reactivació d'aquesta (Lee, 2009), requerint així de nou la síntesi de proteïnes per poder persistir (Nader & Hardt, 2009).
--	--	---

4.1 Nivells d'anàlisi en l'estudi dels efectes de l'exercici agut sobre la memòria motriu

En aquest punt, cal destacar l'existència de tres corrents explicatius sobre l'efecte de l'exercici agut sobre la memòria motriu, que acostumen a ser complementaris:

- Els models psicològics defensen que la millora produïda per l'exercici es deu a l'increment en l'excitació i la millora en l'assignació dels recursos cognitius necessaris per resoldre una tasca (Audiffren et al., 2008). És un corrent que es basa en les aportacions de Sanders (1983), qui va plantejar un model energètic cognitiu en el qual el processament de la informació es veia influenciada per l'activació, l'excitació i l'esforç dels agents externs (l'exercici). Segons aquesta línia, l'exercici puntual pot influenciar l'assignació dels recursos disponibles per al cervell (Audiffren, 2009) i aprofitar-los per als processos d'aprenentatge i retenció de l'habilitat (Coco et al., 2016; Moriarty et al., 2022). És el corrent menys recorregut a l'àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu.
- El nivell d'anàlisi comportamental fa referència al rendiment observable. En aquest nivell d'anàlisi s'aporten evidències respecte l'eficàcia de les intervencions per provocar millores en el rendiment motor a llarg termini (Wanner, Cheng, et al., 2020). Es desenvoluparà amb major detall al final d'aquest apartat.
- L'explicació de com es beneficia el cervell de l'exercici pot venir determinada pels models que venen del camp d'estudi de la Neuroendocrinologia. Aquests models atribueixen les millores en l'aprenentatge i memòria motriu (com qualsevol tipus de memòria) a la secreció extra —provocada per l'exercici puntual— de substàncies

neuromoduladores com el BDNF (McMorris et al., 2009). L'increment d'aquestes substàncies pot provocar canvis a nivell funcional estretament vinculats amb la potenciació dels processos d'aprenentatge i retenció motriu (Skriver et al., 2014) (vegeu Taula 3). Aquest nivell d'anàlisi ha estat el més emprat en aquest àmbit d'estudi per justificar els efectes de l'exercici.

Taula 3. *Substàncies neuroquímiques produïdes per una sessió d'exercici que s'aprofiten per a la consolidació motriu.*

Catecolamines com l'epinefrina, la norepinefrina o la dopamina
<p>Una de les hipòtesis explicatives respecte l'efecte de l'exercici sobre la cognició és la incidència de les catecolamines, augmentades per una sessió d'exercici (McMorris et al., 2008). L'increment de l'epinefrina pot augmentar el nivell de glucosa en sang, que pot actuar com un potenciador de la funció de la memòria (Gold, 2014). Alguns estudis han reportat que l'administració extra, ja sigui prèvia o posterior, d'epinefrina beneficia l'aprenentatge d'una tasca cognitiva (McNerney & Radvansky, 2015). A més, la major segregació d'epinefrina i norepinefrina pot activar receptors de les fibres nervioses aferents que projecten cap a àrees elevades del sistema nerviós central (Skriver et al., 2014).</p> <p>D'altra banda, la dopamina, afecta en la fase de codificació de la memòria actuant sobre els receptors pre i post sinàptics D1 i D5 (Lin & Kuo, 2013) i en conseqüència provocant un increment en els processos d'atenció (Kim et al., 2011). Però no només afecta sobre la fase de codificació, sinó també sobre processos moleculars, com la depressió a llarg termini (LTD) (Lin & Kuo, 2013), que incideixen sobre la consolidació motriu (Christiansen et al., 2019). Segons el darrer estudi, la incidència pot ser dependent a la presència dels genotips que influencien les transmissions dopaminèrgiques, sobretot quan s'incrementa de manera posterior a l'exercici realitzat (Mang et al., 2017). Aquest és un element més que contribueix a l'explicació de les diferències interindividuals en aquest camp.</p> <p>Tot i l'anteriorment comentat, a Skriver et al. (2014) no es van trobar correlacions significatives entre l'augment en les catecolamines disponibles i una millor retenció motriu.</p>
Factor neurotròfic derivat del cervell (BDNF)
<p>Les neurotrofina o factor neurotròfic son una família de proteïnes que contribueixen en la supervivència neuronal, així com també en la proliferació, migració i diferenciació (Salehi et al., 2003). L'exercici puntual provoca una major secreció i regulació de la neurotrofina (Winter et al., 2007) a partir de l'activació dels fusos musculars i del nervi vagal (Waters et al., 2020). L'expressió del BDNF podria ser dependent a l'increment de la hormona Irisina, com demostren darreres investigacions (Liu et al.,</p>

2022; Wrann et al., 2013). L'increment del BDNF pot beneficiar processos com la neurogènesi (per a la creació de neurones) i la sinaptogènesi (per a la creació de connexions sinàptiques) que potencien l'eficàcia de la comunicació neuronal relativa a l'aprenentatge motor (Gottmann et al., 2009).

Alhora, aquestes alteracions sobre la neurotrofina milloren processos cel·lulars vinculats a la memòria com la potenciació a llarg termini (Gottmann et al., 2009; Waters et al., 2020), promovent així una major plasticitat sinàptica en el sistema nerviós central (Gomez-Pinilla et al., 2008; Knaepen et al., 2010). L'elevada concentració de BDNF observada a Skriver et al. (2014) es va relacionar amb una millora dels processos de consolidació a llarg termini de l'habilitat motriu.

Factors de creixement com el IGF-1 i el VEGF

L'exercici, sobretot d'alta intensitat, genera un increment en la segregació del factor IGF-1 (Thomas, Johnsen, et al., 2016). En una investigació de Gomez-Pinilla et al. (2008) es van destacar correlacions significatives entre el nivell de IGF-1 mRNA i la retenció de la memòria no procedimental a llarg termini. No obstant, aquest efecte observat en el darrer estudi es veia interferit quan es bloquejava el BDNF, de manera que una hipòtesi suggerida és que el IGF-1 es dependent al treball del BDNF. Aquest factor de creixement derivat de l'exercici té les següents funcions que afecten, directa o indirectament, la funció de la memòria motriu:

- Promou la plasticitat sinàptica (Ramsey et al., 2005).
- Estimula la neurogènesi a partir de processos complexos de senyalització que involucren a les quinases CAMK-II i MAP-K (Lista & Sorrentino, 2010).
- Promou la síntesi i segregació de neurotransmissors que ajuden a la funció de la memòria (Alberini & Chen, 2012).
- Col·labora en la regulació energètica del metabolisme i la funció de la memòria en condicions homeostàtiques desafiants (Gomez-Pinilla et al., 2008).

D'altra banda, la proteïna VEGF, la qual ve regulada pel IGF-1, s'encarrega de la formació de nous capil·lars sanguinis i el seu desenvolupament (Luque Casado, 2016; Skriver et al., 2014). En general, els experiments amb animals han demostrat un paper important del VEGF, com també del IGF-1, a l'hora de promoure adaptacions estructurals que afecten a processos de la memòria, com l'angiogènesi (Luque Casado, 2016) i neurogènesi a l'hipocamp (Trejo et al., 2008). Per tot plegat, a Skriver et al. (2014) es van mesurar els nivells d'ambdós factors de creixement a partir d'una sessió d'exercici, tot i que no van destacar una correlació entre aquest increment i la millora de la memòria motriu.

4.1.1 Nivell d'anàlisi biològic

Els darrers avenços en neurociència han permès complementar els resultats aportats per Roig et al. (2012) a partir d'un nou nivell d'anàlisi que aporta valor afegit: els mecanismes explicatius a nivell biològic. El nivell d'anàlisi biològic dona explicació als canvis que es produeixen en el cervell fruit de la realització d'una sessió d'exercici i que s'aprofiten per als processos d'adquisició i consolidació de la memòria motriu. Aquest nivell de concreció ha permès convertir l'estudi de l'exercici puntual i la memòria motriu en un àmbit de recerca transdisciplinar que s'enriqueix d'aportacions de diversos orígens: la neurociència cognitiva, la neurobiologia i l'aprenentatge motor.

La majoria dels estudis de l'àmbit de l'exercici puntual i la memòria motriu aprofiten les contribucions anteriors per determinar les decisions metodològiques experimentals. Gràcies a les aportacions dels models neuroendocrinològics s'ha pogut determinar, en un estat encara inicial, els mecanismes mediadors tant a nivell molecular com sistèmic (Pesce, 2012):

- A nivell molecular es refereix als canvis que es produeixen en la segregació de substàncies neuromoduladores i en processos com la potenciació a llarg termini (LTP) i que s'aprofiten per als processos de consolidació (Skriver et al., 2014).
- A nivell sistèmic s'observen canvis produïts per l'exercici en la plasticitat i en l'activació i connectivitat de regions del cervell (Cantrelle et al., 2020; Nicolini et al., 2021). Tot i que s'han introduït els dos nivells com a conceptes diferenciats, els canvis que es produeixen a nivell molecular afecten a nivell sistèmic i funcional del cervell, motiu pel qual es parlarà de nivell biològic com a concepte globalitzador.

Durant la primera dècada del segle XXI, es van aportar des del nivell d'anàlisi biològic nombroses evidències sobre el funcionament de la memòria. Si ens basem en els models que estudien els sistemes de memòria no procedimental, podríem suggerir que l'aprenentatge d'una habilitat motriu recau en la comunicació entre diferents neurones (Monfils et al., 2005). La integració d'aquestes comunicacions amb altres, pertanyents a regions del cervell involucrades en la resolució de la tasca motriu, provocarà la creació de xarxes neuronals de l'aprenentatge (Fuster, 2010). Les xarxes neuronals, o xarxes cognitives segons el paradigma reticular de la memòria de Fuster (2010), es van crear i ampliar a partir de l'experiència per representar memòries de coneixement més complex i extens, modificant també les connexions preexistents. És a dir, les noves xarxes es poden interrelacionar amb antigues per a determinats aprenentatges (Machado et al., 2008). Per aquest motiu, un grup de neurones pot formar part de diferents xarxes cognitives i

facilitar, no només la recuperació d'aquell aprenentatge sinó també el canvi àgil entre records relacionats a la xarxa (Redolar-Ripoll, 2014).

Durant l'inici d'aquest segle, també es van aportar evidències respecte al funcionament de la memòria motriu a partir d'estudis que experimentaven amb animals, principalment rates. Gràcies a aquests estudis, s'entén que la memòria motriu depèn de la persistència de les connexions sinàptiques que s'estableixen durant l'adquisició de l'habilitat, així com del reforçament d'aquestes connexions, inclús sense períodes de pràctica (aprenentatge *offline*) (Xu et al., 2009).

Arribats a aquest punt, en aquesta tesi es segueix la hipòtesi de la plasticitat sinàptica per explicar el paper de la memòria motriu. Les modificacions en el nombre i organització de les sinapsis s'associen amb els processos d'aprenentatge i memòria a llarg termini, de manera que els canvis plàstics en la funció sinàptica seran essencials per formar i mantenir els aprenentatges (Redolar-Ripoll, 2014). És el que es coneix com consolidació sinàptica, que requereix una modificació de les proteïnes i una modulació de l'expressió genètica al nucli de la neurona per intensificar i mantenir els canvis en la comunicació a llarg termini entre neurones (Redolar-Ripoll, 2014).

A l'anterior estudi de Xu et al. (2009), la formació de les sinapsis es va observar durant el procés LTP. Es destaca el paper de la LTP com un procés molecular clau per a la formació, manteniment i reforçament de les connexions a partir d'intensificar la duració de la transmissió dels senyals entre neurones (Asok et al., 2019) (Vegeu Taula 4). En aquest punt, es destaquen les aportacions de Kandel en relació amb el descobriment de la LTP al mol·lusc *Aplysia* (vegeu una ampliació a Hawkins et al. (2006)).

Però més enllà de ser un procés estretament vinculat amb el manteniment i la consolidació de la memòria, en els darrers anys s'ha demostrat que l'exercici agut pot potenciar aquests processos moleculars a partir de dotar de majors recursos al cervell (increments en el BDNF, neurotransmissors o lactat) (Skriver et al., 2014).

En conseqüència de l'anterior, el procés LTP està vinculat amb la plasticitat cerebral i es pot veure potenciat per l'exercici agut (Mang et al., 2014). Gràcies als estudis que empraven tècniques d'imatge cerebral com la tomografia per emissió de positrons (PET) o la ressonància magnètica funcional per imatge (fMRI), s'han pogut descriure els canvis plàstics que ocorren en els sistemes neuronals gràcies a l'aprenentatge, manteniment i perfeccionament de l'habilitat motriu (Doyon & Benali, 2005). Aquesta plasticitat relacionada amb els canvis provocats per l'aprenentatge motor s'ha observat tradicionalment a les cèl·lules Purkinje del cerebel (Boyden et al., 2006; Lee et al., 2015). Tot i això, diversos estudis han aportat evidències respecte a la plasticitat generada

a partir de l'aprenentatge motor a regions com el còrtex motor primari (M1) (Xu et al., 2009), a l'escorça parietal posterior (PPC) i a l'escorça prefrontal (PFC) (es pot trobar una explicació detallada de l'evolució temporal de l'activació de les regions del cervell en una tasca motriu d'adaptació a Kim et al. (2015)). Això és important en tant que l'exercici pot incrementar l'excitabilitat corticoespinal (CSE) i reduir la inhibició intracortical (SICI) en regions com el M1 —una regió clau per a l'execució de les habilitats motrius (Moriarty et al., 2022)—, el que s'ha correlacionat amb una millora al procés de consolidació motriu (Ostadan et al., 2016; Singh & Staines, 2015).

A partir dels dos estudis anteriors es suggereix que una sessió d'exercici pugui incidir en la regulació de l'excitabilitat del M1 modulant la subseqüent inducció de plasticitat en les projeccions corticoespinals descendents del M1 (Singh et al., 2016). És a dir, tot i que l'exercici no induïx la plasticitat implícitament, prepara al sistema (Mang et al., 2014; McDonnell et al., 2013). És important destacar l'estudi de Mooney et al. (2019), qui va reportar un increment de l'excitabilitat corticoespinal i de la inhibició intracortical —sense l'efecte de l'exercici— posterior a l'adquisició d'un nou aprenentatge motor. Per aquest motiu, els canvis provocats per l'exercici en l'excitabilitat s'interpreten com un mecanisme addicional a partir del qual l'exercici agut pot facilitar la retenció dels aprenentatges motors a llarg termini (Wanner, Cheng, et al., 2020).

Donat que la formació i manteniment de les memòries motrius és dependent als canvis en l'eficàcia sinàptica que permeten enfortir les connexions neuronals (Lynch, 2004) —motiu pel qual es parla de consolidació passades hores de l'adquisició inicial de l'aprenentatge motor (Shadmehr & Brashers-Krug, 1997)—, la disponibilitat més gran de recursos generats per l'exercici pot provocar els canvis funcionals que potencien els processos de consolidació motriu, en part, gràcies a l'augment en l'eficàcia de les comunicacions neuronals durant el període posterior a l'adquisició de l'aprenentatge (Slutsky-Ganesh et al., 2020). A la Taula 5 es recull un resum dels canvis moleculars i funcionals provocats per l'exercici que poden incidir en els processos de consolidació.

Taula 4. *Resum i fases del procés de potenciació a llarg termini (LTP).*

Aquest procés anteriorment comentat i conegut com procés de potenciació a llarg termini, (juntament amb la LTD) és requerit per modificar la fortalesa sinàptica de les connexions existents, representant així un mecanisme primari per a la formació de noves xarxes de memòria (Poo et al., 2016). El procés es descriu a continuació seguint les aportacions de Arreguín-González (2013) i Garcés-Vieria & Suárez-Escudero (2014).

A	<p>La membrana de les neurones té major permeabilitat per al potassi que per al sodi, de manera que es genera més sodi a l'exterior de la neurona que calci a l'interior en un bombeig constant. Aquesta càrrega negativa es coneix com polarització i, quan una neurona s'estimula, el potencial de membrana d'aquesta es despolaritza. La despolarització viatja en forma de missatge neuronal a través de la neurona, el que es coneix com potencial d'acció. La despolarització de la cèl·lula incrementa la seva habilitat per generar el potencial d'acció i excitar-se.</p>
B	<p>Un cop el potencial d'acció arriba a la terminal presinàptica, la senyal elèctrica genera la secreció de substàncies químiques anomenades neurotransmissors. L'alliberament de glutamat (neurotransmissor) eleva el nivell de calci i la activació de diferents receptors (NMDA, RmGlu y canals de Ca²⁺). La membrana presinàptica, que conté un gran nombre de canals de calci, permet que molts ions de calci passin per aquests canals, que s'obren i es tanquen en una precisa seqüència durant la senyalització, i es buidin a la terminal sempre que un potencial d'acció despolaritza la terminal. Aquests ions de calci originen canvis en les propietats de la membrana cel·lular, que obre o tanca obertures a diversos neurotransmissors (dopamina i glutamat sobretot). A major quantitat d'ions de calci que penetren en la terminal, més substàncies neurotransmissores s'allibera.</p>
C	<p>Aquest calci que arriba, activa com a mínim tres quinases proteiques en la cèl·lula postsinàptica (quinasa CaM II, quinasa C i quinasa Tirosina). Aquestes, fosforitzen les proteïnes objectiu, per tant activen unes i d'altres no.</p>
D	<p>Aquest impuls dels ions de calci permet que el glutamat s'adhereixi a les membranes i alliberin a l'àrea intersinàptica els seus continguts. El glutamat regula les transmissions sinàptiques excitants i diferents modes de plasticitat sinàptica mitjançant els receptors postsinàptics AMPAR i NMDAR. Altres neurotransmissors es dirigeixen cap a una esquerra sinàptica (distància entre les cèl·lules nervioses de contacte) per actuar com a senyalitzador en aquesta cèl·lula.</p>
E	<p>Durant aquest procés, es manté o s'amplifica la plasticitat sinàptica. Si l'interès, en funció de les senyals d'entrada, és produir una forma de plasticitat sinàptica duradora i estable, es requerirà transcripció genètica i traducció de proteïnes mitjançant l'activació de les xarxes bioquímiques encarregades. Aquesta plasticitat sinàptica està íntimament lligada a la memòria motriu (Arreguín-González, 2013). Alhora, en funció del tipus d'aprenentatge i la naturalesa d'aquest, les cèl·lules nervioses implicades poden establir connexions més fortes o més dèbils (Milner et al., 1998).</p>

Un element clau a tenir en compte del procés de LTP, és la diferenciació entre memòries a curt termini i a llarg termini. Això es fa evident en funció de les dues fases en que es pot dividir la LTP, la propera o la llunyana (Milner et al., 1998). Mentre que a la fase propera de la LTP la quinasa PKA actua en el citoplasma de la cèl·lula per alterar la transmissió sinàptica (Asok et al., 2019), en la fase llunyana de la LTP la unitat catalítica de la PKA es situa en el nucli i fosforitza una proteïna d'unió als elements de resposta (CREB-1), que al seu torn modularà la transcripció de gens que contenen elements de resposta de cAMP (un segon missatger) (Scharf et al., 2002). Aquest mecanisme de transcripció recluta una sèrie de gens addicionals, que mitjançant la dimerització (dues molècules iguals s'uneixen i formen una doble) resulta en la transcripció dels gens que es necessiten per al creixement sinàptic (Asok et al., 2019). Aquesta fase llunyana i el creixement sinàptic obtingut de nou, es necessari per consolidar memòries a llarg termini (Scharf et al., 2002), perquè la memòria a llarg termini requereix de canvis estructurals a les neurones i, per tant, al cervell (Kandel, 2007; Milner et al., 1998). La fase llunyana de la LTP triga hores, requereix síntesi de proteïnes i es relaciona amb la memòria a llarg termini (Abel et al., 1997). Aquest és un element important per introduir tests de retenció passades les 24 hores a l'hora d'analitzar l'evolució de les memòries motrius.

Taula 5. *Canvis moleculars i funcionals produïts per l'exercici agut i que beneficien el procés de consolidació d'un aprenentatge motor.*

Major producció de lactat	L'increment del lactat observat després d'una sessió d'exercici s'ha correlacionat amb un major rendiment motor a llarg termini (Skriver et al., 2014) i es relaciona amb la millora dels processos de formació de memòries a llarg termini (Suzuki et al., 2011). Aquesta afectació positiva pot impactar a diferents nivells, ja que la major producció de lactat es pot relacionar amb una major secreció de substàncies neurotransmissores o amb un increment de l'excitabilitat corticoespinal (Coco et al., 2010).
Substàncies neuroquímiques	L'augment en els nivells de circulació de substàncies neurotransmissores (per exemple, la dopamina) pot activar diferents camins de senyalització molecular que faciliten la transcripció CREB, augmentant així la LTP (Loprinzi & Frith, 2019) i modificant la fortalesa sinàptica de les connexions vinculades a l'aprenentatge motor en qüestió (Monfils et al., 2005). Aquest procés molecular és clau per al manteniment dels nous aprenentatges motors (Singh & Staines, 2015; Spriggs et al., 2019). A la Taula 3 es pot veure de forma detallada el paper de les diferents substàncies neuroquímiques que poden tenir incidència sobre la memòria motriu. A la Taula 4 es descriu el procés de LTP.

<p>Activació de receptors neuronals</p>	<p>L'exercici puntual pot activar receptors neuronals específics que poden incrementar la força de la connectivitat entre les xarxes implicades en la representació de la memòria motriu (Loprinzi et al., 2021).</p>
<p>Flux de sang al cervell</p>	<p>En la resolució d'una tasca motriu, la demanda d'oxigen i glucosa creix en les regions del cervell relacionades i el fluxe de sang al cervell (CBF) augmenta per resoldre l'increment en la demanda metabòlica (Park et al., 2021). Gràcies a l'exercici agut s'aconsegueix una millor regulació del CBF (Guiney et al., 2015; Smith et al., 2010), un element clau per a preservar la correcta activitat neuronal i metabòlica al cervell (Ogoh & Ainslie, 2009).</p>
<p>Major excitabilitat corticoespinal</p>	<p>En un estudi recent de Ostadan et al. (2016) es va comprovar que una dosi d'exercici puntual modificava l'excitabilitat corticoespinal (CSE) durant la fase propera de la consolidació de la memòria motriu. Aquests increments van ser temporals així com ho van ser els beneficis sobre la neuroplasticitat induïda (Macdonald et al., 2019; Ostadan et al., 2016; Singh & Staines, 2015). La importància de la CSE sobre la memòria motriu es veu reflectida en estudis que, a partir d'estimulació magnètica transcranial repetitiva, s'interromp la transmissió a M1 (reduint temporalment la CSE) i, en conseqüència, s'interfereix en els processos de memòria que estan actius (Censor & Cohen, 2011). A més a més, aquests canvis es podrien mantenir desde 30 minuts (Singh et al., 2016) a 2 hores després de l'exercici (Ostadan et al., 2016).</p>
<p>Menor inhibició intracortical</p>	<p>Les neurones de la M1 es troben envoltades per extenses xarxes de interneurons facilitadores o inhibidores que regulen la seva excitabilitat (Singh & Staines, 2015). L'exercici agut pot provocar una menor inhibició intracortical (Wanner, Cheng, et al., 2020), un esdeveniment clau per la inducció de plasticitat (Floyer-Lea et al., 2006).</p>
<p>Possibles canvis a nivell estructural</p>	<p>L'exercici puntual provoca els canvis anteriors a nivell transitòri, doncs s'esvaeixen passades les hores (Thomas, Beck, et al., 2016; Wanner, Cheng, et al., 2020). Tot i això, investigacions recents suggereixen una possible afectació sobre canvis a nivell estructural. Per exemple, Lehmann et al. (2022) van investigar els canvis en la connectivitat estructural a partir de senyals sobre el nivell d'oxigenació a la sang (BOLD) a les diferents regions del cervell. Els resultats van destacar canvis en l'activitat neuronal relacionats amb l'aprenentatge. Els autors van suggerir que l'exercici agut incidís en els canvis observats en la plasticitat estructural que van permetre un major aprenentatge</p>

d'equilibri dinàmic de tot el cos. Tot i això, encara calen més estudis per confirmar la hipòtesi plantejada.

Fins ara s'han revisat les aportacions des del nivell d'anàlisi biològic. Tot i que al llarg del treball s'aprofitaran les aportacions del nivell d'anàlisi biològic, es farà de forma complementària per justificar les decisions metodològiques o discutir els resultats. A partir d'ara se centrarà l'interès en els estudis que han analitzat els efectes de l'exercici agut sobre la memòria motriu des d'un nivell d'anàlisi comportamental. És a dir, en el rendiment motor observable i mesurable a partir de les tasques motrius d'aprenentatge.

En aquest nivell es disposen de múltiples evidències que demostren un efecte positiu de l'exercici sobre el rendiment motor a llarg termini (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022; Roig-Hierro et al., 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020). D'aquestes revisions sistemàtiques, s'extreu que l'exercici agut és una eina eficaç per potenciar els processos de consolidació a llarg termini d'una habilitat motriu. No obstant això, l'auge en les investigacions ha anat proporcionat una major variabilitat de dissenys i resultats, pel que ha esdevingut essencial entendre el paper moderador que les característiques dels dissenys poden exercir sobre els resultats. En aquest anàlisi dels moderadors, la majoria dels estudis han abordat la investigació des d'un enfocament quantitatiu.

4.2 Enfocaments de la recerca de l'exercici i la memòria motriu

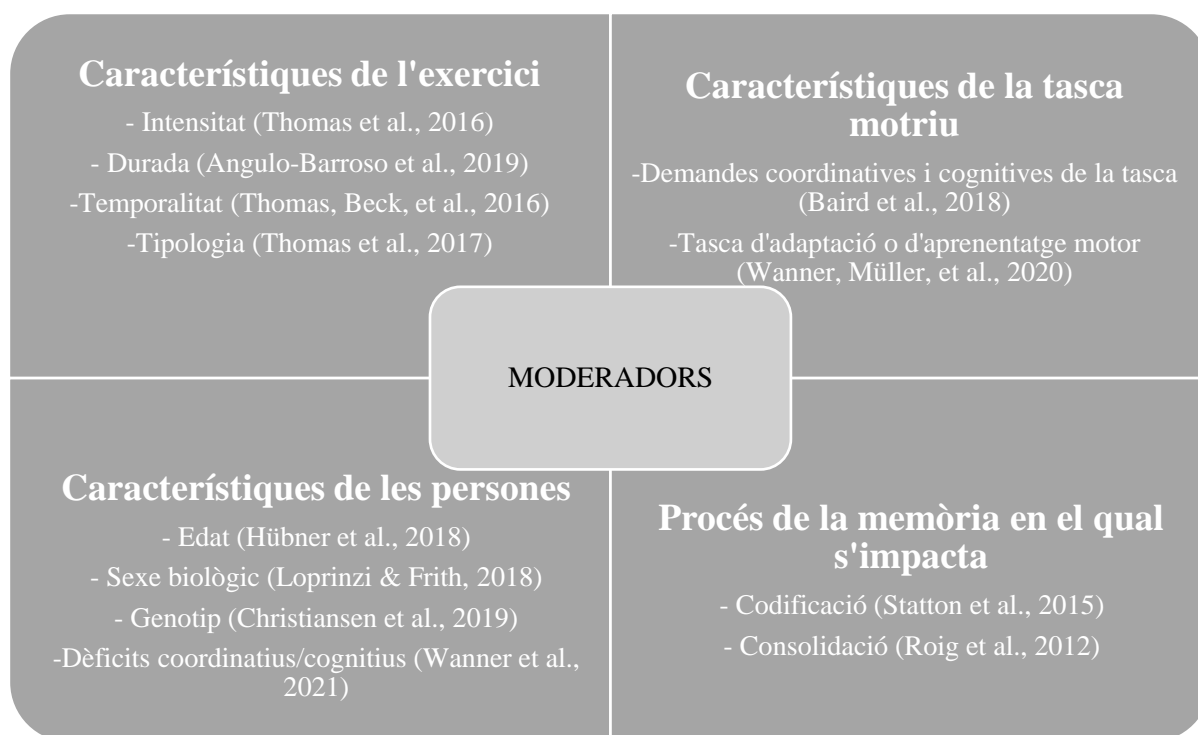
El camp d'estudi de l'exercici i la cognició s'ha abordat, històricament, des d'una perspectiva clínica (Pesce, 2012). Per aquest motiu la majoria d'investigacions s'han centrat a analitzar el paper dels elements quantitius dels dissenys (la intensitat, la durada, la quantitat, la freqüència) per sobre dels qualitius (com la tipologia de l'exercici o les característiques de les tasques d'aprenentatge). Això es fa extensiu a l'àmbit de recerca de l'exercici agut i la memòria motriu. Actualment, es disposa de molta informació relativa als paràmetres quantitius de l'exercici i el seu efecte moderador, mentre que escassegen els dissenys experimentals que posen el focus en modificar les variables qualitatives del procediment. Tot i que la innovació i interès principal del present treball resideix en analitzar una variable que se situa dintre de l'enfocament qualitatiu, cal descriure les aportacions que es disposen des de l'enfocament quantitatiu i que justifiquen les decisions metodològiques preses a la present investigació.

4.2.1 L'enfocament quantitatiu i els moderadors quantitatius de l'efecte

En una investigació publicada per Roig et al. (2016), els autors van suggerir que les característiques de l'exercici, del tipus de memòria i de les persones actuaven com a moderadors de la relació entre l'exercici agut i la memòria. És a dir, com a elements que influencien el grau d'afectació sobre aquest procés cognitiu (Pesce, 2012). Aquests factors són els que principalment han considerat els estudis per controlar o analitzar en els seus dissenys. Així, es troben treballs que repliquen les condicions dels anteriors, però modificant únicament un moderador, com la intensitat (es compara la intensitat moderada, elevada i un grup descans) (Thomas et al., 2016), la distància temporal (es comparen diferents distàncies de temps entre la pràctica motriu i l'exercici) (Thomas, Beck, et al., 2016), la ubicació temporal (es compara la realització de l'exercici previ o posterior a l'aprenentatge motor) (Ferrer-Uris et al., 2018), o la duració (es comparen exercicis de diferent durada total) (Angulo-Barroso et al., 2019).

La varietat observada en els dissenys, així com en els resultats, va portar a Wanner, Cheng, et al. (2020) a publicar una metaanàlisi on es van analitzar, més enllà dels resultats sobre la memòria motriu, la incidència de les diferents característiques de les intervencions sobre els processos d'adquisició i consolidació. Per fer-ho, es van centrar en: a) la intensitat de l'exercici, b) la ubicació temporal de l'exercici en relació amb la tasca, c) la naturalesa de la tasca (tasca d'adaptació motriu o d'aprenentatge motor) i d) l'interval de retenció (una hora, un dia o set dies després de l'adquisició). A partir de l'aportació de la revisió anterior i dels estudis que comparen diferents opcions d'un moderador concret. La figura 2 recull i identifica els diferents moderadors de l'efecte de l'exercici físic

Figura 2. Elements destacats a la literatura com a moderadors dels efectes de l'exercici sobre la memòria motriu.



4.2.1.1 Intensitat de l'exercici físic

En diferents àmbits d'estudi de l'exercici agut i els processos cognitius s'ha suggerit una incidència de la intensitat de l'exercici sobre els beneficis que es generen (Chang et al., 2012; Kao et al., 2021). En aquest sentit, en un estudi realitzat per Thomas, Johnsen, et al. (2016) es van comparar els efectes d'una sessió d'exercici d'intensitat elevada o moderada (90% o 45% $W_{màx}$ a la bicicleta estàtica durant 17 minuts per intervals) sobre l'aprenentatge a una tasca de seguiment i precisió visomotor (VAT). Els resultats van demostrar que l'exercici va potenciar de forma significativa la consolidació a llarg termini en comparació a les persones que van descansar. A més, es va destacar que els beneficis van ser significativament superiors per al grup d'alta intensitat en comparació al grup d'intensitat moderada, tant a la retenció posterior a les 24 hores com 7 dies després. Aquests resultats van portar als autors a suggerir que la intensitat elevada era un moderador clau dels efectes sobre la memòria motriu.

Tenint en compte l'aportació de l'estudi anterior, així com que a l'estudi de Roig et al. (2012) també es va utilitzar intensitat elevada, la majoria d'estudis van utilitzar aquesta intensitat als seus dissenys. Com es reporta a Roig-Hierro et al. (2022), el 78.4% de les investigacions recollides van emprar exercici d'alta intensitat i, en línia amb les altres revisions, es destaca que la majoria

van demostrar beneficis sobre la memòria motriu tant a les 24 hores com als 7 dies posteriors a l'adquisició (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020).

Una de les explicacions més sostingudes es vincula amb la relació entre la millora de les funcions cognitives i l'augment de les substàncies neuroquímiques disponibles per al cervell generades per l'exercici de major intensitat (Ferris et al., 2007; Piepmeier & Etnier, 2015; Skriver et al., 2014). Diferents estudis han reportat nivells variables de lactat i BDNF o canvis en el CSE segons la intensitat a la qual es realitza l'exercici, provocant canvis funcionals que beneficien el procés de consolidació motriu (Ostadan et al., 2016; Skriver et al., 2014) a partir d'una major inducció de neuroplasticitat (Hendy et al., 2022; Mang, Brown, et al., 2016). En una revisió sistemàtica, Mellow et al. (2020) van concloure que si bé l'exercici agut induïa una major neuroplasticitat, els efectes es magnificaven quan l'activitat es duïa a terme a major intensitat.

Tot i l'anterior, dels estudis posteriors a Thomas, Johnsen, et al. (2016) que han comparat directament els efectes de l'exercici sobre la consolidació motriu en funció de la intensitat s'extreuen resultats variats:

- A Marin et al. (2020) i Swarbrick et al. (2020) es van trobar beneficis superiors a llarg termini per a les persones que realitzaven la sessió a major intensitat.
- Contràriament, a Opie & Semmler (2019) es van destacar majors beneficis en el grup que va fer l'exercici d'intensitat baixa.
- A Baird et al. (2018) i Wanner, Müller, et al. (2020) no van destacar una incidència positiva de l'exercici independentment de la intensitat i van suggerir que aquesta potser no era l'únic moderador a tenir en compte en les intervencions. De fet, diferents estudis demostren que una sessió d'exercici d'intensitat moderada pot ser suficient per impactar sobre els processos de consolidació, tant a curt (Jo et al., 2019a) com a llarg termini (Hübner et al., 2018; Tomporowski & Pendleton, 2018).

Arribats a aquest punt, com s'extreu de les diferents revisions sistemàtiques realitzades fins al moment, no s'ha de tenir en compte la intensitat de forma exclusiva sinó la interacció entre diversos moderadors (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022; Roig-Hierro et al., 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020).

Un altre dels moderadors que poden condicionar els efectes de l'exercici sobre la memòria motriu, i que es poden relacionar amb la intensitat és la temporalitat (Roig-Hierro et al., 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020). Sobre la temporalitat cal tenir en compte dos factors: la distància i la ubicació temporal. D'una banda, la distància fa referència a la separació temporal que es determina entre

la sessió d'exercici i la tasca motriu d'aprenentatge. D'altra banda, la ubicació temporal fa referència a la col·locació de la sessió d'exercici en relació amb la tasca d'aprenentatge. És a dir, si l'exercici es fa de forma prèvia o posterior a l'aprenentatge.

4.2.1.2 Distància entre la tasca i l'exercici físic

Algunes investigacions proposen que la distància temporal òptima es situí al voltant dels 15 minuts (Roig et al., 2022). Per arribar a aquesta conclusió, diferents estudis previs van comparar els efectes sobre la consolidació motriu d'augmentar o disminuir la separació temporal entre l'exercici i la tasca. Per exemple, a Thomas, Beck, et al. (2016) van emprar tres distàncies temporals diferents (20 minuts, una hora o dues hores després de l'aprenentatge inicial) a partir d'una sessió d'exercici intens i van reportar beneficis a llarg termini per als tres grups que van fer exercici en comparació al grup control. Tot i això, es va destacar un efecte superior per al grup de menor distància temporal entre l'exercici i la tasca. A Rhee et al. (2016) van destacar que els beneficis fins 24 hores després de l'exercici es podien mantenir inclús amb un interval de separació de 2 hores.

Cal tenir en compte, que ambdós estudis anteriors van controlar i reduir al màxim els estímuls que rebien les persones entre la sessió d'exercici i la tasca motriu. Això porta a la reconsideració d'aquests resultats si s'aplica la intervenció en contextos quotidians, tenint en compte la dificultat per limitar els estímuls que les persones poden rebre després o abans de l'exercici o la tasca. Per aquest motiu, la majoria d'estudis aposten per una distància temporal reduïda (Wanner, Cheng, et al., 2020). En aquest sentit, la darrera revisió sistemàtica suggereix que, pel fet que els efectes que genera una sessió d'exercici són transitoris i s'esvaeixen passades les hores, la distància temporal entre la sessió i l'aprenentatge ha de ser reduïda per aprofitar al màxim els beneficis.

4.2.1.3 Ubicació temporal de l'exercici físic en relació a la tasca motriu d'aprenentatge

La concordança destacada per la majoria d'estudis recollits a l'apartat anterior, no es manté en quant a la selecció de la ubicació temporal de l'exercici en relació a la tasca. En la revisió sistemàtica de Roig-Hierro et al. (2022) es destaca que 16 estudis de 37 empenen exercici a la tasca, mentre que 17 estudis de 37 el duen a terme de forma posterior. Tot i que els resultats de les revisions sistemàtiques suggereixen que l'efecte a llarg termini és superior quan es realitza l'exercici després de l'aprenentatge (Roig-Hierro et al., 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020), els resultats dels estudis que comparen directament diferents ubicacions temporals no són conclouents. Dues investigacions van trobar beneficis a llarg termini al situar la sessió després de

l'aprenentatge (Roig et al., 2012; Tomporowski & Pendleton, 2018), mentre que una altra investigació va reportar majors beneficis quan l'exercici es feia de manera prèvia (Ferrer-Uris et al., 2018). D'altra banda, a Ferrer-Uris et al. (2017) no es van destacar beneficis per a cap temporalitat, ni prèvia ni posterior.

Una de les possibles explicacions es vincula amb el procés de la memòria sobre el qual impacta l'exercici en funció de la ubicació temporal. Es suggereix que l'exercici previ a la tasca d'aprenentatge pugui incrementar els recursos disponibles que el sistema disposa per codificar el nou aprenentatge, incidint més sobre l'adquisició de l'aprenentatge i la consolidació propera (Roig et al., 2012; Wanner, Cheng, et al., 2020). D'aquesta manera, els resultats sobre el rendiment es farien més visibles a curt termini o en períodes de retenció més propers a l'adquisició.

Seguint les conclusions dels estudis anteriors, l'exercici posterior incidiria directament sobre la consolidació que s'està duent a terme gràcies a l'increment dels recursos disponibles que el sistema aprofita en aquest procés. D'aquesta forma, el rendiment motor a la tasca no es veuria tan afectat a curt termini sinó més aviat en períodes de retenció més llunyans, com 7 dies després.

On sembla existir unanimitat és en la ubicació de l'exercici de manera simultània a l'execució de la tasca motriu d'aprenentatge. En altres àmbits d'estudi de l'exercici i la cognició és una temporalitat molt emprada (parlem de l'àmbit que estudia el *dual-tasking* i l'exercici (Park & Schott, 2022; Tomporowski & Qazi, 2020)). Això no obstant, tenint en compte que s'ha suggerit que la intensitat elevada és un element clau per potenciar la consolidació dels aprenentatges (Thomas, Johnsen, et al., 2016), és possible que executar aquesta activitat intensa alhora que la tasca d'aprenentatge sigui incoherent. En aquest punt cal diferenciar aquelles habilitats motrius específiques que es duen a terme en situacions de màxima intensitat que acostumen a tenir una durada relativament curta i insuficient per provocar beneficis a nivell funcional en el cervell, del disseny d'una intervenció combinada on es fa l'exercici a alta intensitat i s'adquireix una habilitat motriu independent a l'exercici.

La incoherència d'ubicar l'exercici intens alhora que l'aprenentatge es pot abordar des de dos àmbits: el pràctic i el de fonamentació. En l'àmbit pràctic es fa referència a la dificultat de dur a terme aprenentatges motors diversos mentre s'està fent una sessió d'exercici independent sense incórrer en fatigues musculars que poden ser perjudicials per al rendiment a la tasca (Wanner, Cheng, et al., 2020).

Des de la perspectiva de la seva fonamentació teòrica, aquesta elecció es contradiria amb la hipòtesi de la hipofrontalitat transitòria presentada anteriorment (Dietrich, 2006) (es desenvolupa més endavant, a l'apartat 5.2.2.1), ja que el sistema prioritzaria els recursos per al control motor de la sessió d'exercici intens per davant dels processos cognitius implicats en la consecució i consolidació de l'aprenentatge motor (Moriarty et al., 2022). Aquesta competició es faria evident a major complexitat de l'aprenentatge motor en qüestió (Malhotra et al., 2015). Inclús un cop finalitza la tasca motriu a intensitat elevada, els recursos generats per la càrrega física s'utilitzarien per al procés de recuperació (Roig et al., 2022). No obstant l'anterior, es proposa que l'equilibri entre la càrrega cognitiva que comporta la consecució de l'aprenentatge i la intensitat de l'exercici pugui derivar en beneficis sobre l'actuació (Kimura et al., 2022), hipòtesi que caldrà continuar investigant.

4.2.1.5 Durada de l'exercici agut

Segons la visió dosi-resposta sota la qual es basa aquest camp d'estudi (Ballester-Ferrer et al., 2022), la durada pot jugar un paper clau. Tot i l'anterior, en la majoria d'estudis aquesta ha quedat supeditada a la intensitat. Per tant, s'ha contemplat la intensitat i la durada des del volum o càrrega de treball que podien generar sobre la persona (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022). A la majoria d'intervencions que empen intensitats moderades o baixes, la durada supera els 20 minuts, mentre que les que utilitzen exercici intens no acostumen a arribar als 20 minuts (Roig-Hierro et al., 2022).

En un estudi realitzat per Angulo-Barroso et al. (2019) es va demostrar l'eficàcia tant d'una sessió de 13 minuts com d'una de 5 minuts, ambdues a intensitat elevada. Per aquest motiu, les investigadores van suggerir que la durada hauria d'estar supeditada a la intensitat de l'exercici i que, mentre la segona fos suficient per desencadenar tots els processos moleculars i funcionals comentats anteriorment, la primera es podia ajustar a les necessitats del context. Aquests resultats augmenten la possibilitat d'aplicar-se en diferents contextos on no es disposa de molt temps per a dur a terme l'exercici. Tot i això, excepte a la investigació anterior, els estudis no han investigat de forma específica els efectes de la durada i, la majoria, s'han inspirat en el protocol emprat per Roig et al. (2012) de 13 minuts per intervals d'elevada intensitat (Roig-Hierro et al., 2022).

4.2.2 L'enfocament qualitatiu i els moderadors qualitius de l'efecte

En revisions posteriors a la de Wanner, Cheng, et al. (2020), s'han considerat altres moderadors com la tipologia d'exercici, la tasca d'aprenentatge (més enllà de si es tractava d'adaptació motriu

o aprenentatge), o els factors individuals (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022; Roig-Hierro et al., 2022). Val a dir, però, que en aquesta línia de recerca els estudis són escassos, motiu pel qual l'extracció de conclusions ha de fer-se amb molta prudència.

4.2.2.1 Tipologia de l'exercici agut

L'aprenentatge motor pot provocar canvis funcionals i estructurals en el cervell (Dayan & Cohen, 2011; Huang et al., 2015; Wei et al., 2011), que poden propiciar beneficis en el desenvolupament de les habilitats cognitives d'ordre superior implicades en aquell aprenentatge (Alarcón et al., 2017; Guillem, 2022). En aquest sentit, alguns estudis inicials van demostrar que les accions motrius que requerien una major exigència sobre la coordinació de segments corporals podien promoure major neuroplasticitat (Carey et al., 2005), en part per la diferent activació de regions del cervell durant l'execució (van den Berg et al., 2011). Aquests estudis van inspirar a Tomporowski & Pendleton (2018) per investigar els efectes de realitzar una sessió de balls simples o complexos (pel que fa a la coordinació de moviments) sobre la retenció d'un aprenentatge de seguiment visomotor de rotació amb la mà no dominant. Els resultats van demostrar majors beneficis per a ambdós grups que van fer l'exercici, però especialment superiors per al grup que va realitzar els balls complexos com a exercici agut. Una de les possibles explicacions es vincula a una freqüència cardíaca superior registrada durant l'exercici per al grup de balls complexos, fet que es podria relacionar amb un major dispendi energètic que podria ser el responsable d'aquests beneficis superiors.

Tot i això, de la investigació anterior es va suggerir que la tipologia complexa d'exercici facilitava la consolidació motriu gràcies a un increment de la neuroplasticitat provocada per la complexitat de moviments executats. Pel fet que és l'únic estudi que es coneix que hagi fet la comparació per complexitat coordinativa, en el futur caldran més investigacions per atendre a la hipòtesi plantejada pels autors amb relació a l'efectivitat de l'exercici agut de complexitat coordinativa per davant de l'exercici simple.

Més enllà de l'exigència de la coordinació de segments i/o moviments, la complexitat a l'exercici pot venir determinada per la gestió de la informació i dels estímuls. Això va portar a Pesce et al. (2009) a comparar els efectes de realitzar exercici a partir de jocs d'equip o d'un circuit d'entrenament sobre la memorització de paraules. Les autores van destacar efectes superiors en la retenció de nou vocabulari a llarg termini per al grup que va dur a terme els jocs d'equip. Per aquest motiu van suggerir que la tipologia i el context de l'exercici incidien en els efectes sobre

la consolidació. Aquesta investigació va inspirar dues recerques posteriors que van comprovar el paper de la tipologia de l'exercici en els efectes sobre la memòria motriu:

- A Thomas et al. (2017) van emprar, amb persones joves, un circuit, un entrenament de força o la pràctic de l'hoquei i van analitzar els resultats sobre l'aprenentatge a la tasca VAT tant a curt (una hora posterior) com a llarg termini (un dia posterior). Els grups que van fer exercici agut intens van empitjorar el rendiment una hora després de l'adquisició, però van millorar de forma significativa el rendiment un dia després, mentre que el grup control no ho va fer. No obstant això, no es van observar diferències en els beneficis en funció de la tipologia d'exercici practicat.
- A Lundbye-Jensen et al. (2017) van utilitzar l'hoquei o la cursa, en aquest cas amb preadolescents, per comparar els efectes sobre la tasca VAT. Es van destacar els efectes superiors per als grups exercici fins 7 dies després de la intervenció, però no es van detectar diferències dependents a la tipologia d'exercici practicada.

Aquests resultats van portar a les persones investigadores a suggerir que, més enllà de les característiques de l'exercici, el dispendi energètic provocat per qualsevol exercici podria ser el moderador clau per determinar els efectes sobre la memòria motriu (Lundbye-Jensen et al., 2017; Thomas et al., 2017).

Un dels aspectes pels quals s'han realitzat poques investigacions comparant diferents tipologies d'exercici és la dificultat de determinar una càrrega física exacta en contextos oberts, com l'hoquei, en comparació a la facilitat de regular la càrrega quan es fan d'altres activitats com ara el ciclisme estàtic, present en la majoria d'estudis (Roig-Hierro et al., 2022). Alhora, l'efectivitat demostrada per l'exercici simple ha portat a les persones investigadores a centrar-se a investigar altres moderadors que no pas la tipologia.

El fet que en molts contextos, com l'educatiu i esportiu, sigui difícil o descontextualitzat emprar sessions d'exercici simple, implica que en el futur es necessitaran més estudis que utilitzin tipologies d'exercici basades en activitats quotidianes (com esports i jocs d'equip) per analitzar els seus efectes sobre els aprenentatges motors.

4.2.2.2 Moderadors relatius a les persones

Una altra limitació de l'àmbit d'estudi de l'exercici agut i la memòria motriu és l'escassetat d'estudis que comparen moderadors relacionats amb les persones, que poden ser elements condicionants en la relació entre l'AF i la cognició (Chang et al., 2012). Un exemple clar és el gènere.

Dels estudis que analitzen la memòria motriu, només Baird et al. (2018) va analitzar la incidència de l'exercici sobre el rendiment inicial i la retenció segons el sexe biològic, tot i que no va reportar cap diferència significativa. Això no va impedir que autores com Swarbrick et al. (2020) justifiessin l'absència de resultats positius a causa d'un major nombre de persones de sexe femení que masculí. Seguint amb l'anteriorment comentat, cal fer tres consideracions respecte als estudis que ens ocupen:

- Algunes investigacions van excloure persones del sexe femení als experiments (Thomas, Beck, et al., 2016).
- La majoria d'investigacions recollides al camp no van analitzar el sexe biològic com a potencial moderador dels efectes de l'exercici sobre la consolidació motriu (Roig-Hierro et al., 2022).
- Fins al moment, la majoria d'estudis parlen de sexe biològic i no de gènere. Els estudis que parlen de gènere no reporten haver preguntat específicament pel gènere, o haver emprat qüestionaris específics. Donat que el gènere d'una persona comprèn molts aspectes que el sexe no defineix, alguns dels quals poden afectar al rendiment motor de les persones (Jiménez-Jiménez et al., 2011), ens trobem davant d'una doble limitació del camp: la manca d'estudis que analitzin el paper moderador (Wanner, Cheng, et al., 2020) i la consideració del sexe per davant del gènere.

En un estudi realitzat en 2011, es van analitzar els efectes de l'exercici voluntari sobre el procés LTP en rates i es va destacar que els mascles presentaven majors beneficis que no passa a les femelles. Tot i que els estudis amb animals tenen escassa transferència, la hipòtesi que el procés LTP es veu diferentment afectat segons el sexe biològic continua vigent. Això es deu al fet que els nivells de BDNF s'incrementen més, a causa de l'exercici, en les persones de sexe masculí que en les de femení (Dinoff et al., 2017; Guiney et al., 2015). Donat això, és possible que el procés LTP sigui de major durada per les persones de sexe masculí (Qi et al., 2016), repercutint així sobre majors millores en els processos de consolidació. No obstant l'anterior, el BDNF no sembla ser l'única substància que es veu diferenciada, ja que les catecolamines poden variar després de l'exercici en funció del sexe (Zouhal et al., 2008). Aquestes diferències en l'exercici agut no es limiten a la segregació de neurotransmissors o BDNF, sinó a la regulació hormonal o, fins i tot, factors genètics (Marrocco & McEwen, 2016).

A nivell comportamental, s'han observat diferències de rendiment a proves cognitives sense components motors derivades del sexe biològic de les persones (Szuhany et al., 2015). A l'anterior estudi, la influència de l'exercici va ser més positiva a la retenció per a les persones de sexe

masculí que femení. Donada l'escassa recerca en aquest aspecte, a Loprinzi & Frith (2018) suggereixen que s'investigui, de forma específica, com afecten les diferències neuroquímiques i funcionals detectades entre el sexe masculí i femení sobre els processos de consolidació afectats per una sessió d'exercici.

L'element característic individual més estudiat en aquest àmbit de recerca és l'edat de les persones. Això és lògic si atenem a la influència que té l'envelliment en la moderació de la memòria motriu a causa d'una reduïda excitabilitat corticoespinal (Centeno et al., 2018), així com les afectacions sobre estructures clau per a la formació de memòries —com l'hipocamp (Albouy et al., 2013) — amb menor volum i menor neurogènesi en aquestes regions (Driscoll, 2006). El declivi sobre la memòria motriu no es produeix només per dèficits en la codificació de la informació sensoriomotriu sinó també per la disminució dels beneficis *offline* i per l'increment en la susceptibilitat a la interferència (Roig et al., 2014).

Tot i l'anteriorment comentat, una línia d'investigació de l'àmbit de l'exercici puntual i la memòria motriu és la que se centra a comprovar els efectes d'una dosi d'exercici sobre persones grans. A Hübner et al. (2018) es va destacar que l'exercici puntual va millorar l'activació cortical frontal contralateral (com a possible mecanisme compensatori) de les persones grans i, en conseqüència, va permetre utilitzar millor els recursos cerebrals frontals durant la tasca d'aprenentatge motor (tasca de modulació i concordança de forces) i la seva consolidació. A més a més, diversos estudis han investigat els efectes de l'exercici en nens i nenes i joves adolescents, demostrant un impacte positiu sobre els processos de retenció motriu a llarg termini també en aquestes edats (Angulo-Barroso et al., 2019; Lundbye-Jensen et al., 2017). Tot i això, la majoria d'estudis s'han centrat en analitzar els efectes de l'exercici sobre la retenció motriu en persones joves d'entre 20 i 25 anys (Roig-Hierro et al., 2022).

Un element que tradicionalment s'ha determinat com a condicionador en la relació entre l'exercici i la cognició és el nivell físic de les persones (Tomprowski & Ellis, 1986). En aquesta tesi s'utilitzarà el terme nivell físic derivat de la seva traducció de l'anglès del terme '*fitness level*' utilitzat majoritàriament a l'àmbit per fer referència al nivell de condició física de les persones (Hung et al., 2021).

Diverses investigacions recollides a la revisió sistemàtica de Rigdon & Loprinzi (2019) van reportar una associació positiva entre el nivell cardiorespiratori i la memòria episòdica. Donada l'alta correlació entre el nivell cardiorespiratori (mesurat tradicionalment pel VO₂màx) i altres formes de mesurar emprades, com les pulsacions o els qüestionaris IPAQ (qüestionari internacional de l'activitat física) (Ottevaere et al., 2011), es considera el nivell físic de les

persones com un element moderador independentment de la mesura a partir de la qual s'obté. Tornant als resultats de Rigdon & Loprinzi (2019), és possible que els nivells de BDNF difereixin segons el nivell físic de les persones i els canvis funcionals siguin majors per a les persones més actives que, en conseqüència, presentaran diferències en la plasticitat de regions motores així com diferències en els processos d'aprenentatge motor (Cirillo et al., 2009).

La influència del nivell físic podria limitar-se a la segregació diferent de BDNF sense arribar a tenir afectació directa sobre altres processos. Wang et al. (2016) va reportar que els canvis en l'amplitud del component P3 (que es va relacionar amb la millora del temps de reacció a la tasca) van ser independents, després d'una sessió d'exercici, al nivell físic de les persones. De forma similar, Macdonald et al. (2019) van reportar que després de 20 minuts d'exercici d'intensitat moderada es van observar canvis en l'excitabilitat cortical que van ser independents al nivell físic de les persones. Pel que fa a la memòria motriu, només un estudi s'ha fixat, de forma específica, el paper del nivell físic com a moderador (Hung et al., 2021). En aquest estudi, les autores no van destacar beneficis produïts per l'exercici sobre la memòria motriu i tampoc van reportar diferències dependents al nivell físic de les persones.

Arribats a aquest punt cal destacar la inconsistència dels estudis realitzats. Com destaquen McMorris et al. (2016), mentre les diferències observades en la morfologia del cervell es relacionen amb el nivell, tipus i periodicitat dels entrenaments de les persones, les concentracions de BDNF i altres hormones de creixement no. D'aquesta manera, les diferències dependents al nivell físic es podrien vincular a canvis a més llarg termini, com en el desenvolupament del cervell, no afectant de forma directa el procés de consolidació d'una memòria motriu després de l'exercici agut.

Finalment, cal destacar un moderador no estudiat a l'àmbit de l'exercici puntual i la memòria motriu: l'expertesa a una activitat física, que pot condicionar els canvis que es produeixen en el cervell (Huang et al., 2015; Zhang et al., 2022). Això es relaciona amb un concepte prèviament introduït: l'aprenentatge motor condiciona i modula el desenvolupament del cervell (Carey et al., 2005; Dayan & Cohen, 2011; Marcori & Okazaki, 2019; Monfils et al., 2005) i les habilitats cognitives d'ordre superior (Beavan et al., 2020; Guillem, 2022). Per aquest motiu, l'expertesa en una modalitat d'activitat física podria condicionar com el sistema gestiona els recursos disponibles generats per l'exercici per destinar-los a la resolució de la tasca motriu, sempre i quan la tasca mantingui relació amb l'expertesa individual (Pereira et al., 2013; Pesce, 2009).

Les diferents formes d'abordar els moviments i els requeriments de la tasca d'aprenentatge segons el bagatge individual poden influenciar el rendiment motor (Malhotra et al., 2015). En aquest

sentit, es pot pensar que les persones esportistes expertes utilitzen menys recursos per aprendre o executar una tasca motriu quan es comparteixen els principis de la tasca i l'esport (Amico & Schaefer, 2022), fet que podria incidir sobre l'aprofitament que el cervell fa dels recursos generats per una sessió d'exercici. Tot i que no s'ha estudiat el rol de l'expertesa motriu com a moderador dels efectes de l'exercici sobre la consolidació motriu, un estudi recent ha demostrat que l'impacte d'una sessió d'exercici sobre la connectivitat pot variar segons el tipus d'activitat física regular que duïen a terme les persones (aeròbica o anaeròbica) (Zhang et al., 2022).

4.2.2.3 Tasca motriu d'aprenentatge

Un dels aspectes que no s'ha estudiat de forma específica és el paper de la tasca motriu d'aprenentatge (Roig-Hierro et al., 2022). A Wanner, Cheng, et al. (2020) es van comparar els resultats obtinguts a les tasques d'adaptació motriu i les d'aprenentatge motriu —que recauen sobre circuits cerebrals diferents (Doyon et al., 2009)— i van destacar efectes positius sobre ambdós tipus. Els autors van suggerir, basant-se en els estudis de Dal Maso et al. (2018) i Mang et al. (2016), que l'exercici agut podria ser una eina eficaç per influir sobre els aprenentatges motors que recauen tant en circuits del cerebel com en les àrees sensoriomotors

Independentment de si la tasca era d'adaptació o d'aprenentatge, la major part de la recerca prèvia ha investigat els efectes de l'exercici sobre tasques d'aprenentatge simples i de laboratori desvinculades de les tasques d'aprenentatge motor del dia a dia (Hung et al., 2021; Moriarty et al., 2022). Una de les possibles explicacions és la facilitat de controlar les variables estranyes en comparació amb tasques més obertes, que impliquin a tot el cos i que tinguin un caràcter més ecològic. Una altra explicació podria vincular-se a la voluntat investigadora per replicar estudis preexistents, variant només un dels moderadors implicats. Per aquest motiu, la majoria de les investigacions utilitzen tasques de seguiment visuomotor (VAT) (Roig-Hierro et al., 2022), basant-se en el protocol emprat a Roig et al. (2012).

Com es destaca a Roig-Hierro et al. (2022), les tasques VAT i d'adaptació per rotació visuomotriu (rVMA) han estat les més emprades i, alhora, les que han reportat majors beneficis sobre els processos de consolidació, tenint en compte diferents components específics de les tasques, com el temps de reacció, el temps de moviment, la sincronització temporal o la ràtio d'error (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022). A les tasques de temps de reacció en sèrie (SRTT), d'abducció balística del dit polze i de pinçament visual isomètric seqüencial (SVIPT) també s'han reportat beneficis en la retenció gràcies a una sessió d'exercici.

Però els efectes observats en tasques simples podrien no transferir-se a tasques de major complexitat i més properes als contextos quotidians (Charalambous et al., 2018). Els patrons d'activació del cervell varien en funció de la complexitat de la tasca motriu (vegeu exemples a la Taula 6), essent les tasques més complexes les que requereixen major activitat a l'escorça prefrontal com a conseqüència de la necessitat d'involucrar processos cognitius d'ordre superior per resoldre la tasca (Leisman et al., 2016).

Taula 6. Diferent activació principal de les regions del cervell segons la tasca: tres exemples.

Exemple de tasca simple de laboratori	Regions del cervell implicades	Afectació de l'exercici puntual
Tasques d'aprenentatge motor seqüencial	Actuen dos circuits paral·lels. D'una banda el component espacial (independent a l'efector) recau en un circuit que inclou el cerebel i el cos estriat, mentre que el component del moviment (dependent a l'efector) recau en un circuit que implica el cerebel, el cos estriat sensoriomotor i la M1 (Hikosaka et al., 2002). La consolidació d'aquest aprenentatge seqüencial és proporcional a l'activitat cerebral a la M1 (Floyer-Lea & Matthews, 2005; Ungerleider et al., 2002) i dependent al son (Debas et al., 2010).	Fins a 5 estudis utilitzen tasques d'aprenentatge motor seqüencial. Només un estudi troba beneficis del grup exercici sobre la retenció (Stavrinos & Coxon, 2017) i un sobre l'adquisició d'aquests aprenentatges (Statton et al., 2015). Un estudi troba efectes molt moderats (Jo et al., 2019) i la resta d'estudis no troben diferències amb els grups control (Munz et al., 2021; Rhee et al., 2016).
Tasques de seguiment visomotor (VAT)	L'aprenentatge d'una tasca de seguiment visomotor incrementa la connectivitat funcional en estat de repòs en el circuit que inclou l'escorça prefrontal, superior i inferior parietal, així com Cerebel (<i>posterior Crus II</i>) (Albert et al., 2009). De fet, els circuits del cerebel juguen un rol important en aquests tipus d'aprenentatges, sobretot en el component temporal d'aquesta tasca (Doyon et al., 2003).	La majoria dels estudis que utilitzen tasca de seguiment visomotor obtenen beneficis superiors en el grup que realitza exercici puntual (Beck et al., 2020; Christiansen et al., 2019; Lundbye-Jensen et al., 2017; Roig et al., 2012; Thomas, Beck, et al., 2016; Thomas et al., 2017; Thomas, Johnsen, et al., 2016), excepte a Hung et al. (2021).

Exemple de tasca complexa que implica tot el cos	Regions del cervell implicades	Afectació de l'exercici puntual
Tasques de balanceig dinàmic de tot el cos	L'aprenentatge i consolidació d'una tasca de balanceig dinàmic de tot el cos implica increments en la connectivitat entre l'àrea suplementària motora (SMA) i l'àrea suplementària premotora (preSMA) amb l'escorça medial i parietal (Taubert et al., 2011). L'activitat al còrtex prefrontal esquerra (PFC) també es veu significativament incrementada (Ueta et al., 2022). També s'observa una expansió de la matèria gris del cervell en les regions parietals-frontals a partir d'una pràctica de la tasca de dues setmanes, que evidencia com l'aprenentatge motor condiciona el desenvolupament del cervell (Dayan & Cohen, 2011). El procés de consolidació d'aquests tipus de memòries és independent al nivell d'expertesa (Pereira et al., 2013).	A l'estudi de Wanner, Müller, Cristini, Pfeifer, Steib, et al. (2020) l'exercici puntual no genera cap benefici superior.

Les conseqüències d'aprendre una tasca complexa o simple també pot implicar un diferent desenvolupament estructural del cervell (Lehmann et al., 2022). Per aquest motiu, és possible que els efectes de l'exercici sobre la consolidació motriu siguin dependents a la complexitat de la tasca d'aprenentatge (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022; Wanner, Müller, Cristini, Pfeifer, Steib, et al., 2020).

La dificultat metodològica per mesurar l'activitat cerebral durant tasques de major complexitat que impliquen moviments globals del cos (per exemple, tasques de balanceig dinàmic) (Ueta et al., 2022) i la inexistència d'estudis que comparin els efectes de l'exercici puntual sobre la consolidació de tasques de diferent complexitat (Roig-Hierro et al., 2022), impedeixen confirmar les hipòtesis anteriors.

Fins al moment, els estudis que han emprat tasques de major complexitat coordinativa i moviment més globals no han reportat beneficis sobre la consolidació motriu, exceptuant-ne a Bonuzzi et al. (2020). En aquest estudi, les persones investigadores van fer servir una tasca de servei de voleibol en la qual calia encertar, a partir de la sacada inicial, a una diana pintada a terra. L'exercici d'intensitat elevada realitzat després de la tasca va produir beneficis en la consolidació traduïts en un millor rendiment 24 hores després de l'aprenentatge inicial en comparació al grup control. Més enllà d'aquesta investigació, no s'han reportat efectes beneficiosos sobre la consolidació en tasques de balanceig dinàmic de tot el cos (Wanner, Müller, Cristini, Pfeifer, Steib, et al., 2020), o de caminar per una cinta de dos carrils (Charalambous et al., 2019; Helm et al., 2017). Una de les possibles explicacions és que quan la complexitat s'incrementa degut a la variabilitat de cada intent (o en el cas de les tasques contínues, quan l'adaptació constant del moviment té molts graus de llibertat) els efectes de l'exercici són menors que quan la tasca presenta menys graus de llibertat, afectant així aspectes molt específics del rendiment (com el temps de reacció) (Loràs et al., 2020).

Un altre exemple que pot suggerir una dependència a la complexitat de la tasca és el de l'estudi de Baird et al. (2018). En aquesta investigació, les autores van adaptar, utilitzant un joystick, la tasca emprada a Mang, Snow, et al. (2016) (tasca de selecció en sèrie STT) per convertir-la en una tasca en 3 dimensions. Mentre que a Mang, Snow, et al. (2016) l'exercici va produir beneficis en la consolidació de la tasca, a Baird et al. (2018) no es van trobar diferències amb el grup control. Les autores van suggerir que l'exercici va incidir més sobre les tasques menys exigents i complexes (com la 2D STT) en comparació a les tasques de major complexitat (com la 3D STT). Segons les autores, les tasques de menor complexitat requereixen menys recursos sobre el control motor i permeten que l'exercici incideixi sobre els components cognitius de la tasca, traduint-se en una millor actuació.

Segons la hipòtesi de Baird et al. (2018), les tasques motrius que siguin desafiantes a nivell cognitiu però no coordinatiu es veuran beneficiades per l'exercici i els recursos extra que en genera, permetent que tant els components motors com els cognitius de la tasca es vegin beneficiats. En canvi, les tasques motrius que siguin desafiantes a nivell coordinatiu (en la gestió de la força, direcció i angle del moviment, en la integració de diversos moviments en una acció o en l'acció conjunta de diferents parts del cos per realitzar una acció específica) centraran tots els recursos en el control motor (Dietrich & Audiffren, 2011) i seran menys sensibles a la influència de l'exercici. Els estudis que han emprat tasques de major complexitat coordinativa no han investigat de forma específica el paper de la complexitat, comparant l'afectació de l'exercici puntual sobre

diferents tipologies de tasques. Aquesta és una de les principals limitacions de l'àmbit que ens ocupa (Roig-Hierro et al., 2022).

Més enllà de les demandes coordinatives de les tasques, la complexitat d'una tasca motriu pot venir determinada pels problemes perceptius i cognitius que cal resoldre a cada execució (Moreau et al., 2015). És a dir, pels requeriments cognitius, ja siguin implícits al mateix moviment (Lelis-Torres et al., 2017) o explícits i generats pel context de pràctica (Pesce et al., 2009). Quan l'automatització de l'habilitat motriu és major (Pesce, 2012) i la tasca motriu és menys exigent per al control motor (Baird et al., 2018), el control sobre l'habilitat requereix menys recursos i requeriment cognitiu (Pendleton et al., 2016). Aquesta competició entre el control motor i el cognitiu és un fenomen que habitualment s'ha estudiat com a multitasques, on les persones han de resoldre més d'una tasca o atendre a diversos requeriments durant la tasca al mateix moment (Tomporowski & Audiffren, 2014). Per exemple, driblar amb una pilota mentre es prenen decisions tàctiques del joc que condicionen el tipus de driblatge a emprar (Wollesen et al., 2022). Durant aquesta execució, és possible que els requeriments cognitius, com les demandes sobre el control cognitiu, condicionin l'assignació dels recursos disponibles als diferents processos mentals implicats en la resolució de l'habilitat (Lelis-Torres et al., 2017).

Tot i que les tasques exigents sobre la coordinació (com caminar per una cinta de dos carrils) poden requerir el control cognitiu per resoldre's (Leisman et al., 2016), ens centrarem en els requeriments que venen determinats per l'aplicació d'aquesta acció motriu amb una finalitat i en un context (per exemple, driblar una pilota per superar un rival) (Wollesen et al., 2022) i no tant en l'acció motriu per se (la coordinació de moviments que requereix el driblatge). Aquest darrer punt s'ha englobat, en el present treball, com a requeriments coordinatius (o complexitat coordinativa).

4.2.2.3.1 Els requeriments cognitius de la tasca motriu d'aprenentatge

L'estudi de les tasques que inclouen requeriments motors i cognitius s'ha ubicat, tradicionalment, en el camp d'estudi del *dual-tasking* i s'ha abordat des de diferents perspectives, com l'estructural, la de la flexibilitat o la de la plasticitat (es pot trobar una descripció més detallada a Koch et al. (2018)). Normalment, en aquest camp s'ha estudiat els efectes de situar dues tasques diferenciades (per exemple una tasca cognitiva i una motriu simple) alhora o de forma seqüencial i mesurar la interferència entre ambdues (Tomporowski & Qazi, 2020). Els resultats d'aquest camp han aportat evidències respecte a la interferència entre tasques diferents, específicament quan requereixen el processament d'estímul a partir del mateix canal (Koch et al., 2018). En el dia a

dia de les persones trobem multitud de tasques que requereixen la combinació de requeriments coordinatius i cognitius alhora (un exemple clar són les activitats esportives). Aquests requeriments cognitius dintre de les tasques motrius es poden donar de forma implícita o explícita:

- Els requeriments cognitius implícits són els que es poden donar durant una recepció de voleibol, on el càlcul sobre les possibles trajectòries tant prèvies com posteriors, la ubicació en el camp, la preparació del cos, la previsió de força i direcció que s'aplicarà, entre d'altres, seran variables que incrementen el desafiament cap al control cognitiu (Lelis-Torres et al., 2017). Un altre exemple pot ser la necessitat d'adaptar el colpeig (i la posició de la pala) a la col·locació del cos de l'oponent en el tennis taula (Amico & Schaefer, 2022). És possible que les conductes anteriors estiguin, inicialment, menys automatitzades i requereixin un major control adaptatiu (Koziol & Lutz, 2013). Aquest control adaptatiu serà regulat per processos cognitius d'ordre superior (Redolar-Ripoll, 2014).

Per investigar com afecta l'exercici puntual sobre la consolidació de tasques motrius amb elevat requeriment cognitiu implícit caldrà emprar tasques contextualitzades on l'acció motriu ha de respondre a les demandes inherents pròpies del context, com poden ser les habilitats motrius esportives que requereixen diferents processos cognitius com l'anticipació o la memòria de treball (Amico & Schaefer, 2022).

Seguint l'exemple de la recepció del voleibol o del colpeig del tennis taula, es destaca que es tracta de moviments discrets. Les tasques amb moviments discrets també poden incrementar els requeriments sobre el control cognitiu en tant que requereixen constantment l'elaboració de nous plans d'acció (Baird et al., 2018). Tot i que és possible que l'exercici puntual afecti diferent sobre l'adquisició i consolidació de moviments discrets o continuats, la recerca fins al moment no ha adreçat específicament aquesta qüestió (Mang, Snow, et al., 2016).

- Els requeriments cognitius explícits són els que condicionen l'acció motriu de forma externa, com pot ser a partir de les decisions tàctiques relatives a la selecció i execució de l'habilitat motriu (Wollesen et al., 2022) o a partir de la incertesa que exigeix el context (determinada per la quantitat de variables a controlar) (Guillem, 2022).

Fins al moment, no es disposaven d'estudis que hagin analitzat específicament el paper dels requeriments cognitius (ja siguin implícits com explícits) a la tasca motriu d'aprenentatge en els efectes de l'exercici sobre la seva consolidació. Donada l'elevada transferibilitat i impacte que poden tenir aquests estudis —ja que gran quantitat de tasques motrius quotidianes requereixen el control cognitiu per resoldre's (Wollesen et al., 2022)— s'ha considerat una limitació del camp que resoldre. El nostre treball pretén ser una aportació en aquest sentit.

Recentment, una investigació realitzada per Netz et al. (2023) va aportar informació de valor respecte a aquesta qüestió, ja que va emprar una tasca motriu simple que desafia el control cognitiu a partir de les demandes cognitives explícites per analitzar els efectes d'una sessió d'exercici sobre l'aprenentatge a la tasca. En aquesta recerca, l'acció motriu (pitjar un pedal amb la mà o peus) s'havia d'adaptar a les demandes visuals de la tasca, de manera que la complexitat venia determinada tant per la utilització dels 4 efectors com, sobretot, per l'adequació de la seva utilització en relació amb un estímul explícit a la tasca. Algunes consignes implicaven pitjar, alhora, 3 pedals (una mà i dos peus). Tot i que la coordinació dels 3 segments alhora pot ser exigent per al control cognitiu (Boisgontier et al., 2014), els requeriments principals sobre aquest venien determinats per l'acoblament de la resposta motriu a les ordres explícites que indicaven l'acció motriu a aconseguir. Això implicava una elevada incertesa, donada la gran quantitat de possibles respostes prèvies a l'aparició de l'estímul, i un important requeriment sobre el control inhibitori, ja que la resposta indicava quins efectors emprar i quins no.

Quan el moviment s'ha d'ajustar a una seqüenciació i temporització específica, és a dir, ajustar-se a un patró rítmic, l'excitabilitat cortical augmenta en comparació al mateix moviment sense ajustar-se a cap patró rítmic (Pascual-Leone et al., 1995). La complexitat cognitiva afegida (ajustar-se a un patró rítmic) que, alhora, condiciona la coordinació del moviment (Mechsner, 2004), pot provocar canvis en la neuroplasticitat i incidir sobre els processos cognitius vinculats (Münte et al., 2002).

Els resultats de Netz et al. (2023) van demostrar un increment en el rendiment motor a llarg termini per al grup que va realitzar exercici de moderada cap a elevada intensitat. És el primer estudi en suggerir que l'exercici puntual pot potenciar els processos de consolidació d'una tasca motriu exigent sobre el control cognitiu i, concretament, sobre el control inhibitori. Tot i això, pel fet que el moviment d'execució era molt simple (pitjar o no pitjar el pedal), és possible que no existís competició pels recursos disponibles per al control motor o el cognitiu, ja que l'únic desafiament venia determinar per les ordres i la seva resposta i no tant per l'execució del moviment.

Tot i les noves aportacions de l'estudi anterior, la transferibilitat de la tasca és reduïda en els contextos més habituals. Els requeriments cognitius, tant implícits com explícits, derivats d'una habilitat motriu esportiva impliquen una gran varietat de processos cognitius (Amico & Schaefer, 2022). A més, aquestes habilitats esportives acostumen a implicar una complexitat coordinativa en l'execució superior a la de pitjar un pedal. Per aquest motiu se suggereix la utilització de

tasques esportives contextualitzades per determinar els efectes de l'exercici sobre la consolidació de tasques motrius amb elevat requeriment cognitiu.

Donat que les demandes d'una tasca motriu amb elevada demanda cognitiva requeriran la participació d'habilitats cognitives d'ordre superior per resoldre la tasca, un estudi va analitzar la relació entre el desenvolupament de les FE i les habilitats coordinatives desenvolupades a partir d'entrenaments de futbol. L'estudi va destacar una correlació entre el nivell a l'habilitat motriu específica i el nivell a les proves cognitives que analitzaven les FE. Concretament, a major nivell d'habilitat motriu es va destacar un major nivell de les FE. Donada la participació de les FE durant la resolució de tasques motrius amb demanda cognitiva (Stuhr et al., 2018) i l'efecte positiu observat de l'exercici agut sobre les FE (Chang et al., 2012), en el nostre treball hem cregut convenient unificar les aportacions de dos àmbits d'estudi que s'han tractat de forma independent: l'exercici agut i la memòria motriu, i l'exercici agut i les FE. Com es veurà més endavant, una de les intencions del present treball és la d'analitzar el paper moderador de les FE requerides durant la tasca motriu en els efectes de l'exercici sobre la consolidació motriu. Això pot ajudar a resoldre una de les limitacions del camp: la desconexió dels efectes de l'exercici sobre la consolidació de tasques motrius que varien en el requeriment cognitiu.

4.2.2.3.2 La participació de les funcions executives a la tasca motriu

Les FE són un conjunt de processos mentals d'ordre superior que dirigits a la consecució d'objectius i que s'encarreguen d'iniciar i finalitzar accions, monitoritzar i modificar la conducta, planificar noves conductes, simular conseqüències o inhibir respostes irrellevants, entre d'altres (Redolar-Ripoll, 2014).

Per justificar la participació de les FE a una tasca motriu, cal abordar les aportacions que es disposen sobre la relació entre la motricitat i les FE. Aquesta es justifica des de diferents perspectives:

- A partir de la interdependència observada entre desenvolupament motor i cognitiu de l'infant. Es destaca una relació en la maduració i rendiment del comportament motor i de les FE des de diferents nivells d'anàlisi: tant en la interacció entre els substrats neuronals de l'habilitat coordinativa i cognitiva (Koziol et al., 2012) com en el rendiment i participació de l'infant en situacions quotidianes que requereixen habilitats coordinatives i cognitives (Rosenberg et al., 2017).

- A partir de la participació de l'escorça prefrontal, tradicionalment vinculada al funcionament executiu, en el procés de planificació del moviment, selecció de les estratègies i decisió del moment d'execució (Redolar-Ripoll, 2014). Concretament, seguint la darrera investigació es destaca el paper del PFC per crear mapes a partir de la informació procedent d'estímuls externs i interns per a que arribin a les regions encarregades del control motor i que es desencadeni la resposta motriu vinculada a l'objectiu inicial. Per aquest motiu es parla de l'activació de múltiples regions durant la realització de la tasca motriu degut a un control distribuït i no específic a una regió (Redolar-Ripoll, 2014).
- A partir del nivell i diferenciació de les habilitats cognitives d'ordre superior segons l'expertesa motriu:
 - D'una banda, diferents estudis han reportat la relació entre un nivell elevat de rendiment a una disciplina esportiva i un desenvolupament superior de les FE específiques (les que es desafien durant la pràctica esportiva concreta). En aquest sentit, les persones esportistes d'elit o de major nivell demostren un nivell de FE superior a les principiants (Contreras-Osorio et al., 2021). En dues investigacions diferents (una des del futbol i l'altre des del bàsquet) es va demostrar que els infants (11-12 anys) que arribaven més lluny en els processos de selecció per talent de la seva disciplina esportiva tenien un major rendiment en les FE requerides en aquella disciplina (Guillem, 2022; Sakamoto et al., 2018).
 - D'altra banda, quan es comparaven diferents disciplines esportives, el rendiment sobre les FE diferia, demostrat un desenvolupament específic en funció del tipus de requeriment cognitiu de cada esport (Krenn et al., 2018; Möhring et al., 2022). Per exemple, a Krenn et al. (2018) es van reportar beneficis superiors en els temps de reacció, la flexibilitat cognitiva i la memòria de treball per a les persones que realitzaven esports dinàmics (hoquei) en comparació als esports estàtics (córrer). A Möhring et al. (2022) es va posar el focus en l'habilitat motriu. Els infants que participaven a esports on les habilitats motrius son obertes (futbol) demostraven una major flexibilitat i canvis atencionals en comparació als infants que participaven en esports tancats (natació).

Les darreres línies de recerca presentades són rellevants per al present estudi en tant que ens permeten justificar la importància de considerar el requeriment cognitiu en la resolució d'una tasca motriu. Les habilitats mentals específiques d'ordre superior —en aquest cas, les FE (Davidson et al., 2006)— permetran organitzar i regular el comportament en situacions que requereixen atenció, concentració, solucionar nous problemes o prendre decisions a partir de

diferents informacions (Diamond, 2013). Les tasques motrius que requereixin un control menys automàtic, així com aquelles situacions on existeixen moltes variables a gestionar, com a la majoria d'experiències esportives, la participació de les FE serà necessària (Koziol & Lutz, 2013; Wollesen et al., 2022). En canvi, és possible que quan les persones es trobin a la fase d'aprenentatge lent o avançada (Dayan & Cohen, 2011), l'automatització progressiva de la tasca impliqui una menor participació de les àrees principals de l'escorça vinculades al control cognitiu per recaure sobre àrees subcorticals.

Responent a les necessitats de l'àmbit de l'exercici puntual i la memòria motriu i aprofitant les aportacions de les línies anteriors, en el present treball s'estudiarà la incidència de l'exercici agut sobre una tasca que requereix la participació de les FE i una tasca que no ho fa (o ho fa en menor mesura). Aquesta intenció investigadora, no només ve determinada per les aportacions anteriors (l'efecte de l'exercici sobre la memòria motriu i la participació de les FE a les tasques motrius), sinó també per les recerques que es destaquen en el següent capítol.

Capítol 5: L'exercici puntual sobre les funcions executives

Paral·lelament a les línies de recerca presentades a l'apartat anterior, una línia s'ha centrat a estudiar la incidència que tenen les intervencions a partir del moviment per potenciar el desenvolupament o rendiment de les FE. Les intervencions a partir de l'exercici poden provocar beneficis sobre les FE optimitzant el seu rendiment tant a curt com a llarg termini (Guiney & Machado, 2013). Dintre d'aquesta línia cal diferenciar dos tipus d'intervencions segons la freqüència: l'exercici regular i l'exercici agut.

- Un gran volum de recerca s'ha centrat en els efectes de l'exercici regular sobre les FE (Hsieh et al., 2021), a partir de la qual s'han generat programes d'intervenció en contextos quotidians (Haverkamp et al., 2020; Singh et al., 2019; Xue et al., 2019). A grans trets, cal diferenciar dos tipus d'intervenció que, tot i cercar la millora de les FE, varien en l'enfocament:
 - Els programes a partir d'exercicis cognitivament enriquits, a partir dels quals s'aconsegueix un major rendiment de les FE al llarg de la realització del programa (Crova et al., 2014). Aquests exercicis enriquits parteixen de situacions on es genera un dispendi energètic i on, a més, cal desafiar reptes cognitius a partir de l'habilitat motriu (Crova et al., 2014; Diamond & Ling, 2016; Tomporowski et al., 2015).
 - Els programes que incrementen les oportunitats i hores d'AF i que persegueixen els canvis en el cervell que faciliten el desenvolupament de les FE. Un exemple és el FitKids realitzats amb infants de 8/9 anys i que va destacar millores en l'atenció, inhibició i flexibilitat cognitiva (Hillman et al., 2014).

Donada la complexa evolució de les FE lligada al desenvolupament maduratiu dels infants tant a nivell psicològic (inhibir respostes requereix una maduració elevada) com físic (el cervell i les àrees dependents a les FE, com l'escorça prefrontal, pateixen canvis estructurals i funcionals al final de la infància) (Bidzan-Bluma & Lipowska, 2018; Redolar-Ripoll, 2014), gran part de la recerca s'ha centrat en analitzar el paper de l'exercici regular sobre les FE en infants i durant el procés de maduració, destacant-ne un impacte positiu (Best & Miller, 2010; Davis et al., 2011; Wang et al., 2013).

- Intervencions d'exercici puntual. En els darrers anys s'ha destacat també la incidència que una sola sessió d'exercici té sobre les FE, tant durant l'activitat (Wang et al., 2013) com un cop finalitzada aquesta (Hung et al., 2013). Tot i que s'observa un increment d'estudis que analitzen aquest impacte en contextos educatius amb infants (Daly-Smith

et al., 2018), gran part de la recerca s'ha centrat a analitzar els efectes a curt termini sobre joves i adults (Ishihara et al., 2021).

És a partir d'aquest darrer punt que proposem la convergència entre els àmbits de l'exercici agut i la memòria motriu, i l'exercici agut i les FE. Concretament, a partir dels beneficis observats a nivell comportamental en el rendiment motor (àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu) i el rendiment cognitiu (àmbit de l'exercici agut i les FE) gràcies a una sessió d'exercici.

Tot i que la unificació dels dos àmbits d'estudi parteix dels rendiments analitzats a les diferents proves i tests, es comparteixen justificacions des del nivell d'anàlisi biològic. A continuació es descriuen les aportacions més rellevants a l'àmbit de l'exercici agut i les FE des del nivell d'anàlisi biològic, i es comprova la relació amb les aportacions descrites al capítol 4.

5.1 Aportacions del nivell d'anàlisi biològic

Els efectes que una sessió d'exercici genera sobre les FE estan mediat per diferents canvis que es produeixen en el cervell de forma transitòria. Concretament, es suggereix que una sessió d'exercici pugui generar, de forma momentània i transitòria, augments dels recursos disponibles, tant a nivell molecular (Basso & Suzuki, 2017) com a nivell d'activació de regions del cervell (Byun et al., 2014), alguna clau per a l'augment de l'atenció (Hsieh et al., 2018).

Els increments en les substàncies neuroquímiques disponibles per al cervell, podrien incidir sobre el rendiment cognitiu i les FE gràcies a una millora de l'efectivitat en la comunicació neuronal (McMorris et al., 2016):

- L'augment en les catecolamines s'ha proposat com un mecanisme explicatiu (Zouhal et al., 2008) vinculat amb la millora de l'eficiència de la comunicació neuronal i la millora de les FE (Clark & Noudoost, 2014).
- Un altre dels increments més analitzats és el del BDNF, una proteïna relacionada amb la supervivència i creixement neuronal (neurogènesi) que pot creuar la barrera de sang del cervell i que és relativament senzill mesurar les seves concentracions i canvis (Piepmeier & Etnier, 2015). També s'han entre la producció de lactat i l'increment de BDNF. Concretament, l'increment en el lactat que genera una sessió d'exercici intens provocaria una major producció de BDNF i major disponibilitat del cervell d'aquesta substància (Dinoff et al., 2017). Aquest increment en el BDNF propicia una major velocitat i efectivitat en la transmissió sinàptica i es relaciona amb un millor rendiment de les FE (Hung et al., 2018). Tot i això, diferents investigacions presenten resultats contradictoris

i caldran noves investigacions per entendre millor el rol del BDNF sobre les FE després d'una sessió d'exercici (Ballester-Ferrer et al., 2022).

Segons Borró (2017), l'increment en el BDNF podria ser dependent als canvis en el flux de sang al cervell (CBF). El CBF es veu alterat per una sessió d'exercici puntual, provocant canvis a nivell funcional i de temperatura que optimitzen la comunicació neuronal en els circuits requerits per al funcionament executiu (Moore & Cao, 2008). Això no obstant, i com succeeix amb el BDNF, investigacions com la de Ogoh (2017) no van trobar relacions entre els canvis en el CBF durant l'exercici i la funció cognitiva i van suggerir que la millora cognitiva podria estar més relacionada amb els canvis en el metabolisme del cervell.

També s'observen canvis pel que fa a l'activitat cerebral a conseqüència de l'exercici agut. Yanagisawa et al. (2010) van analitzar l'activitat cerebral durant la tasca Stroop després d'una sessió d'exercici a partir de l'espectroscòpia funcional de l'infraroig proper (fNIRS). Els resultats van destacar que el rendiment augmentat a la tasca Stroop després d'una sessió d'exercici es va relacionar amb una major activació de l'escorça dorsolateral prefrontal (DLPFC). Posteriorment, Chang et al. (2017) van relacionar les millores en el temps de reacció a la tasca Stroop en el grup que feia exercici amb l'increment de les amplituds dels components P3 i N450. Els darrers components poden reflectir l'assignació dels recursos cap a un estímul i es relacionen amb millores en l'atenció a una tasca (Polich, 2007). En aquesta línia, estudis recents han suggerit que una major amplitud del component P3 a partir d'una sessió d'exercici es relaciona amb increments subsegüents a les tasques cognitives (Wu et al., 2019). Concretament, Hsieh et al. (2018) van demostrar una millora a la tasca Stroop després de l'exercici, fet que es va relacionar amb una major amplitud dels components N450 i P3.

5.2 Aportacions del nivell d'anàlisi comportamental

L'aprofitament dels recursos mencionats a l'apartat anterior es fa visible en tasques cognitives que provoquen un desafiament cap al funcionament executiu (Diamond, 2015). És a dir, tasques on, per resoldre-les, cal l'aportació de les FE. La concreció de les tasques pot variar segons l'enfocament i l'interès investigador. Per exemple, trobem tasques com la *Tower of London Task* (ToL) que requereixen una alta capacitat de planificació i selecció de la resposta adequada (Berg & Byrd, 2002), d'altres, com la *Go/No Go*, requereixen un elevat grau d'inhibició (Mehren et al., 2019) mentre que les tasques de la família *Task Switching* requereixen una elevada flexibilitat i adaptabilitat (Ravizza & Carter, 2008). L'activació de les àrees del cervell implicades en la resolució de la tasca varien si es comparen les tasques cognitives anteriors (Nitschke et al., 2017;

Ravizza & Carter, 2008) o, fins i tot, si es produeixen modificacions dintre de la mateixa tasca (Ravizza & Carter, 2008).

D'aquesta manera, les investigacions analitzen els efectes que té l'exercici sobre components específics, com la inhibició o la flexibilitat, de les FE. Tot i això, un gran volum de recerques està estudiant els efectes de l'exercici sobre les FE des d'una perspectiva general i no específica a la tradicional divisió per components. Això es deu a que el dia a dia de les persones requereix, habitualment, la resolució de tasques que impliquen més d'un component executiu i s'observa una elevada interdependència entre les FE (Diamond, 2013).

Per exemple, mentre es juga al pàdel les persones hauran d'anticipar moltes respostes, canviar ràpidament el pla d'acció segons el colpeig rival, adaptar el seu colpeig a la posició que ocupa l'adversari o, fins i tot, col·locar-se en el camp segons la voluntat de condicionar el seu colpeig. No obstant això, també haurà de recordar la normativa del pàdel, així com les consignes prèvies amb el company, o fins i tot haurà d'inhibir distractors sobre el joc, com els comentaris de terceres persones rival o el que pugui estar passant a fora de la pista. Totes les accions esmentades requereixen la participació de diverses habilitats cognitives (Amico & Schaefer, 2022), per la qual cosa es pot afirmar que el pàdel no desafia exclusivament un component de les funcions executives sinó la interrelació d'aquestes per aconseguir els objectius.

Per aquest motiu, en aquesta tesi es parlarà de control cognitiu com a sinònim de les FE (o fins i tot, com a actualització del concepte (Friedman & Robbins, 2022)). Concretament, farà referència a la organització i requeriment de les FE de forma interrelacionada per resoldre problemes (Redolar-Ripoll, 2014; Ritz et al., 2022) i optimitzar el comportament menys automàtic orientat a un objectiu (Friedman & Robbins, 2022). Això ens porta a seguir una visió holística del comportament cognitiu, amb independència del model de les FE sota el qual s'analitzi (es troba una descripció detallada dels models a Echavarría (2017)).

Tot i això, s'accepta la divisió per components derivada del mateix fraccionament funcional de l'escorça prefrontal (Friedman & Robbins, 2022). Mentre les tasques cognitives mantenen una certa especificitat —on uns components es veuran més desafiats que d'altres i, en conseqüència, unes zones del PFC presentaran major activació— s'observa una certa unitat i similitud comportamental entre tasques dependents a l'escorça prefrontal (Miyake et al., 2000), on es poden produir sobreposicions dels diferents components (inhibició, memòria de treball, flexibilitat) alhora per resoldre una tasca cognitiva (Friedman & Robbins, 2022).

A partir dels estudis que analitzen la participació de les diferents FE a les tasques cognitives i que analitzen com les lesions estructurals al cervell incideixen en la interacció entre les FE, es planteja una visió dual integrada a partir de la qual s'accepta la dependència i la relació entre les FE per resoldre les tasques cognitives i atendre processos d'ordre superior com la planificació, mentre que es respecta la divisió de les FE segons el requeriment específic de la tasca. En definitiva, tot dependrà del nivell de concreció que es vulgui abordar (Friedman & Miyake, 2017). A nivell neuronal, s'observa la conjunció i interconnexió de les xarxes neuronals durant les tasques que requereixen el PFC (es poden veure les xarxes del PFC que juguen un paper clau en el control cognitiu a Menon & D'Esposito (2022)) i, alhora, l'activació de xarxes específiques segons la tasca (Friedman & Miyake, 2017). Tot i que tradicionalment s'han ubicat les FE a les regions del lòbul frontal, són diversos els sistemes cerebrals interrelacionats que participen en el control de la conducta flexible (Redolar-Ripoll, 2014). En aquest sentit, es destaca la flexibilitat en l'arquitectura neuronal del PFC per processar i dirigir la resposta de forma eficient als comportaments que requereixen major flexibilitat segons les demandes perceptives, mnemòniques, lingüístiques i motrius (Menon & D'Esposito, 2022).

Per aquests motius el present treball se situa sota el model d'unitat i diversitat: el control cognitiu com a constructe que engloba els diferents components específics, com la memòria de treball, necessaris per resoldre una tasca de forma interactiva. Tot i això, a cada tasca cognitiva el desafiament cap als components específics serà diferent i, en conseqüència, cap a les zones requerides del PFC. Aquest és un model que va presentar Teuber (1972) però que, a partir de les darreres tècniques d'anàlisi del cervell s'ha pogut actualitzar (Friedman & Robbins, 2022).

Alhora, cal considerar el model que es proposa a Ritz et al. (2022), on les solucions que es requereixen durant un repte motriu i un repte cognitiu podrien mantenir una similitud de principis que poden explicar com el cervell optimitza el comportament complex (una tasca motriu, el test Stroop, etc.) i hi dona resposta. Concretament, segons aquesta visió es planteja una configuració multidimensional (control relacionat amb l'error i l'ajustament, control relacionat amb el conflicte entre estímuls, control relacionat amb la consideració dels incentius) del control cognitiu per resoldre les tasques amb menor grau d'automatització. Aquest model s'afegeix a la idea introduïda prèviament sobre la consideració d'un constructe multidimensional que actua de forma sinèrgica, per sobre de la consideració dels components específics que resolen la tasca.

Arribats a aquest punt, en el present treball es parlarà de control cognitiu, referint-se al conjunt de processos clau per a la regulació del comportament no automàtic a partir de l'optimització dels processos orientats a un objectiu (Friedman & Robbins, 2022).

Donada la importància que adquirirà en endavant en el present treball, cal fer una descripció de la tasca. La tasca sota l'efecte Stroop es considera una tasca d'espectre ample (Banich, 2019) en tant que requereix el treball de tots els components de les FE, tot i que tradicionalment s'ha emprat per mesurar la inhibició (Scarpina & Tagini, 2017). La tasca implica reaccionar en un temps limitat a una successió temporal d'estímuls visuals que fan referència a una paraula que anomena un color mentre està pintada de forma congruent (mateix color que el que indica la paraula) o incongruent (diferent color del qual indica la paraula) (Stroop, 1935). D'aquesta forma, es requereix a la persona que mantingui un processament mental enfocat a l'objectiu (MacLeod & MacDonald, 2000), seleccioni els aspectes de la tasca que són importants per a l'execució efectiva i desestimi els estímuls irrelevantes i distractors prioritzant la informació rellevant (Alvarez & Emory, 2006). Tot plegat dependent a una velocitat de cerca visual que es veu desafiada a la tasca (Periáñez et al., 2021). En l'estudi de l'exercici i les FE és possible trobar diferents tasques Stroop, ja que existeixen múltiples modificacions que no utilitzen colors, sinó nombres o posicions a l'espai, o on la successió temporal combina els anteriors (Vo et al., 2021).

La conjunció dels anteriors processos no depèn exclusivament del control inhibitori, sinó també de la memòria de treball (Periáñez et al., 2021). Això es deu al fet que la tasca Stroop no mesura exclusivament la interferència, sinó la susceptibilitat a la interferència procedent d'estímuls conflictius (Sibley et al., 2006). De fet, alguns estudis van suggerir que una major capacitat individual de memòria de treball resultava en un major rendiment a la tasca Stroop (Kane & Engle, 2003).

Diferents modalitats de l'efecte s'han emprat per desafiar més alguns components específics, com la memòria de treball (Pan et al., 2019) o la flexibilitat cognitiva (Amin Yazdi et al., 2018). En aquest sentit, es proposa que, tot i existir un locus específic determinat per les diferències en les activacions cerebrals per cada una de les modificacions de la tasca Stroop, existeix un grau de similitud elevat en el locus derivat de qualsevol tasca de la família Stroop, independent a la naturalesa de la informació (color, noms, nombres) i dependent al grau d'automatització (Banich, 2019). Donada la gran varietat de processos cognitius específics involucrats en la resolució de l'efecte Stroop, en el present treball es considerarà el rendiment a la tasca Stroop com un indicador del rendiment del control cognitiu.

L'explicació de com el control cognitiu actua en la tasca Stroop no motriu des del nivell d'anàlisi biològic es basa en les aportacions de Banich (2019) i Friedman & Robbins (2022). Es proposa un model en cascada per respondre a l'efecte Stroop per la via Dorsolateral, on es destaca el paper del DLPFC per implementar el control cognitiu mentre la circumvolució del cíngol (ACC)

resoldria els conflictes derivats de la interferència. L'activació s'iniciaria al DLPFC per discriminar la informació sensorial o perceptiva que pot ser rellevant, continuaria a la zona medial del DLPFC on se selecciona la informació més rellevant per a la tasca (implicació de la memòria de treball), seguiria per l'activació de la circumvolució del cíngol, on el conflicte a partir de l'estímul del color es gestionaria, on es resoldria la darrera competició entre respostes potencials i on s'avaluaria la resposta. Seguint les aportacions de Redolar-Ripoll (2014) en relació a les comunicacions del DLPFC, es possible que es requereixi la connexió bidireccional amb l'escorça parietal posterior, que juga un paper important en la distribució de la atenció.

Aquest és un model que no només explica la resolució a la tasca Stroop (tot i que poden existir variacions en funció del requeriment a la tasca) i que pot explicar l'especificitat del PFC mentre es destaca la interrelació i interacció entre processos (unitat i diversitat a nivell neuronal) (Friedman & Robbins, 2022).

5.2.1 L'exercici agut sobre la tasca de l'efecte Stroop

Per tot el que acabem de comentar, la tasca Stroop és una de les més emprades per analitzar els efectes de l'exercici sobre les FE i s'ha utilitzat sobre manera per avaluar l'activitat depenent al PFC (MacLeod, 1991). Alhora, donada la gran varietat de tasques cognitives utilitzades per mesurar el control cognitiu, hem decidit centrar-nos, si no s'especifica el contrari, en les investigacions relatives als efectes de l'exercici agut sobre les FE que hagin emprat la tasca Stroop com a mesura de rendiment cognitiu. Això es deu també a l'interès per comparar intervencions variades a nivell metodològic a partir de la mateixa tasca de mesura. Arribats a aquest punt, cal fer un aclariment: l'àmbit que ha estudiat els efectes de l'exercici sobre el control cognitiu ha seguit, fins al moment i de forma majoritària, la conceptualització de les FE com a procés cognitiu analitzat. Per aquest motiu, en el present treball es parla de l'àmbit de l'exercici agut i les FE, encara que ens referirem al control cognitiu (i no a les FE) quan parlem estrictament de les aportacions d'altres investigacions.

En els anys 80 van aparèixer els primers estudis que demostraven un efecte de l'exercici puntual sobre el control cognitiu en la tasca Stroop de lletra i color:

- Lichtman i Poser (1983) van destacar una incidència positiva d'una sessió d'exercici de 45 min a intensitat moderada sobre el rendiment immediatament posterior a la tasca.
- Hogervorst et al. (1996) van demostrar un efecte positiu de l'exercici físic agut d'intensitat elevada durant una hora en el rendiment cognitiu i, especialment, al test Stroop de lletra i color realitzat immediatament després de l'exercici.

- Sibley et al. (2006) van destacar els efectes d'una sessió d'exercici d'intensitat moderada però amb una durada de 20 minuts (inferior als darrers estudis) destacant una incidència superior en el rendiment al test Stroop de color i lletra en comparació a altres Stroop.

La diferència entre els estudis anteriors recau en les característiques de l'exercici, concretament en la seva intensitat i durada. Actualment, diversos estudis destaquen el paper moderador de la intensitat en l'efecte sobre la cognició durant la tasca Stroop (Brown & Bray, 2018).

Yanagisawa et al. (2010) van reportar que els increments de rendiment al test Stroop gràcies a una sessió d'exercici no eren només immediats, sinó que es podien mantenir fins a 15 minuts després de la sessió. Degut a això, un dels focus recents de les investigacions ha estat determinar la durada dels efectes posteriors a l'exercici:

- Tsukamoto et al. (2016) van destacar que els efectes de l'exercici es podien mantenir i aprofitar per al test Stroop fins a 30 minuts posteriors. Tot i que tant l'activitat a intensitat moderada com elevada van presentar beneficis, es va destacar una millora del rendiment a la tasca 30 minuts després per al grup d'intensitat elevada.
- Un any després Tsukamoto et al. (2017) van aportar una nova evidència de l'impacte de l'exercici moderat sobre la tasca Stroop fins a 30 minuts posteriors. A més, també van analitzar els efectes de la durada de l'exercici segons si es realitzava a baixa o moderada intensitat. Els resultats van demostrar que el grup que va dur a terme l'activitat a intensitat moderada, però de major durada (40 minuts), va ser el que millor rendiment va presentar al cap de 30 minuts de finalitzar l'activitat.

Els autors proposen que el dispendi energètic, ja sigui per la intensitat elevada o per la llarga durada de l'activitat moderada, sigui clau per beneficiar el rendiment cognitiu així com per mantenir els efectes en el temps.

En aquesta línia, Tian et al. (2021) va demostrar que els beneficis de l'exercici puntual es mantenen fins a 90 minuts posteriors a l'activitat. Això es va traduir en un increment del rendiment a una altra tasca que mesura el control cognitiu (*Flanker task*) només per al grup que va fer l'activitat durant 10 minuts per intervals d'alta intensitat. Novament, les diferències metodològiques entre estudis suggereixen que les característiques de l'exercici incideixen en diferent mesura sobre la cognició. Aquestes variables metodològiques són les que hem considerat anteriorment com moderadors.

5.2.2 Moderadors quantitius de l'efecte

En un estudi realitzat en 2013, es van comparar els efectes de l'exercici puntual d'intensitat elevada, moderada i baixa sobre la tasca *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), emprada tradicionalment per analitzar la flexibilitat cognitiva i els canvis d'atenció (Wang et al., 2013). Els resultats van mostrar un decrement en el rendiment al test WCST per al grup que va fer l'exercici a intensitat elevada, mentre que el rendiment es va mantenir per als grups que feien l'exercici a intensitat moderada o baixa. D'aquests resultats s'extreuen dues variables que es relacionen: la intensitat de l'exercici i la temporalitat.

5.2.2.1 Temporalitat de l'exercici físic

Les autores de l'anterior estudi, van suggerir que l'exercici d'intensitat elevada era perjudicial per al rendiment a la tasca cognitiva que s'estava realitzant de manera simultània, per l'efecte de la hipofrontalitat transitòria (Wang et al., 2013). La hipòtesi de la hipofrontalitat transitòria va ser proposada per Dietrich (2006) i actualitzada anys després per la mateixa Dietrich & Audiffren (2011). La idea central que suggereix és la prioritització del sistema en l'assignació de recursos per al control motor per davant del control cognitiu en accions que són exigents per ambdós. Per tant, si l'exercici es fa a intensitat elevada, el sistema n'haurà de dedicar majors recursos al control motor que no pas si es realitza a intensitats menors. En conseqüència, el control cognitiu es pot veure afectat per la falta de recursos disponibles, esdevenint un pitjor rendiment a nivell comportamental a la tasca cognitiva si es du a terme alhora que l'exercici.

Tot i que es veu influenciada per estudis que analitzaven la incidència de la fatiga sobre l'actuació cognitiva durant l'exercici (Sanders, 1983), la hipòtesi de la hipofrontalitat es basa en estudis que analitzen el flux de sang al cervell durant l'exercici i demostren un increment en àrees com el còrtex motor primari (M1), encarregat del control motor, en comparació a àrees encarregades del control executiu, com l'escorça prefrontal (Ide & Secher, 2000).

Sota la influència d'aquestes aportacions, alguns estudis van hipotetitzar que l'exercici d'alta intensitat seria perjudicial per a una tasca cognitiva, no només quan es realitza alhora sinó quan es fa immediatament després (Alves et al., 2014). Aquesta hipòtesi també respon al model de la U inversa, introduït per Yerkes & Dodson (1908) i adaptat a l'àmbit de l'exercici i la cognició per Brisswalter et al. (2002), ja que se suggereix que la intensitat de l'exercici pot augmentar l'activació del sistema i ser beneficiosa per al rendiment cognitiu, excepte quan la intensitat sigui massa elevada, quan podria ser perjudicial per als efectes immediatament posteriors. És un

concepte conegut com hormesis. Contràriament a aquestes hipòtesis, Alves et al. (2014) van reportar un decrement significatiu del temps de reacció a la tasca Stroop per a les persones que havien dut a terme exercici intens just abans.

Amb l'objectiu de comparar els efectes de l'exercici d'intensitat moderada durant i després de l'activitat, Soga et al. (2015) va realitzar dos experiments amb intensitats diferents (60% o 70% de la freqüència cardíaca màxima (FC màx)) on s'analitzava el rendiment a dos tests cognitius (*n-back task* i *flanker task*) tant durant l'activitat com després. Els resultats van indicar que només el grup de major intensitat (70% FC màx) va mostrar millores en el rendiment i que aquestes es van donar durant l'exercici. És possible que bé el test dut a terme durant l'exercici, bé el descans posterior, afectessin el rendiment en els tests posteriors, motiu pel qual no s'observen diferències. Tot i això, el fet que en idèntiques condicions en els dos estudis anteriors es maximitzés més el rendiment a major intensitat, suggereix la reconsideració de les hipòtesis abans esmentades o, com a mínim, posa de manifest la complexa interacció entre temporalitat i intensitat en els efectes sobre el control cognitiu.

Darreres investigacions han reportat implicacions de l'escorça prefrontal quan l'exercici és intens o exigent per al control motor, que es tradueixen en un rendiment cognitiu inferior (Moriarty et al., 2022), en línia amb les hipòtesis plantejades prèviament. Tot i això, les darreres aportacions a nivell neuronal i funcional del cervell han aportat una nova perspectiva d'anàlisi (Schmit & Brisswalter, 2020). Donat que es requereix el PFC per mantenir l'activitat a alta intensitat i tenint en compte la limitada capacitat pel processament de la informació (depenent al PFC), la perspectiva neurocognitiva basada en la fatiga suggereix que els mecanismes compensatoris per assignar els recursos disponibles a les diferents regions del cervell prioritzen l'activitat del PFC orientada al manteniment de la intensitat elevada i no tant als processaments cognitius requerits a la tasca cognitiva (Schmit & Brisswalter, 2020). A més a més, es proposa que l'afectació de la intensitat sobre el rendiment cognitiu durant la tasca no sigui estàtica, sinó dinàmica. Això voldria dir que durant l'activitat, els diferents mecanismes compensatoris poden interactuar per mantenir el control motor i cognitiu segons la demanda. És possible que durant moments puntuals de màxima exigència per al control motor, el PFC orienti la seva activitat a mantenir l'execució motriu (fet que es podria produir, fins i tot, a intensitats moderades), mentre que en altres punts es podria focalitzar en la tasca cognitiva (Schmit & Brisswalter, 2020).

Amb motiu de la competició pels recursos destacada, s'observen escasses intervencions d'alta intensitat per potenciar les FE durant l'activitat i es concreten de forma majoritària en intervencions prèvies a la tasca cognitiva i amb la intenció de provocar millores posteriors

sostingudes en un temps concret (Ishihara et al., 2021). Com que l'interès del present treball es centra en els canvis a llarg termini produïts per l'exercici puntual i no durant la mateixa activitat, a continuació ens centrarem en aquells estudis que utilitzen l'exercici abans de la tasca cognitiva i mesuren el rendiment cognitiu de forma posterior.

5.2.2.2 Intensitat i durada de l'exercici físic

En una revisió de Moreau & Chou (2019), 12 de 28 estudis van mesurar les FE immediatament després de realitzar una sessió d'exercici d'alta intensitat, destacant-ne beneficis. Quan es comparaven amb activitats de menor intensitat es detectava un benefici superior per als grups d'alta intensitat, encara que les diferències no van arribar a ser significatives. En la mateixa línia, Oberste et al. (2019) van conduir una revisió sistemàtica amb metaanàlisi on van destacar el paper de la intensitat sobre la millora immediata del control cognitiu en les tasques Stroop o *Flanker*. Els resultats van indicar un efecte superior en els estudis que van emprar intensitat elevada en comparació als que van emprar intensitat moderada, tot i que en ambdós casos l'efecte va ser positiu.

De la darrera revisió es destaca l'estudi de Basso et al. (2015), qui van mesurar el rendiment cognitiu depenent al PFC a partir d'una bateria de tests neurofisiològics (Stroop, DST, TMT, WTAR, COWAT, MBVRT, HVLT-R, SDMT) realitzats 30, 60, 90 o 120 minuts abans i després de l'exercici d'elevada intensitat. Dels resultats es reporta una afectació positiva de l'exercici agut sobre el rendiment del PFC i es destaca un manteniment dels beneficis fins a 2 hores posteriors a la intervenció. Aquests resultats confirmen la hipòtesi proposada per Chang et al. (2012), qui van destacar un efecte superior sobre les tasques cognitives dutes a terme en minuts o hores posteriors gràcies a l'exercici intens, mentre que les activitats de menor intensitat van ser més beneficioses per a les tasques cognitives realitzades immediatament després. En aquest sentit, les autores van suggerir que la intensitat elevada era necessària per maximitzar els efectes i mantenir-se en el temps. És a dir, que es beneficiés el rendiment a una tasca cognitiva fins a minuts després de la intervenció. Tot i que els resultats poden resultar contradictoris amb els de Moreau & Chou (2019), qui destacava un efecte superior de l'exercici intens en tasques immediatament posteriors, és possible que les divergències es deguin a les diferències metodològiques entre els estudis (tasques cognitives diferents, tipologia de l'exercici, mesura de la intensitat, etc.). Per aquest motiu, cal comparar els treballs que utilitzen les mateixes variables metodològiques i varien, exclusivament, la intensitat.

És en aquest punt on cal recuperar la investigació de Tsukamoto et al. (2016), ja que van comparar els efectes d'una sessió d'exercici moderat i d'alta intensitat sobre el rendiment a la tasca Stroop en diferents moments (immediatament després de la intervenció i cada 10 minuts fins a arribar als 30). Els resultats van mostrar que, tot i existir un benefici immediatament posterior per als grups exercici, fos a moderada o a elevada intensitat, només el grup d'elevada intensitat mantenia el rendiment superior fins a 30 minuts posteriors a la intervenció. Un any després, els mateixos investigadors van comprovar si la càrrega (intensitat i durada de l'exercici) condicionava els resultats sobre la tasca Stroop fins 30 minuts després (Tsukamoto et al., 2017). Novament, es va mostrar un efecte superior als 30 minuts per al grup que va realitzar l'exercici amb major dispendi energètic, és a dir, l'exercici a intensitat moderada durant 40 minuts. Aquests resultats van en la línia de Chang et al. (2012) i suggereixen que l'exercici que suposi una despesa energètica elevada impactarà en major mesura el rendiment cognitiu posterior a la intervenció, essent clau la intensitat per al manteniment d'aquests beneficis a més llarg termini.

La influència que té la intensitat de l'exercici es veu suportada per estudis que analitzen el cervell a nivell funcional. La intensitat elevada pot ser clau per generar una major disponibilitat de recursos neuroquímics (com el BDNF) que el cervell aprofita per als processos moleculars relacionats amb les habilitats cognitives (Piepmeier & Etnier, 2015). A més, l'exercici d'alta intensitat pot incrementar l'excitabilitat de zones del còrtex clau per al processament cognitiu (Kao et al., 2021). En un estudi realitzat per Hendy et al. (2022), es va destacar un increment del BDNF seguit de canvis en la inhibició cortical i potencials motors evocats que van resultar, finalment, en un increment en l'excitabilitat corticoespinal. És possible que aquests canvis tan moleculars com estrictament funcional que es produeixen gràcies a l'exercici permetin un major funcionament executiu depenent al PFC (Slusher et al., 2018).

5.2.3 Moderadors qualitius de l'efecte

5.2.3.1 Tipologia de l'exercici físic

Un altre aspecte que pot afectar els beneficis de l'exercici sobre la tasca cognitiva, tot i que menys estudiat que la intensitat o la temporalitat, és la tipologia de l'exercici. En una revisió de la literatura es va destacar el paper moderador que exercia la tipologia d'intervenció (per exemple, entrenament de força o de resistència) de l'exercici regular sobre els beneficis en el rendiment cognitiu (Colcombe & Kramer, 2003). Posteriorment, diferents estudis que han emprat exercici puntual han estudiat les possibles diferències degudes a la tipologia de l'exercici realitzat. En una investigació realitzada per Hung et al. (2018) es van comparar els efectes de realitzar 30 minuts

a intensitat moderada de cursa o de bàdminton sobre tasques que impliquen canvis d'atenció constants i que mesuren, principalment, la memòria de treball i la inhibició. Els resultats van demostrar que el grup que va dur a terme bàdminton presentava majors nivells de BDNF que es van relacionar amb menors decrements (o costos) deguts al canvi durant la tasca cognitiva. D'aquesta manera, els autors van suggerir que la tipologia de l'exercici condicioni els canvis funcionals i que afecten el rendiment cognitiu.

En aquesta línia, Gu et al. (2019) van conduir una revisió de la literatura on es comparaven els resultats d'intervencions que utilitzaven exercicis que implicaven habilitats motrius tancades i contínues (com córrer o fer bicicleta estàtica) amb estudis on l'exercici implicava habilitats obertes i discretes (com el bàdminton). Tot i que la majoria de les intervencions incloses no eren puntuals sinó regulars (per exemple, durant 6 mesos), es va destacar un benefici superior en diferents aspectes cognitius per als grups que realitzaven l'exercici d'habilitats obertes i discretes, independentment de si era regular o puntual.

Les comparacions entre els tipus d'exercici no es limiten a les habilitats motrius requerides. En un estudi realitzat amb adolescents, es van analitzar els efectes de l'exercici amb diferents demandes: sobre la força, sobre la resistència o sobre la coordinació motriu (Altermann & Gröpel, 2022). Els resultats van mostrar efectes similars de l'exercici sobre l'atenció en tots els grups que van fer exercici.

Derivat de la divergència dels resultats destacats així com de l'escassetat d'estudis que comparen tipologies d'exercici puntual, els resultats no són concloents i es necessitarà major recerca en el futur per determinar si la fatiga que produeix l'exercici és el que determina els beneficis sobre el control cognitiu o, d'altra banda, les seves característiques qualitatives (per exemple, les habilitats motrius requerides) també poden modular els beneficis (Pesce, 2012).

Concreció de la hipòtesi

Essent conscients que no s'acostuma a trobar un apartat on es concreta la hipòtesi de la manera que es fa en el present, s'ha cregut convenient incloure'l en aquesta tesi atenent a les característiques específiques d'aquesta hipòtesi. Concretament, es deu a l'origen de la tesi en dos àmbits de recerca tradicionalment diferenciats.

Arribats a aquest punt es destaca la manca d'estudis que a) analitzen la interacció entre els components coordinatius i cognitius durant l'aprenentatge de tasques complexes (Tompsonski & Qazi, 2020) i b) es pregunten sobre com l'exercici pot afectar els processos d'aprenentatge d'aquest tipus de tasques (Moriarty et al., 2022). Tot i que l'estudi de Netz et al. (2023) van considerar la demanda cognitiva a la tasca motriu a partir de l'efecte Stroop per determinar la incidència de l'exercici en els processos de consolidació i va demostrar beneficis en aquest tipus de tasca, la transferència dels resultats es veu limitada per l'escassa utilització de la tasca motriu (pitjar 4 pedals amb mans o peus seguint una ordre) en contextos habituals. A més, tot i que la coordinació per pitjar el pedal es veia desafiada per emprar fins a 3 efectors alhora, el moviment d'execució era simple. Existeixen indicis que suggereixen que les bases neurals dels aprenentatges poden diferir segons la necessitat de coordinar més segments o utilitzar moviments de tot el cos (Carey et al., 2005; Dayan & Cohen, 2011), tot i que encara calen més investigacions per determinar les xarxes neuronals dels aprenentatges que impliquen tot el cos (Ueta et al., 2022).

En aquesta tesi s'ha volgut emprar una tasca complexa per analitzar els efectes de l'exercici puntual sobre l'aprenentatge a llarg termini. El moviment requerit per a l'execució del putt de golf implica, sobre tot amb persones novelles, una complexitat en la resolució derivada de la necessitat de fer canvis i ajustos de força i direcció constants, inicialment de forma menys automàtica (Malhotra et al., 2015). Això es deu al càlcul constant de múltiples variables com la distància, el fregament, l'objectiu final, la posició relativa del cos envers el put, etc. (Kim et al., 2015; Lorås et al., 2020). A diferència de la tasca emprada a Netz et al. (2023), el fet que el moviment d'execució del putt sigui més complex, tingui més graus de llibertat i que s'hagi de resoldre d'una forma menys automàtica, pot implicar la consumpció de majors recursos per al control motor i, fins i tot, una focalització de l'atenció superior en els aspectes coordinatius (Malhotra et al., 2015). Per aquests motius, se suggereix que la tasca utilitzada és una tasca d'elevada demanda coordinativa i cognitiva implícita.

Adicionalment, en aquesta s'ha analitzat el paper del control cognitiu durant l'execució i consolidació de la tasca, així com la seva possible influència moderadora en els efectes de l'exercici sobre la consolidació. Donada l'estreta relació entre les FE i les habilitats coordinatives

durant l'execució d'una tasca motriu complexa (Gandotra et al., 2021; Stuhr et al., 2018) i la presència de tasques que desafien el control motor i cognitiu a la quotidianitat de les persones (per exemple, als contextos esportius), esdevé necessari investigar els efectes de l'exercici sobre la consolidació motriu considerant la dimensió cognitiva. Derivat d'aquesta necessitat s'ha cregut convenient aprofitar les aportacions de dos àmbits d'estudi sovint diferenciats, però que, com s'ha destacat anteriorment, presenten similituds: l'exercici puntual i les FE, i l'exercici puntual i la memòria motriu.

Per aconseguir això, s'han comparat dues tasques amb els mateixos requeriments a nivell coordinatiu, però on es variaven les ordres prèvies al colpeig en relació amb l'objectiu final. És a dir, s'afegia demanda cognitiva explícita a una de les tasques: mentre a una tasca el colpeig es determinava a partir d'ordres estables i sense pressió temporal, a l'altra tasca es determinava a partir d'ordres sota l'efecte Stroop incongruent i en condicions de pressió temporal.

La incorporació de l'efecte Stroop a la tasca motriu es va fer amb la intenció de no incórrer en una interferència en les activacions de les regions necessàries per resoldre els aspectes cognitius i motors de la tasca. Basant-nos en els circuits frontoestriats principals proposats per Redolar-Ripoll (2014), hem assumit que el circuit que forma l'escorça motriu, premotriu i suplementària motriu s'encarregaria dels components motors de l'execució (seqüenciació i execució, inhibició motriu, actualització de la conducta motriu) mentre que el circuit que formen l'escorça prefrontal i dorsolateral s'encarregarien dels components cognitius de l'efecte Stroop. Mentre el circuit prefrontal i dorsolateral s'ha concretat a l'apartat 5.2, el circuit motor no s'ha comentat encara. Més enllà de la participació de la M1 en la selecció i coordinació global de l'activitat muscular i traducció del moviment, la regió suplementària motriu participaria en la planificació i programació del moviment i la regió presuplementària motriu estaria implicada en els aspectes vinculats a l'elaboració de plans motors i adquisició de seqüències de moviments. Tot i que no s'ha parlat del Cerebel, és possible que també estigui implicat a la tasca en la integració de la informació medul·lar i cortical per avaluar la diferència entre el moviment planejat i l'executat (Redolar-Ripoll, 2014).

Donat que les tasques requerien en major o menor mesura el control cognitiu per resoldre's segons si es realitzava sota condicions Stroop o no, es va seguir el model del *mental engagement* de Pendleton et al. (2016) per diferenciar-les: essent la tasca EF la més exigent per al control cognitiu (efecte Stroop i pressió temporal) i la Tasca NEF la menys exigent.

La hipòtesi que es planteja en aquesta tesi és que l'exercici agut incidirà positivament en la consolidació a llarg termini de les habilitats motrius, tot i que no afectarà per igual els

aprenentatges motors amb diferent requeriment cognitiu. Concretament, la tasca amb major requeriment sobre el control cognitiu es veurà més beneficiada en la consolidació a llarg termini.

BLOC II: METODOLOGIA

Capítol 6: Metodologia

La metodologia de la present investigació es va situar sota el paradigma positivista en tant que respecta les quatre assumpcions principals (determinisme, empirisme, economia i generalització (Kivunja & Kuyini, 2017)), tot i que amb un enfocament majoritàriament ecològic i un disseny quasiexperimental: no es va poder garantir el control màxim de les variables estranyes (McMillan & Schumacher, 2005). Malgrat no permetre aquest control sobre les variables estranyes, es va creure pertinent en relació a l'objectiu de la tesi la ubicació de la recerca en el context emprat. En aquest, es reconeix la influència que l'ambient i les característiques individuals podien exercir sobre els efectes analitzats.

Es va prendre aquesta opció atesa la voluntat d'incrementar la validesa externa de l'estudi (Kivunja & Kuyini, 2017), perquè fos possible, dins d'uns marges raonables, la generalització i l'aplicabilitat dels resultats en contextos formatius habituals (García Jiménez, 2000). No obstant això, es van prendre en consideració aquelles variables independents amb més tradició als estudis del camp (gènere, edat, alçada, pes, nivell físic), de les quals ja es coneixia la seva influència. Igualment, es van adoptar bona part de les mesures presents als estudis i treballs de referència per tal de garantir la validesa interna de l'estudi (Cook & Beckman, 2010; Kivunja & Kuyini, 2017). Les variables independents principals van ser la sessió d'exercici i el requeriment sobre el control cognitiu durant la tasca motriu, mentre que la precisió del colpeig i la consistència dels resultats van constituir-se com les variables dependents perquè permetien determinar de manera clara i complerta l'aprenentatge de l'habilitat motriu (al bloc III es justificarà la seva elecció).

Es va emprar un disseny de grups amb pretest i posttest, amb dos grups experimentals i dos controls, a partir d'un experiment. Es va fer el possible per mantenir intactes totes les condicions experimentals i es van modificar les dues variables independents. D'aquesta manera, es van generar 4 grups experimentals, dels quals dos realitzaven exercici però es diferenciaven pel requeriment cognitiu a la tasca motriu i els altres dos actuaven com a respectius control.

Pel que fa a la resta de decisions metodològiques, a la Taula 7 es presenta un resum de les principals opcions seleccionades. D'altra banda, a la Taula 8 es recullen les estratègies que s'han utilitzat per augmentar la qualitat metodològica de l'estudi. Per fer-ho, ens hem basat en Kivunja & Kuyini (2017), Ratelle et al. (2019) i l'escala de qualitat metodològica PEDro (*Physiotherapy Evidence Database*; veure exemple a la figura 22 de l'annex 1) utilitzada freqüentment per

avaluar els estudis de l'àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu (Roig-Hierro et al., 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020).

Taula 7. *Resum de les eleccions metodològiques que caracteritzen l'estudi.*

Persones a l'estudi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 60 persones voluntàries. La distribució dels grups va ser aleatòria però balancejant els grups segons gènere, edat, IMC i nivell físic.
Sessió d'exercici	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es va realitzar una sessió de cursa per intervals. 9 minuts es van fer a intensitat elevada i 4 a intensitat moderada, d'un total de 13 minuts.
Tasca d'aprenentatge	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Colpeig de Putt (golf) a una diana composta per 4 quadrats de diferents colors. Alhora, cada quadrat estava compost per 3 quadrats concèntrics amb un valor de puntuació assignat, essent el més cèntric el de major valor (3 punts) i el perifèric el de menor valor (1 punt). ➤ L'objectiu era situar la pilota el màxim possible del centre de la diana que correspongués. ➤ L'elecció de la diana de llançament variava segons el grup. Mentre dos grups seguien un patró numèric a cada intent (1-2-3-4) on cada diana tenia un número assignat (tasca de menor requeriment cap al control cognitiu; Tasca NEF), els altres dos grups havien de seguir les instruccions a una pantalla sota l'efecte Stroop i decidir la diana de llançament segons el seu color (tasca de major requeriment cap al control cognitiu; Tasca EF).
Variables de mesura	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La precisió es va determinar a partir de la categorització (de 0 a 3 punts) de l'error en la posició final de la pilota en relació a la diana concèntrica que era l'objectiu del colpeig. ➤ La consistència del rendiment es va mesurar a partir de la diferència estàndard entre les puntuacions obtingudes a cada intent.
Disseny experimental	Grups experimentals

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ COGNI-EXE: Va executar la tasca motriu sota condicions de major requeriment cognitiu i, posteriorment, va realitzar la sessió d'exercici. ➤ COGNI-Control: Va executar la tasca motriu sota condicions de major requeriment cognitiu i, posteriorment, va descansar. ➤ NO COGNI-EXE: Va executar la tasca motriu sota condicions de menor requeriment cognitiu i, posteriorment, va realitzar la sessió d'exercici intens. ➤ NO COGNI-Control: Va executar la tasca motriu sota condicions de menor requeriment cognitiu i, posteriorment, va descansar. <p>Fases i intents</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ La tasca es va realitzar en dues ocasions, com a prova d'adquisició (dia 2) i com a prova de retenció a llarg termini (dia 8). ➤ Cada persona va efectuar un total de 40 colpejos durant l'adquisició (4 blocs de 10 colpejos) i 30 durant la retenció (3 blocs de 10 colpejos).
<p>Procediment</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El primer dia, es van recopilar les dades de les persones participants, es van crear els grups i es van explicar els procediments. ➤ El segon dia, les persones realitzaven la intervenció segons el grup experimental al qual pertanyien. Els grups duien a terme la tasca motriu d'aprenentatge (COGNI o NO COGNI) i immediatament després, la sessió d'exercici (COGNI-EXE i NO COGNI-EXE) o el descans (COGNI-Control i NO COGNI-Control). ➤ Les persones tornaven 7 dies després per realitzar la mateixa tasca motriu.

Taula 8. Decisions metodològiques per augmentar la qualitat metodològica de l'estudi.

Validesa interna	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les úniques diferències entre grups es devien a les dues variables independents (demanda cognitiva de la tasca i sessió d'exercici). ➤ Es van equiparar els grups segons les variables de gènere, IMC, nivell físic i edat, en tant que podien modular els resultats. A partir d'aquests factors la distribució va ser aleatòria i cegada a l'investigador (Programari <i>Research Randomizer</i>). ➤ Només es van perdre tres casos. ➤ Tots els experiments es realitzaven a la mateixa ubicació. A més, cada persona retornava sempre, al cap d'una setmana, a la mateixa hora que el primer dia. ➤ Totes les persones van rebre la intervenció seguint l'inicialment plantejat. ➤ Es van emprar les mateixes formes de mesura per als grups i es va evitar utilitzar un pretest per a evitar un possible efecte d'aprenentatge. ➤ Donat que la distància temporal entre proves va ser d'una setmana, resultava difícil justificar els efectes observats per la maduració de les persones i no per la intervenció realitzada. ➤ No es va incentivar ni econòmicament ni amb altres formes de compensació la participació, que va ser totalment voluntària, evitant possibles efectes distintius per compensació. ➤ En la recollida de dades no es van detectar casos extrems que calgués normalitzar. ➤ Es van cegar les persones participants en relació a l'experiment.
Validesa externa	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es crea una tasca motriu esportiva (per incrementar la transferibilitat a contextos habituals) que segueix unes condicions aplicables a diversos contextos (requereix el control cognitiu per gestionar la informació, discriminar estímuls, gestionar la pressió temporal, etc.). ➤ Les persones que es van reclutar no pertanyien a un context professional específic. ➤ A l'estudi hi participaven persones amb característiques variades tot i que equilibrades per grups (gènere, nivell físic, IMC). ➤ Tot i l'anterior, la mostra compren una franja d'edat estreta i poc representativa en relació a la totalitat de la població (seguint les condicions dels estudis previs).
Fiabilitat	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es van prendre mesures en dos punts temporals diferents.

Objectivitat	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es van realitzar proves pilot per determinar l'aplicabilitat de la tasca motriu i la logística del procediment. ➤ Es va calcular la fiabilitat a partir de la prova Alfa de Cronbach a partir de les puntuacions obtingudes als pilots. Un total de 10 intents per 4 persones participants. El valor va ser .718 i es va considerar acceptable.
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es van comparar els grups amb el seu control a partir de l'estadística i es van aportar mesures de puntuació i variabilitat. ➤ Les formes de mesura (precisió i consistència) es van emprar a estudis previs de l'àmbit i proporcionaven una informació objectiva. ➤ No es va proporcionar feedback més enllà del coneixement dels resultats visuals de la pròpia execució.

A continuació s'explicaran les decisions metodològiques introduïdes a la Taula 7 seguint el següent ordre:

- Primer, una descripció sobre la metodologia emprada;
- Seguidament, la justificació pertinent sobre l'elecció presa;
- Finalment, la relació d'aquesta amb els valors presents als diferents estudis de referència.

Abans, però, creiem oportú fer un seguit de precisions conceptuals que facilitaran la lectura i comprensió dels propers apartats:

- Prova: Degut a que la tasca d'aprenentatge i mesura emprada a la present investigació no es pot considerar estrictament un test al no estar estandarditzada s'emprarà la paraula "prova" com a sinònim. És a dir, com a instrument per mesurar l'aprenentatge i determinar l'efecte de la intervenció.
- Gènere: En el present estudi es va demanar a les persones que indiquessin el gènere que els representava. Per aquest motiu, es parlarà de gènere i no de sexe biològic. En aquest sentit, s'ha considerat que el valor de centrar-se en el sexe biològic vindria determinat per la presa de mesures biològiques que ajudessin a entendre les diferències a nivell funcional i molecular dels processos de consolidació. Donat que la perspectiva que s'ha abordat en el present estudi se centra en el rendiment motor des d'una mirada comportamental, s'ha considerat la variable del gènere més que el sexe biològic com a influent en el bagatge motor (Jiménez-Jiménez et al., 2011) vinculat a la tasca emprada a l'experiment.

- Variables principals i secundàries: La precisió i la consistència dels colpejos van ser les variables principals de mesura. Tot i això, pel fet que s'han recollit dades que no es relacionen directament amb els objectius de la investigació però que altres investigacions les han considerat rellevants d'analitzar, es diferencien les variables emprades segons si són principals (estrictament vinculades amb l'objectiu d'investigació) i secundàries (exploracions alternatives a l'objectiu, però que aporten informació rellevant sobre la temàtica d'investigació). Les secundàries seran el gènere, l'edat, l'índex de massa corporal, el nivell físic reportat i la tipologia d'AF regular realitzada per les persones (vegeu apartat 7.1).

6.1 Participants

6.1.1 Descripció

Un total de 60 persones joves sanes, estudiants del Grau de Mestre d'Educació Primària a la Universitat de Barcelona, van participar en aquest estudi (32 persones de gènere femení i 28 de gènere masculí; $22,71 \pm 1,42$ anys; $21,91 \pm 2,99$ kg·m²) (Taula 9) que es van dividir en quatre grups de 15 membres cadascun a partir d'un mostreig aleatori estratificat no probabilístic (McMillan & Schumacher, 2005; Ratelle et al., 2019). Es van perdre 3 persones que no van completar tots els procediments. La distribució dels grups va ser balancejada prèviament a l'experiment en funció de les variables d'identificació independents: edat, gènere, índex de massa corporal (IMC) i nivell físic reportat de les persones.

Per tal de minimitzar les possibles amenaces de selecció i que els resultats no es poguessin deure a diferències inicials en les variables anteriors, es va assegurar que no existien diferències significatives entre grups de manera prèvia a l'experimentació (McMillan & Schumacher, 2005). Per aconseguir l'anterior es va aplicar un test ANOVA d'un factor (les proves estadístiques es detallaran a l'apartat 7.3), com es pot comprovar a la Taula 9. També es presenta la freqüència mitjana durant l'exercici dels grups experimentals que, tot i no ser un factor previ condicionant, es va tenir en compte a l'hora d'analitzar les variables externes que influencien els resultats.

Taula 9. Característiques bàsiques de les persones incloses a l'estudi segons el grup.

	COGNI-EXE	COGNI-Control	NO COGNI-EXE	NO COGNI-Control	ANOVA d'un factor
N (Sex)	15	15	15	15	-
Gènere	8F, 7M	8F, 7M	8F, 7M	8F, 7M	-
Edat	23 ± 0.3	22.3 ± 0.3	22.9 ± 0.4	22.8 ± 0.4	$F_{(3,56)} = .982; p = .408$
IMC (Kg·m ⁻²)	22.4 ± 1	21 ± 0.7	21.8 ± 0.6	22.4 ± 0.6	$F_{(3,56)} = .789; p = .505$
IPAQ (METS)	3541 ± 640.2	2571.1 ± 430.3	2892.2 ± 531	2933.3 ± 493	$F_{(3,56)} = .585; p = .627$
FC _{mitjana} EXE	130.53 ± 7.2	-	131.33 ± 7.69	-	$F_{(1,28)} = .086; p = .771$
FC _{màxima} EXE	158.67 ± 7.52	-	158.06 ± 5.47	-	$F_{(1,28)} = .062; p = .805$

Nota. Es calcula la mitjana i la desviació estàndard (). IMC (1=Sota pes; 2= Normal; 3= Sobre pes), IPAQ (1= Baix; 2= Moderat; 3= Elevat), Gènere (F = Femení; M = Masculí), FC Mitjana (Freqüència cardíaca mitjana durant l'exercici), FC Màxima (Freqüència cardíaca mitjana durant l'exercici)

Les persones seleccionades havien de complir els següents criteris (Hung et al., 2021; Munz et al., 2021; Thomas, Johnsen, et al., 2016; Tomporowski & Pendleton, 2018):

1. Tenir entre 21 i 25 anys,
2. Mà dreta dominant, obtenint un 80% de l'índex de lateralitat dreta al Handedness Edinburgh Inventory (Oldfield, 1971) (veure la Figura 23 de l'annex 1).
3. no patir malalties i/o trastorns que els impedis realitzar activitat física o els afectés sobre la funció cognitiva,
4. no prendre medicacions que puguin afectar al Sistema Nerviós Central,
5. no patir daltonisme ni limitacions visuals,
6. no patir problemes d'insomni o derivats de la son,
7. no ser alcoholòiques, drogodependents ni prendre més de 6 tasses de cafè diari,
8. no realitzar activitat física intensa el mateix dia de l'experiment,
9. no ser ambidextre i
10. no haver practicat golf (o variants del golf) en el darrer any.

Les persones van assistir de forma voluntària. Es va fer difusió pel Campus Mundet de la Universitat de Barcelona, motiu pel qual la major part de les persones eren estudiants dels diferents graus (43 persones del grau d'Educació primària, 4 persones del grau de Treball Social,

6 persones del grau de Psicologia). 7 persones que van assistir no eren estudiants tot i que complien amb tots els requisits abans esmentats. Cal destacar que les persones no van rebre cap compensació i es va demanar un consentiment signat per participar en l'estudi (vegeu Figura 24 de l'annex 1). Tots els procediments van ser acceptats pel comitè de Bioètica de la Universitat de Barcelona (IRB00003099) (vegeu figura 25 de l'annex 1).

6.1.2 Justificació

Es va decidir la mostra de forma aleatòria (Wiersma, 2009), tot i que l'aleatorització es va fer seguint uns factors d'estratificació determinats prèviament amb l'objectiu d'augmentar la validesa interna (Ratelle et al., 2019). Aquests factors d'estratificació són els que més importància ha reportat la literatura específica en relació amb l'afectació sobre els processos de consolidació (Loprinzi et al., 2021) i es consideren variables d'identificació que poden incidir sobre els resultats, entre les quals es destaquen:

- El gènere, per la influència específica que exerceixen mecanismes hormonals (sexe biològic), cognitius i afectius (Loprinzi & Frith, 2018).
- L'edat, per les diferències que s'observen segons la maduració i envelliment de les persones sobre l'eficàcia neuronal vinculada als processos d'aprenentatge motor (Berghuis et al., 2019).
- El nivell físic de les persones, que pot condicionar l'afectació de l'exercici sobre tasques amb elevat requeriment de les FE, com la tasca sota l'efecte Stroop (Labelle et al., 2013). Tot i que els estudis que analitzen aprenentatges motors amb reduïda demanda cognitiva no hi troben diferències (Hung et al., 2021).
- La freqüència cardíaca mitjana durant la sessió d'exercici per als grups experimentals, que es va considerar una variable d'interès perquè la intensitat a la qual es realitza la sessió pot determinar els efectes sobre la consolidació motriu (Thomas, Johnsen, et al., 2016).
- Finalment, pel que fa a l'IMC, es va prendre en consideració en relació als estudis inclosos al camp.

Respecte al nombre total de persones incloses (60), l'elecció es va fer considerant els altres estudis de l'àmbit (es desenvolupa al següent apartat). Posteriorment, seguint els criteris per a la determinació del nombre mínim de la mostra proposats per McMillan (2005), es van agrupar 15 persones a cada grup. Durant l'experimentació no es va proporcionar informació relativa als

propòsits de la recerca per una voluntat investigadora de cegament al subjecte (Maher et al., 2003).

6.1.3 Relació amb altres estudis

Pel que fa a la determinació dels factors d'estratificació es va tenir en compte, més enllà de les justificacions presentades a l'apartat anterior, la selecció de la resta d'estudis de l'àmbit. Es va elaborar una anàlisi de la literatura que va determinar, en la línia de revisions similars (Wanner, Cheng, et al., 2020), les següents variables independents d'interès: gènere, edat, IMC, nivell físic i freqüència cardíaca durant l'exercici (Roig-Hierro et al., 2022). No obstant, majoritàriament aquestes variables no van ser el focus d'anàlisi dels estudis i només es van emprar per balancejar els grups. A continuació s'exposa com es van tractar les variables esmentades als diferents estudis del camp:

- L'IMC no va ser focus d'anàlisi a cap estudi fins al moment, però la majoria dels treballs inclosos en la revisió sistemàtica derivada de la present investigació (Roig-Hierro et al., 2022) van balancejar els grups tenint en compte aquest factor. En aquesta tesi es va analitzar el paper de l'IMC sobre el rendiment i la consolidació per determinar la pertinença d'incloure aquesta variable en els futurs estudis.
- La consideració del gènere com una variable independent al present estudi es devia, més enllà del respecte per a les condicions habituals als contextos educatius, a una voluntat d'innovació a la recerca pròpia de l'àmbit d'estudi. De les 37 investigacions recollides a la revisió sistemàtica de Roig-Hierro et al. (2022), només s'analitzen les diferències de gènere tant en rendiment com en consolidació motriu a Baird et al. (2018), no trobant-se diferències significatives. A la resta d'estudis, la variable del gènere no es va analitzar per diferents motius:
 - A Jo et al. (2019) no es van trobar diferències de rendiment inicial i es va decidir no continuar analitzant possibles diferències entre test.
 - A Hung et al. (2021) es decideix no elaborar anàlisis segons gènere per culpa del reduït nombre de persones (44) que participaven en l'estudi.
 - 22 estudis dels 37 recollits a la revisió sistemàtica de Roig-Hierro et al. (2022) no van especificar anàlisis específics segons el gènere (Angulo-Barroso et al., 2019; Bonuzzi et al., 2020; Charalambous et al., 2019; Chen et al., 2020; Dal Maso et al., 2018; Ferrer-Uris et al., 2017, 2018; Hübner et al., 2018; Lauber et al., 2017; Lundbye-Jensen et al., 2017; Mang et al., 2014; Mang, Snow, et al., 2016; Neva et al., 2019; Opie & Semmler, 2019; Ostadan et al., 2016; Rhee et

- al., 2016; Singh et al., 2016; Snow et al., 2016; Statton et al., 2015; Stavrinou & Coxon, 2017; Swarbrick et al., 2020; Tomporowski & Pendleton, 2018)
- 10 estudis només van acceptar persones de gènere masculí a l'experiment (Beck et al., 2020; Christiansen et al., 2019; Marin et al., 2020; Munz et al., 2021; Perini et al., 2016; Roig et al., 2012; Skriver et al., 2014; Thomas, Beck, et al., 2016; Thomas et al., 2017; Thomas, Johnsen, et al., 2016)
 - Un estudi no va especificar el gènere de les persones (Helm et al., 2017).
- Pel que fa al nivell físic de les persones, només un estudi va situar el focus en l'anàlisi d'aquesta variable, sense determinar diferències significatives en l'afectació de l'exercici sobre la consolidació motriu (Hung et al., 2021).
 - Pel que fa a les decisions metodològiques vinculades l'edat, la mostra total i per grups, es poden consultar la seva relació amb els altres estudis de l'àmbit d'estudi a la Taula 10. L'edat mitjana predominant es trobava entre els 21 i 25 anys, com en el present estudi. En quant a la mostra total, només 5 estudis (Angulo-Barroso et al., 2019; Chen et al., 2020; Christiansen et al., 2019; Lundbye-Jensen et al., 2017; Rhee et al., 2016) van aconseguir 60 o més participants per a l'experimentació, com en el present estudi. De fet, el 81.07% d'investigacions va emprar mostres inferiors a 49 persones. Pel que feia als grups, el 62.16% d'estudis va fer servir mostres inferiors a 15 persones per grup. En aquesta tesi es va decidir que la mostra per grup havia de ser superior a la majoria d'investigacions. Tot i això, el present estudi no se situa en la franja de més persones per grup (Taula 10).

Finalment, una variable que es va considerar a mode exploratori va ser la tipologia de pràctica d'activitat física regular de les persones incloses en l'estudi. Com s'ha comentat anteriorment, l'expertesa en una activitat física pot implicar canvis estructurals i funcionals en el cervell que poden condicionar el rendiment cognitiu i motriu a una tasca (Meng et al., 2019; Scharfen & Memmert, 2019; Zhang et al., 2022) i, en conseqüència, se sospita que pugui condicionar els efectes de l'exercici sobre l'aprenentatge motor de les persones. Donat que la mostra no va ser intencionada per a fer aquesta anàlisi, es van obtenir alguns valors poc representatius (per exemple, només una persona practicava rugbi). Per aquest motiu, es van agrupar per tres blocs de modalitats segons si l'activitat física consistia en exercicis simples anaeròbics (majoritàriament les persones ho van relacionar amb exercicis de gimnàs), si consistia en un esport d'interacció amb invasió de camp i elevada incertesa (rugbi, bàsquet, futbol i handbol) o si no es feia cap exercici de forma regular. Per facilitar l'organització del contingut, els blocs es van anomenar: gimnàs, esports col·lectius i cap.

Taula 10. Decisions relatives a l'edat i la mostra dels estudis publicats i recollits a Roig-Hierro et al. (2022).

		n	%
Edat mitjana de les persones	Menys de 21	8	22.23%
	Entre 21 i 25	23	63.89%
	Més de 25	5	13.89%
	*Un estudi no especifica l'edat mitjana. Hi participen persones d'entre 18 i 40 anys (Charalambous et al., 2019).		
Total de persones participants	Menys de 30	14	37.83%
	Entre 30 i 49	16	43.24%
	Entre 50 i 59	2	5.4%
	60 o més	5	13.51%
Persones per grup	Menys de 15	23	62.16%
	Entre 15 i 20	9	24.32%
	Més de 20	5	13.51%

Nota. Les caselles en negre fan referència a les decisions escollides en el present estudi.

6.2 Procediment

Per tal de complir els objectius d'investigació i testar la hipòtesi plantejada es va realitzar un experiment que consistia en la pràctica d'una tasca motriu d'aprenentatge i una sessió d'exercici posterior. Tot i que en els quatre grups les demandes motrius a la tasca d'aprenentatge eren idèntiques, dos grups van executar la tasca sota condicions de baix requeriment sobre el control cognitiu (Tasca NEF) i dos grups van executar la tasca sota condicions d'elevat requeriment sobre el control cognitiu (Tasca EF). Per cada tipus de tasca, es va comparar la influència d'una sessió d'exercici (grup experimental) o del descans (grup control). Per tant, les úniques diferències procedimentals entre els grups van ser si feien la sessió d'exercici o no (grups control o grups EXE) i el tipus de tasca motriu (COGNI= Tasca de major requeriment sobre el control cognitiu o Tasca EF; NO COGNI= Tasca de menor requeriment sobre el control cognitiu o Tasca NEF).

A continuació s'especifiquen els procediments emprats a l'estudi de la següent forma:

- Primer, s'expliciten les fases que s'han seguit per dur a terme l'experimentació;
- Seguidament, s'expliquen els materials emprats:
 - La sessió d'exercici i,
 - la tasca motriu d'aprenentatge

6.2.1 Fases

6.2.1.1 Descripció

Cada persona va realitzar un total de tres sessions durant l'experimentació: sessió prèvia, sessió d'adquisició-intervenció i sessió de retenció.

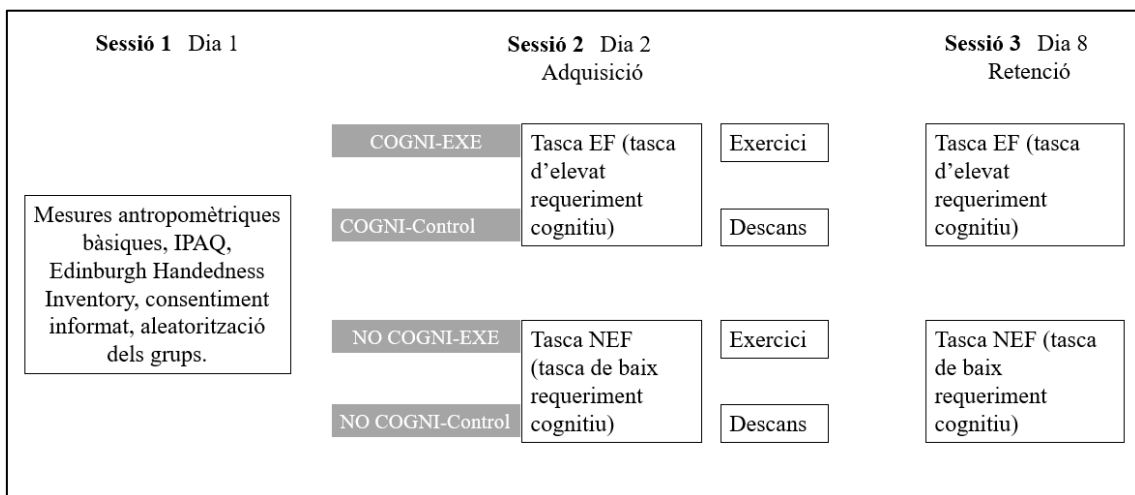
- Sessió prèvia (dia 1): Durant la primera sessió, les persones van ser informades de les condicions dels experiments i es va revisar que complissin amb els criteris d'inclusió. Seguidament, es van prendre les mesures i enregistrar les dades bàsiques de cada persona (vegeu l'instrument a l'Annex 1) i el nivell d'activitat física reportada. Es va completar el *Edinburgh Handedness Inventory* per determinar l'índex de lateralitat dominant de la persona. Es va demanar a les persones que es prenguessin l'alçada i el pes prèviament a assistir a l'experiment. Aquestes dades es van emprar per calcular l'índex de massa corporal (IMC) (Dal Maso et al., 2018). El nivell d'activitat física es va determinar a partir del qüestionari internacional d'activitat física (IPAQ) traduït al castellà (es pot veure a l'annex 1), utilitzat en altres estudis del camp (Thomas, Beck, et al., 2016; Thomas, Johnsen, et al., 2016). Les persones també van reportar la tipologia d'AF regular que feien (esportiva, gimnàs, etc.) al qüestionari de dades personals inicials quan duien a terme una activitat més d'un cop per setmana. Finalment, es van formar els grups experimentals balancejats en funció de les següents variables registrades: edat, gènere, alçada, pes i valor IPAQ.
- Sessió d'adquisició i intervenció (dia 2): En la segona sessió es va realitzar una familiarització amb la tasca a partir de l'execució de tres intents inicials de prova. Seguidament, es van iniciar les quatre rondes de 10 intents d'adquisició (tasca inicial) segons el grup assignat:
 - Els grups control i experimental de la tasca de major requeriment cognitiu (COGNI-EXE i COGNI-Control) van executar la tasca motriu en condicions d'elevat requeriment cap al control cognitiu (Tasca EF),

- Els grups control i experimental de la tasca de menor requeriment cognitiu (NO COGNI-EXE i NO COGNI-Control) van realitzar la tasca motriu en condicions de baix requeriment cap al control cognitiu (Tasca NEF).

Posterior als 40 intents d'aprenentatge, els grups experimentals COGNI-EXE i NO COGNI-EXE van realitzar una dosi d'exercici intens seguint el protocol *20m-Shuttle run*, de cursa per intervals, durant 13 minuts (Ferrer-Uris et al., 2017). Els grups control COGNI-Control i NO COGNI-Control van descansar durant 13 minuts a l'espai de l'experimentació.

- Sessió de retenció (dia 8): En la tercera sessió, situada exactament set dies després de la segona i a la mateixa hora que les sessions anteriors, les persones havien de repetir 3 blocs de 10 intents de la tasca motriu d'aprenentatge, en la mateixa condició que van realitzar la segona sessió (tasca final) (vegeu Figura 3).

Figura 3. Esquema de les fases de l'experiment.



Nota. IPAQ, Qüestionari internacional de l'Activitat Física.

6.2.1.2 Justificació

Es van escollir dos moments per realitzar la prova: l'adquisició i la retenció set dies després. L'adquisició es va emprar per determinar els valors inicials de cada grup i poder comparar-los amb els valors de la prova posterior. Es va descartar la utilització d'una prova immediatament posterior a l'exercici per reduir l'efecte de l'aprenentatge durant la pràctica com un element que pot amenaçar la validesa interna de l'estudi (Ratelle et al., 2019). La utilització de la prova de

retenció immediata es va descartar també perquè els canvis en la consolidació motriu segueixen una evolució no immediata a nivell temporal (Kandel, 2007) i depenen de canvis estructurals (Mayford et al., 2012). També es va determinar la taxa d'aprenentatge, com es veurà a l'apartat de resultats, durant cadascuna de les proves per determinar si les possibles millores es deuen a la intervenció o a un aprenentatge durant la pràctica.

Pel que fa a l'elecció de la retenció 7 dies després es va fer per assegurar que es mesurava la consolidació a llarg termini de l'aprenentatge. Tot i que les memòries motrius es consoliden i es fan resistents passades les hores de la pràctica (Shadmehr & Holcomb, 1997), moltes investigacions utilitzen test d'un dia posterior per respectar el paper de la son sobre la consolidació (Lugassy et al., 2018). No obstant l'anterior, s'han observat efectes diferents en la consolidació motriu entre el test d'un dia posterior i el de 7 dies posteriors, essent més evidents els efectes passada una setmana que un dia de la pràctica (Roig et al., 2012). Això es pot deure al fet que la consolidació a més llarg termini es pot comprovar quan es deixa el temps suficient (Loprinzi et al., 2021), ja que alguns efectes potenciadors generats per l'exercici, com els produïts pel BDNF, es manifesten seguint una evolució temporal complexa i específica que es fa més evident sobre la consolidació motriu a més llarg termini (Skriver et al., 2014).

Per tal de maximitzar el control de fonts potencials d'esbiaixar els resultats es van realitzar les sessions sempre a les mateixes hores, en el mateix espai i disposició, amb la mateixa il·luminació i el mateix material (McMillan & Schumacher, 2005) i sense feedback de l'investigador (Hung et al., 2021).

6.2.1.3 Relació amb altres estudis

Pel que fa a la utilització de les proves a les investigacions, cal destacar que la majoria d'investigacions empren la retenció 24 hores posterior a l'aprenentatge. En canvi, la retenció una setmana posterior és menys freqüent. Més enllà de les justificacions fetes a l'apartat 6.2.1.2, una possible explicació és la dificultat de realitzar la prova (preparació de materials, convocatòria de les persones una setmana després, etc.) després de 7 dies. Tot i això, un total de 14 estudis (n=37) van fer servir proves de retenció al cap de 7 dies per determinar la consolidació a més llarg termini. En el present estudi s'ha pres un posicionament investigador respecte la prova de major distància temporal com el més fiable per determinar els canvis a llarg termini en la memòria motriu. A la Taula 11 es poden comprovar les temporitzacions de les proves utilitzades pels estudis del camp, tot i que cal tenir en compte que 22 estudis empren més d'una prova.

Taula 11. Moments d'utilització de la prova de retenció emprada als estudis del camp.

	n	%	
Temporització de les proves	Retenció immediata	12	32.43%
	Retenció hores després	7	18.91%
	Retenció 24 hores	26	70.27%
	Retenció 7 dies	14	37.83%

6.2.2 Sessió d'exercici

6.2.2.1 Descripció

La sessió d'exercici es va realitzar després de la pràctica a la tasca motriu. Un cop finalitzada la tasca, es recordaven les instruccions a les persones i, seguidament, es col·locaven per sota de la samarreta un dispositiu polar H9 (pulsòmetre) que serviria per monitoritzar les pulsacions en directe a partir de l'aplicació *Polar Beat: Running & fitness*. Prèviament, s'havia calculat la freqüència cardíaca a la qual havia d'arribar cada persona durant els intervals de cursa (per exemple: 153 pulsacions). El càlcul de les pulsacions es va determinar a partir de la fórmula: $FC_{\text{màx}} \times 0.8$ (Stavrinos & Coxon, 2017), essent $FC_{\text{màx}} = 207 - (0.7 \times \text{edat})$ (Pescatello, 2014).

El procediment es va iniciar amb una cursa suau d'activació de dos minuts, on es comprovava que el dispositiu *Polar* funcionés amb normalitat. Seguidament, es van realitzar 3 intervals de 3 minuts d'intensitat elevada —corrent al 80% de la freqüència cardíaca màxima (FC Màx)— i 2 intervals de 3 minuts d'intensitat moderada —al 60% de la FC Màx—. El seguiment i monitoratge constant de les pulsacions va ser possible perquè la informació es transmetia directament a un dispositiu mòbil connectat per Bluetooth. Per tal d'assegurar que les persones tenien accés visual constant a les pulsacions es va projectar a un monitor de 32 polsades (Telefunken 32DTF525 32'') on s'enviava el contingut del dispositiu mòbil a un monitor intel·ligent a partir de l'opció de compartir pantalla. Igualment, s'avisava oralment a la persona quan excedia o disminuïa els límits propers al 80% de la FC màx per tal que es mantingués dintre dels valors prèviament establerts.

La cursa es va dur a terme a l'interior d'una sala de 400 m² on, cada 2 o 3 minuts (segons si s'havia realitzat l'interval d'intensitat elevada o moderada), s'escoltava una alarma que indicava

el canvi d'intensitat. Un cop finalitzats els 13 minuts, els participants retornaven el dispositiu polar que es rentava seguint les instruccions del fabricant i es recordava a la persona la data i hora en què havia de tornar per fer la prova de retenció.

6.2.2.2 Justificació

L'exercici es va realitzar 5 minuts després de finalitzar la prova d'adquisició per tal d'incidir directament sobre la fase de consolidació de la memòria motriu adquirida (Thomas, Beck, et al., 2016). Donat que els efectes que provoca l'exercici i que s'aprofiten per a la consolidació són transitoris (Wanner, Cheng, et al., 2020), s'ha detectat una relació entre la proximitat temporal de la tasca amb l'exercici i l'efecte generat sobre la consolidació, essent més positiu com menys temps passa entre l'aprenentatge i la sessió d'exercici (Thomas, Johnsen, et al., 2016). Per aquest motiu, només es van deixar passar 5 minuts entre la finalització de la tasca i la sessió d'exercici.

Pel que fa a la tipologia d'exercici seleccionat va ser la de córrer per intervals, per evitar la deshidratació i fatiga excessiva (Roig et al., 2012). Es tracta d'una tipologia d'exercici simple, com la majoria de les emprades a l'àmbit d'estudi de l'exercici puntual i la memòria motriu (Roig-Hierro et al., 2022). Tot i això, cal destacar que la tipologia d'exercici simple més utilitzada és la del ciclisme estàtic (Roig-Hierro et al., 2022). En el present estudi es va fer servir el protocol *20m-Shuttle run* (Ferrer-Uris et al., 2018), una modalitat de cursa per intervals. Això respon a la voluntat d'augmentar l'aplicabilitat de la intervenció en contextos formatius habituals en comparació a la majoria d'estudis, que van utilitzar ciclisme estàtic de forma predominant (Roig-Hierro et al., 2022). En aquest sentit, mentre la cursa es pot realitzar sense materials ni espais determinats, el ciclisme estàtic requereix un material específic i valuós que poques institucions disposen.

La intensitat de l'exercici físic va ser elevada (80% FC Màx.), perquè es considera un factor que incideix directament sobre la consolidació motriu (Thomas, Johnsen, et al., 2016). La disponibilitat dels recursos neuroquímics alliberats per l'exercici i aprofitats per a la consolidació depenen directament de la intensitat de l'exercici (Skriver et al., 2014), essent la intensitat elevada la que més facilita la segregació de substàncies que poden potenciar el procés de consolidació (Helm et al., 2017; Thomas, Johnsen, et al., 2016). Per determinar la intensitat de l'exercici es va utilitzar el valor de la FC Màx. Aquest valor es considera un mètode precís i fiable, en gran part gràcies a la correlació observada durant l'exercici entre els valors del consum d'oxigen màxim (VO₂ màx), habitualment emprat als estudis, i els valors de la freqüència cardíaca màxima (FC Màx) (Lounana et al., 2007). El 80% de la FC Màx es determina com intensitat elevada mentre

que el 60% de la FC Màx intensitat moderada (Garber et al., 2011). Per tal de comprovar i ajustar la velocitat si la intensitat no es trobava dintre dels paràmetres preestablerts durant l'execució es va monitoritzar i informar constantment a la persona per diferents canals (visual i auditiu) (Statton et al., 2015).

6.2.2.3 Relació amb altres estudis

Com s'ha comentat a l'apartat anterior, la majoria d'intervencions han emprat el ciclisme estàtic com a tipologia d'exercici (Roig-Hierro et al., 2022). No obstant, diverses investigacions han utilitzat el test 20m-SRT (Angulo-Barroso et al., 2019; Ferrer-Uris et al., 2017, 2018). A la Taula 12 es poden comprovar les intervencions d'exercici puntual que s'han fet servir a l'àmbit d'estudi.

Taula 12. Tipologia d'exercici emprada a les investigacions del camp.

Tipus de sessió d'exercici i número d'investigacions que l'utilitzen	
Rem estàtic (n=1)	(Helm et al., 2017)
Ciclisme estàtic de tot el cos (n=1)	(Charalambous et al., 2019)
Ciclisme estàtic estàndard (n=27)	(Baird et al., 2018; Beck et al., 2020; J. Chen et al., 2020; Christiansen et al., 2019; Dal Maso et al., 2018; Hübner et al., 2018; Hung et al., 2018; Jo et al., 2019; Lauber et al., 2017; Lundbye-Jensen et al., 2017; Mang et al., 2014; Mang, Snow, et al., 2016; Marin et al., 2020; Munz et al., 2021; Neva et al., 2019; Opie & Semmler, 2019; Ostadan et al., 2016; Perini et al., 2016; Rhee et al., 2016; Roig et al., 2012; Singh et al., 2016; Skriver et al., 2014; Snow et al., 2016; Statton et al., 2015; Stavrinou & Coxon, 2017; Swarbrick et al., 2020; Thomas, Beck, et al., 2016; Thomas, Johnsen, et al., 2016)
Esports (n=2)	(Lundbye-Jensen et al., 2017; Thomas et al., 2017)
Caminar (n=1)	(Statton et al., 2015)
Balls (n=1)	(Tomporowski & Pendleton, 2018)

*Extret i adaptat de Roig-Hierro et al. (2022).

6.2.3 Tasca motriu

6.2.3.1 Descripció

Les proves d'adquisició i retenció es van realitzar a partir de tasques motrius que van ser dissenyades específicament per a l'experiment. En aquest sentit, es va renunciar a la utilització de tests estandarditzats per mesurar el rendiment i aprenentatge motriu, per tal d'analitzar els efectes de l'exercici sobre una tasca motriu més transferible a contextos quotidians (un context esportiu) i així superar una de les limitacions detectades fins al moment a l'àmbit d'estudi.

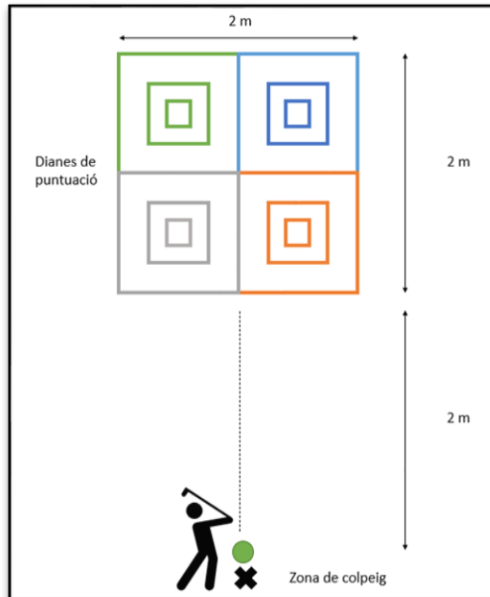
Adicionalment, per respondre a un dels objectius de l'estudi es requeria variar la demanda cognitiva a la tasca, fet pel qual era necessari un disseny específic que permetés l'execució motriu i cognitiva eficient per a les persones. Per aquest motiu, es van pilotar (es descriuen al final d'aquest apartat) de la tasca amb persones no incloses en l'estudi i que van permetre determinar l'eficàcia dels paràmetres escollits (com les distàncies o l'àrea de les dianes objectiu) i modificar-los quan era necessari (en el cas de les pilotes, que es va desestimar la utilització de pilotes de golf per l'absència de fregament amb el terra i es van emprar pilotes de tennis). A partir de l'anàlisi de les puntuacions obtingudes als pilots es va assegurar la fiabilitat de la tasca (Ratelle et al., 2019).

Finalment, es van dissenyar dues tasques motrius que requerien la mateixa execució motriu, però diferien en les demandes cognitives. Es tractava d'una tasca basada en el putt de golf on els participants havien de colpejar una pilota amb el *putter* de golf des del punt de llançament fins a la diana corresponent (vegeu Figura 4). Hi havia un total de quatre dianes de diferents colors d'un metre quadrat cadascuna situades a terra. Cada diana estava composta per tres quadrats concèntrics de la mateixa mesura (0.33 m^2 aproximadament). El quadrat central tenia un valor de tres punts (àrea més petita), mentre que el perifèric un punt (àrea més gran) i el mitjà dos punts. L'objectiu de l'execució era situar la pilota, a partir del colpeig, en el quadrat central per sumar el màxim de punts. La distància entre el punt de llançament i les dianes properes era de dos metres, mentre que amb les dianes llunyanes era de tres metres.

Pel que fa als intents d'aprenentatge, durant la fase d'adquisició es van realitzar quatre rondes de 10 intents i durant la de retenció tres rondes de 10 intents. Per aquest motiu, els participants disposaven de 10 pilotes per ronda que havien de llençar a les diferents dianes. A cada intent un ajudant retirava amb un pal la pilota aturada al quadrat, per tal d'evitar que xoquessin entre elles afectant a la trajectòria final. No es rebia cap feedback més enllà del visual, independentment si s'encertava o no a la diana. Un cop finalitzats els 10 llançaments es tornaven a situar les pilotes

al costat del punt de llançament per iniciar una nova ronda d'intents. A cada intent es gravava la posició final de la pilota i, posteriorment (a l'anàlisi) es determinava la puntuació (de 0 a 3 punts) segons la diana final on s'aturava la pilota.

Figura 4. Representació de la tasca motriu emprada al present experiment.



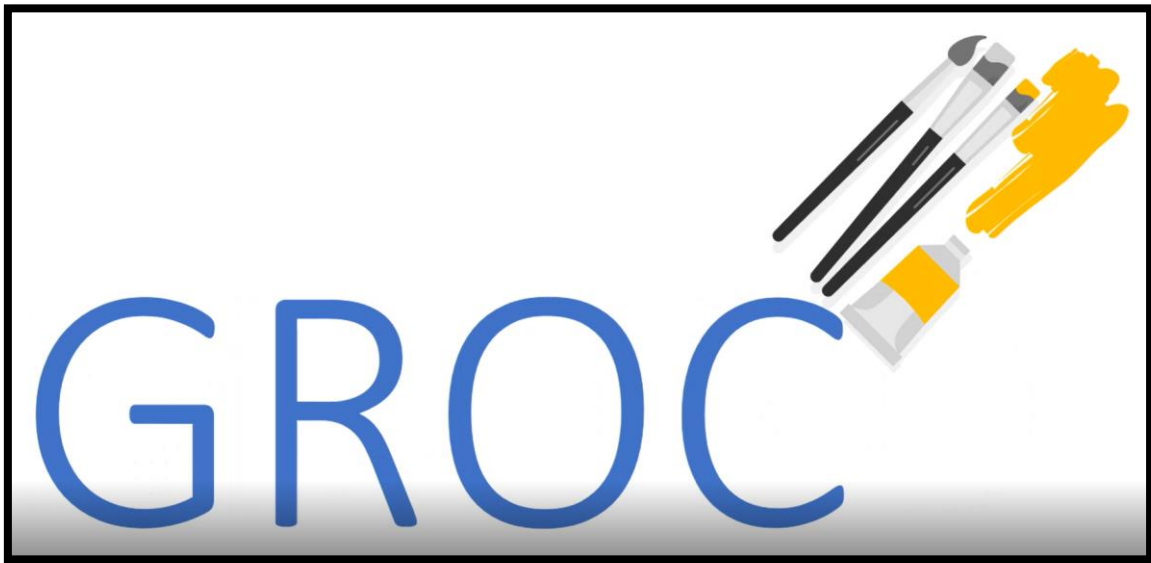
La diana a la qual s'havia d'efectuar el llançament venia determinada per dues vies en funció de si s'executava la tasca de major requeriment cognitiu o la tasca de menor requeriment:

- A la tasca de menor requeriment cognitiu (Tasca NEF) els participants tenien apuntat a una pissarra, situada més enllà de les dianes i dintre del camp visual de la persona, un ordre numèric (1-2-3-4) que determinava a quina diana havien de realitzar cada llançament. Cada diana tenia pintat un número de l'un al quatre.
- A la tasca major requeriment cognitiu (Tasca EF), els participants havien de seguir les ordres que rebien a una pantalla de 32 polsades, situada més enllà de les dianes i dintre del seu camp visual, sota l'efecte Stroop:
 - Cada ordre es presentava cada cinc segons i corresponia a un llançament,
 - Les ordres eren incongruents en tant que apareixia escrit el color de la diana però pintat amb un color diferent al seu significat. Alhora, un tercer estímul apareixia a la pantalla (una figura que representava un pinzell o una lletra) que determinava quina ordre havien de seguir:
 - Si apareixien uns pinzells, s'havia de seguir el color de la paraula;

- Si apareixien les lletres TM, s'havia de seguir el significat de la paraula escrita.

A la Figura 5 es pot trobar un exemple de les ordres que apareixien a la pantalla per als grups COGNI-EXE i COGNI-Control. Cal destacar que els patrons de llançament (1-2-3-4; 4-3-1-2; 4-3-2-1; 1-2-4-3) van ser els mateixos per a tots els grups per assegurar que les demandes motrius fossin idèntiques per a tots els participants.

Figura 5. Exemple d'ordre a un intent de colpeig de la tasca EF.



En aquest punt es necessari detallar la fase de pilotatge prèvia a la realització dels experiments finals. Degut a que el protocol emprat no es troba estandarditzat per la utilització d'una nova tasca, calia realitzar proves prèvies per determinar l'eficàcia i pertinència del disseny de la tasca. Inicialment, es van reclutar dues persones alienes a l'estudi per realitzar una tasca sota l'efecte Stroop a partir del llançament d'handbol. Degut a la dificultat pràctica per incorporar aquest efecte de forma eficaç a la tasca, així com per equiparar el bagatge motriu previ de les persones, es va seleccionar la modalitat del golf per inspirar la tasca.

Les dues persones van retornar per provar la tasca dissenyada i es van suggerir els següents canvis un cop analitzats el desenvolupament i els resultats: les pilotes havien de ser de tennis per incrementar el fregament amb el terra, les dianes havien d'incorporar categoritzacions de puntuació per facilitar l'anàlisi i les pilotes es situaven a sobre d'una catifa abans del llançament per a que no es moguessin. També es va aprofitar per determinar la posició ideal de la càmera

(Lenovo Thinkbook 14 RGB FHD) a partir de la qual es gravaven els intents, i el procediment per retirar cada pilota un cop s'aturava a la diana.

Un cop definit el disseny final de la tasca, 4 persones no incloses a l'estudi però que complien amb els requisits de la mostra final van realitzar un bloc de 10 intents a la tasca. Es van analitzar els resultats per determinar la fiabilitat de la tasca (vegeu Taula 8).

6.2.3.2 Justificació

La tasca emprada com a instrument es va centrar en l'aprenentatge d'una habilitat esportiva vinculada al golf. Concretament, per resoldre la tasca les persones havien d'executar l'habilitat motriu específica del colpeig de putt a una diana. La selecció d'aquesta tasca motriu responia a la voluntat d'analitzar els efectes de l'exercici sobre tasques motrius que es puguin usar en contextos habituals, com els esportius. Aquesta elecció és coherent amb el caràcter ecològic de la present recerca.

Alhora, un dels reptes de la utilització de tasques esportives amb elevada transferència a un context usual, és el control de les variables estranyes que poden influir en l'aprenentatge motor. Per aquest motiu, es va seleccionar una tasca d'una modalitat esportiva individual sense oposició directa en un context no canviant on l'habilitat motriu fos discreta, el que permetia reduir les variables externes no controlades. Utilitzant aquest tipus de tasca, es considera que es pot avançar per incrementar l'aplicabilitat dels resultats que ofereix l'àmbit d'estudi de l'exercici puntual i la memòria motriu d'una forma rigorosa i respectant una planificació estratègia.

Un dels aspectes que influeixen en l'aprenentatge motor és la demanda coordinativa i cognitiva requerida per resoldre la tasca o situació motriu. La majoria d'habilitats motrius específiques se situen en contextos on la demanda cognitiva és variable. En el cas del golf, les habilitats implicades requereixen elevada atenció i concentració, processament de la informació dinàmic, planificació motriu, organització mental i control de la temporització i seqüenciació en la coordinació d'accions específiques (Sommer & Rönnqvist, 2009).

Tot i les demandes anteriors, per tal d'augmentar la generalització dels resultats i aportar una nova perspectiva, s'ha valorat la dimensió cognitiva com una característica determinant de les tasques motrius esportives i s'ha considerat com una variable dependent de l'estudi. Per aquest motiu, s'han diferenciat les tasques segons la demanda cognitiva exigida a la persona durant l'execució:

- A la tasca EF s'exigia discriminació i gestió d'estímuls, gestió de distractors i pressió temporal.
 - La discriminació i gestió dels estímuls responia a la necessitat d'identificar les ordres incongruents a una pantalla per determinar la diana de llançament. Es va utilitzar l'efecte Stroop per augmentar l'exigència cap a aquests factors, així com també per incorporar la presència de distractors;
 - Quan apareixia una ordre a la pantalla (vegeu Figura 5), ho feia per dues vies: segons la paraula escrita o segons el color de la paraula. Una de les dues vies era la correcta i l'altre actuava com a distractor. El fet que un tercer estímul (pinzell o lletra) aparegués a la pantalla exigia a les persones relacionar-lo amb les dues vies anteriors i prendre una decisió.
 - Tot plegat es va realitzar sota condicions de pressió temporal. Les persones tenien 5 segons entre ordre i ordre (cinc segons cada intent). En aquests 5 segons havien de determinar a quina diana efectuar el colpeig i executar-lo. El temps de 5 segons es va determinar a partir d'una prova pilot per tal que fos exigent però assolible per a les persones.
- A la tasca NEF no apareixia cap component anterior. No obstant l'anterior, les persones havien de seguir un patró per executar el colpeig. Per tal d'evitar que aquest requeriment fos exigent per a la memòria de treball, en quant haurien de recordar un patró i executar segons aquest, es va facilitar l'ordre a una pissarra (1-2-4-3) i es va determinar cada diana amb un número (de l'un al quatre). Els participants no havien de recordar el patró sinó que consultaven la pissarra per saber a quina diana dirigir el colpeig. A diferència de la tasca EF, no es va limitar el temps d'execució.

El fet que la pràctica de la tasca motriu fos puntual requeria facilitar, en la mesura possible, el procés d'adquisició i aprenentatge ràpid de l'habilitat. En aquest sentit, i com s'ha comentat abans, es va decidir emprar pilotes de tennis, ja que les pilotes de golf implicaven un fregament mínim amb el terra i augmentava les demandes sobre la precisió a una diana i, en conseqüència, una reducció de les puntuacions que no facilitaria la comparació entre grups. Donat que el focus d'aquesta investigació respecte a la tasca motriu se centrava en les diferències segons el requeriment cognitiu, es va apostar per facilitar l'execució del colpeig utilitzant les pilotes de tennis i, en conseqüència, potenciar la variabilitat sistemàtica de la variable dependent per un augment de les puntuacions (McMillan & Schumacher, 2005).

6.2.3.3 Relació amb altres estudis

La tasca emprada a la present investigació es va adaptar de les utilitzades a altres estudis de l'àmbit de l'exercici puntual i la memòria motriu (Lorås et al., 2020) o de l'aprenentatge motor (Batalla, 2005). Cal tenir en compte que la majoria d'investigacions que analitzen els efectes de l'exercici puntual han utilitzat tasques que impliquen exclusivament les extremitats superiors i, concretament, de la mà dominant (Roig-Hierro et al., 2022), com es pot comprovar a la Taula 13. De fet, només cinc investigacions s'han centrat en tasques que impliquen moviment global o que inclou més d'una extremitat (Bonuzzi et al., 2020; Charalambous et al., 2019; Helm et al., 2017; Singh et al., 2016; Wanner, Müller, et al., 2020). En el present estudi s'ha utilitzat una tasca on l'habilitat motriu presenta una demanda de moviment global, i un requeriment sobre la posició de l'espatlla, l'esquena, els genolls i les mans respecte al pal (Barnett et al., 2015).

Pel que fa a l'aplicabilitat i transferència de les tasques emprades només dos estudis han utilitzat aprenentatges contextualitzats (esportius) per analitzar els efectes de l'exercici sobre la consolidació motriu (Bonuzzi et al., 2020; Lorås et al., 2020):

- En l'estudi de Lorås et al. (2020), s'utilitza una tasca similar a la del present estudi a partir del colpeig de putt de golf, on les persones havien d'encertar la pilota a un forat de 43 mil·límetres de diàmetre des d'una distància de tres metres.
- Pel que fa a Bonuzzi et al. (2020) van emprar una tasca de servei de voleibol. Donada la limitada experimentació amb tasques transferibles a contextos habituals es va considerar una necessitat de l'àmbit la investigació dels efectes de l'exercici sobre aprenentatges esportius.

En aquest sentit, la innovació que pretén introduir el present estudi respecte a la tasca motriu en comparació als dos anteriors es focalitza en dos punts:

- L'anàlisi d'una intervenció d'exercici sobre un aprenentatge esportiu (a diferència de Lorås et al., (2020) el present estudi inclou un grup control que permet comparar l'efecte de la intervenció o del descans) i;
- La diferenciació de la tasca motriu segons la demanda cognitiva requerida.

Taula 13. *Tasques motrius d'aprenentatge emprades als diferents estudis del camp.*

Tasca motriu	Nombre d'estudis que utilitzen la tasca
Tasca VAT (Seguiment visomotriu)	- N=10 (Beck et al., 2020; Christiansen et al., 2019; Dal Maso et al., 2018; Hung et al., 2021; Lundbye-Jensen et al., 2017; Roig et al., 2012; Skriver et al., 2014; Thomas, Beck, et al., 2016; Thomas et al., 2017; Thomas, Johnsen, et al., 2016)
Tasca RMVA (Seguiment i rotació visomotriu)	- N=5 (Angulo-Barroso et al., 2019; Ferrer-Uris et al., 2017, 2018; Neva et al., 2019; Tomporowski & Pendleton, 2018)
Tasca d'abducció balística del dit polze	- N=3 (Lauber et al., 2017; Opie & Semmler, 2019; Perini et al., 2016)
Tasca de selecció en sèrie	- N=2 (Baird et al., 2018; Mang, Snow, et al., 2016)
Tasca SVIPT (Pinçament seqüencial isomètric)	- N=2 (Statton et al., 2015; Stavrinou & Coxon, 2017)
Tasca de seguiment continu	- N=2 (Mang et al., 2014; Snow et al., 2016)
Tasca de córrer per una cinta de dos carrils	- N=2 (Charalambous et al., 2019; Helm et al., 2017)
Tasca d'aprenentatge motor seqüencial	- N=2 (Munz et al., 2021; Rhee et al., 2016)
Tasca de balanceig	- N=1 (Wanner, Müller, et al., 2020)
Tasca de servei de voleibol	- N=1 (Bonuzzi et al., 2020)
Tasca de coordinació bimanual	- N=1 (Singh et al., 2016)
Tasca DSPT (Producció discreta de patrons de localització espacial)	- N=1 (Jo et al., 2019)
Tasca de concordança de forces	- N=1 (Hübner et al., 2018)
Tasca de tocar el piano	- N=1 (Swarbrick et al., 2020)

Bloc III: Resultats

Capítol 7: Introducció a l'anàlisi dels resultats

En el present capítol es reportaran els resultats obtinguts a la investigació. Inicialment s'explicarà i justificarà com s'han analitzat les dades. Posteriorment, es presentaran els resultats principals relacionats amb els objectius de la investigació. Seguidament, es presentaran els resultats no vinculats directament als objectius principals. Finalment, es farà una síntesi dels resultats obtinguts.

7.1 Variables de l'estudi

Les variables que es van escollir per determinar l'aprenentatge de la tasca van ser la precisió i la consistència, en línia amb altres investigacions de l'àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu que empraven tasques esportives (Bonuzzi et al., 2020) o investigacions d'aprenentatge motor que empraven tasques similars a la tasca del present estudi (Batalla, 2005).

- La precisió es va determinar de forma quantitativa, com a mesura de tendència central, a partir de les medianes dels valors absoluts de puntuació obtinguts a la tasca motriu. Es va realitzar una categorització de les puntuacions (0-1-2-3 punts a cada intent) per tal d'emprar una forma de mesura del rendiment que fos aplicable a contextos quotidians. Per aquest motiu es va desestimar prendre com a referència els centímetres de desviació respecte l'objectiu (Loràs et al., 2020) o el temps de moviment i reacció (Angulo-Barroso et al., 2019). Tenint en compte que en el colpeig del putt poden dues causes principals d'errors, la velocitat d'impacte (o força) -on la pilota supera o no arriba al punt objectiu- i la direcció conferida a la pilota, que fa que aquesta quedi a un costat i no al centre de l'objectiu- (Malhotra et al., 2015), s'ha considerat la posició final de la pilota dintre de l'objectiu (3 punts) com el màxim encert tant de direcció com de força de l'impacte.
- La regularitat del rendiment s'ha considerat un indicador més d'aprenentatge i s'ha determinat a partir de la consistència de les respostes obtingudes. Aquesta, com a mesura de la dispersió, es va extreure a partir dels valors de desviació estàndard (DE) de la puntuació obtinguda per cada persona a cada bloc d'intents (Bonuzzi et al., 2020; Krause et al., 2018). A partir d'aquí es va extreure una mitjana per cada persona tant a la prova d'adquisició com a la prova de retenció. L'anàlisi de la consistència depenia dels valors absoluts de la precisió i aportava una informació complementària. Així, mentre els valors

de precisió informaven sobre el rendiment i evolució de les puntuacions a la prova, la consistència informava de la regularitat d'aquest rendiment i evolució. A diferència de la precisió, la consistència és millor quan més propera és al valor 0.

Donat que la consistència informa de la regularitat de les puntuacions, per si sola, no és una variable explicativa de l'aprenentatge a la tasca. Això es fa evident si s'empra el següent exemple: unes puntuacions elevades i regulars (p.ex.: 3-2-3-2-3) poden implicar una consistència elevada degut a que la diferència de les puntuacions és mínima, mentre que unes puntuacions molt baixes i properes a zero (p.ex.: 0-0-1-0-0) també poden derivar en una consistència elevada. En aquest cas, no es podrà parlar d'un mateix rendiment per molt que la consistència sigui elevada en ambdós casos. Per aquest motiu es parlarà de la consistència com a variable complementària i s'utilitzarà, durant l'anàlisi, com un valor explicatiu afegit a l'anàlisi de la precisió.

Pel que fa a les variables independents principals de l'estudi es van concretar dues: la realització d'una sessió d'exercici i el requeriment del control cognitiu durant la tasca motriu. La primera, implicava que dos grups realitzessin l'exercici i dos grups descansessin. La segona, diferenciava dues tasques segons el requeriment cognitiu; mentre dos grups realitzaven la tasca de major requeriment cognitiu, els altres dos grups realitzaven la de menor requeriment.

Com es va comentar a l'apartat metodològic, més enllà de les variables principals, també es van analitzar altres variables independents com el gènere, l'índex de massa corporal, el nivell d'activitat física o la tipologia de pràctica d'activitat física duta a terme de manera regular per les persones. La utilització d'aquestes variables podia condicionar la generalització dels resultats, pel que l'efecte observat sobre un grup podia ser diferent en funció del subgrup analitzat (per exemple, grup COGNI-EXE, subgrups segons IMC) (McMillan & Schumacher, 2005). Una rigidesa excessiva en quant a la validesa externa podia implicar que tot l'estudi resultés útil només en casos molt concrets (dividint segons grups i subgrups), motiu pel qual en el present estudi es van interpretar els resultats de les variables principals com a grup sencer per després analitzar la influència de les variables secundàries independents (McMillan & Schumacher, 2005). A la Taula 14 es presenta un resum de les variables seleccionades al present estudi.

Taula 14. *Resum de les variables de l'estudi.*

Variables independents	Principals	<ul style="list-style-type: none">➤ Sessió d'exercici➤ Requeriment cognitiu a la tasca
	Secundàries	<ul style="list-style-type: none">➤ Gènere➤ IMC➤ Nivell físic➤ Tipologia de pràctica regular d'activitat física
Variables dependents		<ul style="list-style-type: none">➤ Precisió de colpeig a la tasca motriu➤ Consistència de les puntuacions

7.2 Justificació estadística

En la present investigació es va utilitzar el model estadístic no paramètric excepte per als càlculs vinculats a les característiques bàsiques de la mostra (edat, IMC, nivell físic reportat, etc.). Seguint les condicions proposades per Siegel & Castellan (1995), es complia el supòsit de normalitat de la distribució de les dades (veure Taula 24 a l'annex 2) i la independència d'observacions, però les variables utilitzades no eren contínues sinó discretes i només podien assumir un número limitat de valors (Sheskin, 2003). A més, no es va complir el supòsit d'homogeneïtat de variàncies per a la variable consistència durant l'adquisició (veure Taula 25 de l'annex 2). En aquesta situació es recomana emprar estadística no paramètrica per obtenir una anàlisi més fiable i rigorosa (Sheskin, 2003; Siegel & Castellan, 1995). Val a dir, però que fins i tot sota condicions de violació de les condicions anteriors (Schmider et al., 2010), determinades proves paramètriques mostren un alt nivell de robustesa, fins al punt de no trobar-se diferències segons l'aplicació d'un model paramètric o no paramètric en diferents conjunts de dades (Hunter & May, 1993). En el present estudi s'ha optat per adoptar un posicionament prudent respecte la violació d'una de les condicions per realitzar estadística paramètrica i s'han emprat proves estadístiques no paramètriques.

Un altre factor que es va considerar en l'elecció del model no paramètric va ser el nombre de persones incloses (Hunter & May, 1993), que en el cas d'aquesta investigació ($n=60$) podria ser reduït, especialment si es considera que la mostra per grup ($n=15$) era inferior a 25 (Kitchen,

2009). Encara que la majoria d'estudis que estudien la relació entre l'exercici i la memòria motriu utilitzen models paramètrics amb mostres inferiors a 60 persones (Roig et al., 2012; Thomas, Beck, et al., 2016; Tomporowski & Pendleton, 2018), es va prendre la decisió d'utilitzar el model no paramètric sempre que fos possible. Cal destacar que per realitzar l'anàlisi de les dades que caracteritzaven la mostra (edat, gènere, IMC, IPAQ i FC), al no tractar-se de variables contínues i respectar les condicions anteriors, es va aplicar una prova ANOVA d'un factor.

7.3 Anàlisi estadístic

Les proves que es mostren a continuació es van aplicar tant per a la precisió com per a la consistència.

- Primerament, es va calcular la normalitat de les dades i la homogeneïtat de les variàncies a partir del test Kolmogorov-Smirnov i el test de Levene respectivament.
- Seguidament, per analitzar les dades relatives a les característiques de les persones incloses a l'estudi es van extreure els estadístics descriptius i es van aplicar proves ANOVA d'un factor per determinar si existien diferències significatives entre grups. La utilització d'aquest model paramètric es devia a que les dades sobre les persones complien tots els requisits per poder emprar-lo, tot i la mida reduïda de la mostra.
- Posteriorment, es va utilitzar la prova H de Kruskal-Wallis per determinar si els grups pertanyien a la mateixa població, tant a la prova d'adquisició com a la de retenció.
- A continuació, es va utilitzar, combinant totes les parelles de grups possibles, la prova U-Mann de Whitney per determinar si dos grups pertanyien a la mateixa població, tant a la tasca inicial (prova d'adquisició) com a la tasca final (prova de retenció). Es va reportar també la mesura de l'efecte (r) sempre que va ser necessari (no es va reportar quan el valor p era $< .001$) a partir del següent càlcul (Fritz et al., 2012):

$$r = Z/\sqrt{n}.$$

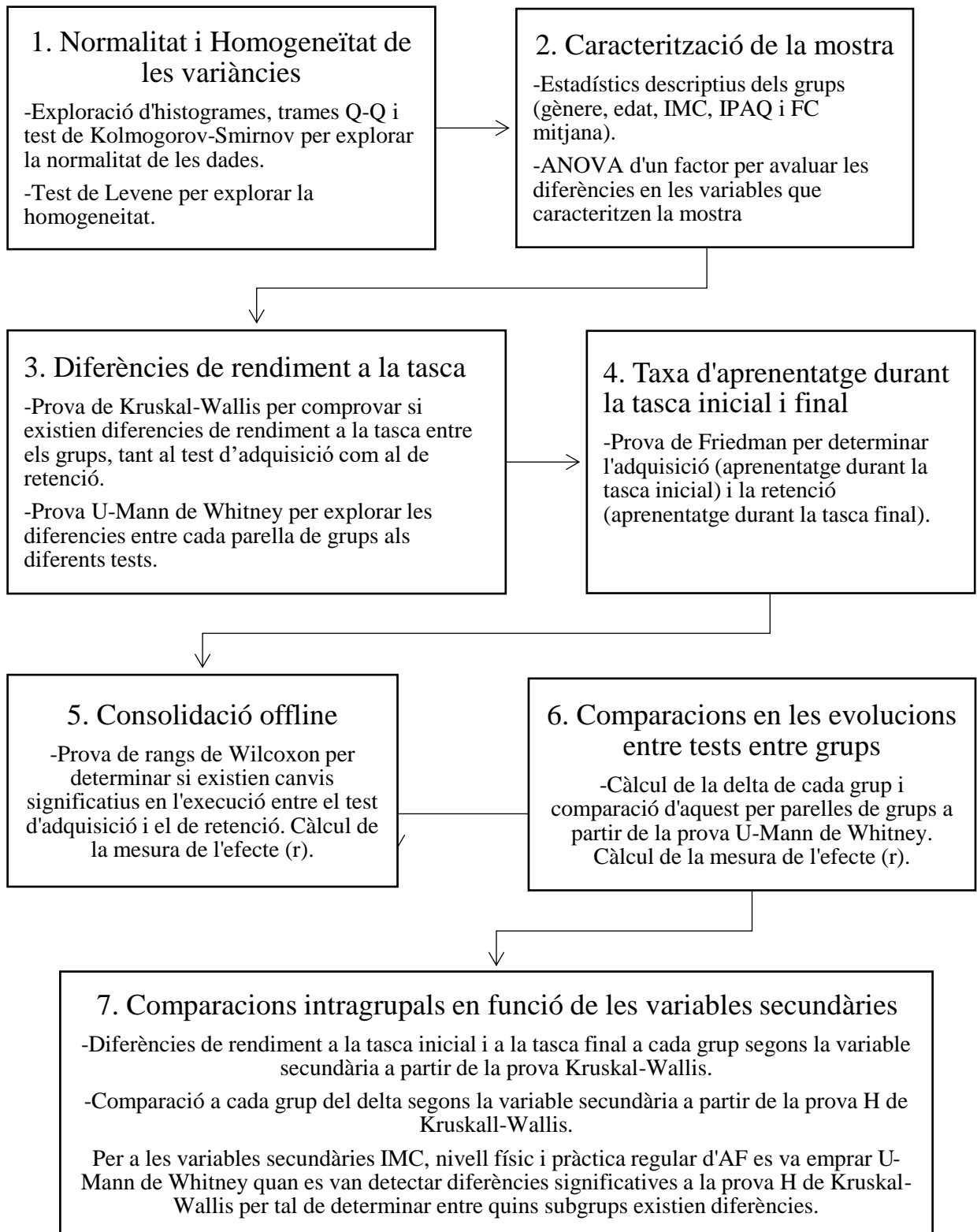
L'efecte elevat es considera a partir de .5, el moderat entre .3 i .5 i el petit menor a .3 (Fritz et al., 2012).

- Seguidament, es va utilitzar el test de Friedman (alternativa no paramètrica a l'ANOVA de mesures repetides) per determinar la taxa d'aprenentatge durant la tasca inicial (o adquisició) utilitzant com a factors els Blocs 1, 2, 3 i 4. També es va seguir el mateix procediment per determinar la taxa d'aprenentatge durant la tasca final (o retenció) utilitzant els blocs R1, R2 i R3 com a factors.

- La prova de rangs de Wilcoxon també es va emprar per determinar la consolidació *offline* comparant els valors de la retenció i l'adquisició a cada grup. Es va reportar també la mesura de l'efecte (r) de cada grup i es va comparar per determinar els grups que més canvis havien patit.
- Complementàriament a la comparació per la mesura de l'efecte, es va calcular la delta (Δ) de cada grup (diferència de les puntuacions mitjanes a la retenció i l'adquisició). Seguidament es van comparar la delta per parelles de grups a partir de la prova U-Mann de Whitney per determinar els grups que presentaven majors canvis entre tests, és a dir, majors increments *offline*.
- Finalment, es va calcular a cada grup la influència que les variables secundàries podien exercir sobre el rendiment i la consolidació. Per fer l'anàlisi, es va comparar el rendiment a l'adquisició i a la retenció segons el subgrup determinat per la variable secundària a partir de la prova H de Kruskal-Wallis. Si es detectaven diferències significatives, es realitzava la prova U-Mann de Whitney per aquelles variables que implicaven més de dos subgrups (IMC, nivell físic i tipologia de pràctica d'AF). Es va repetir el mateix procediment a cada grup a partir de la delta entre proves per determinar les diferències en la consolidació segons la variable secundària.

A continuació es presenta un diagrama on es detalla el procediment estadístic aplicat per extreure els resultats de la investigació en relació als objectius específics de cada procediment.

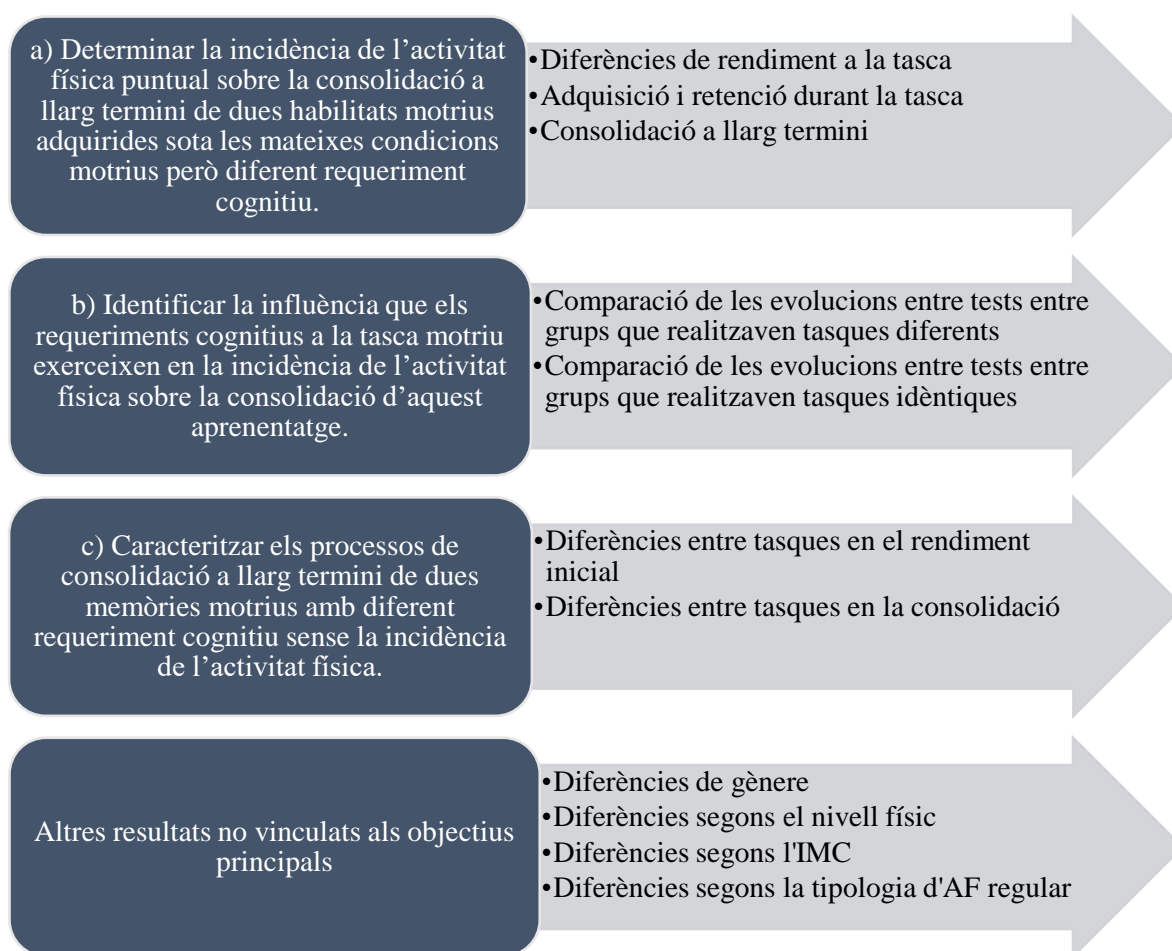
Figura 6. Procediments estadístics realitzats per a l'anàlisi de les dades.



Capítol 8: Resultats principals

Per tal de donar resposta als objectius plantejats a la investigació, a continuació es presenten els principals resultats obtinguts. En el següent esquema (Figura 7) es pot comprovar l'ordre que es seguirà.

Figura 7. Ordre de presentació dels resultats i relació amb els continguts que es tractaran en els propers apartats.



8.1 Objectiu a: Determinar la influència d'una sessió d'exercici sobre la consolidació a llarg termini de l'habilitat motriu del colpeig de putt

Per acomplir l'objectiu a) es van realitzar dos procediments. Primer, es van calcular les diferències de puntuació (precisió i consistència) entre grups tant a la tasca inicial (prova d'adquisició) com

a la tasca final (prova de retenció) per determinar si els grups presentaven diferències de rendiment. Seguidament es va determinar la consolidació offline entre la prova d'adquisició i la de retenció per determinar els canvis en el rendiment després d'una setmana. Finalment, es va calcular la taxa d'aprenentatge durant la tasca final (o retenció), per tal de comprovar si els canvis de rendiment entre la tasca inicial i final es devien o bé a l'efecte de la intervenció, o bé a un aprenentatge generat durant la segona vegada que es practicava la tasca.

8.1.1 Diferències de rendiment a la tasca entre grups

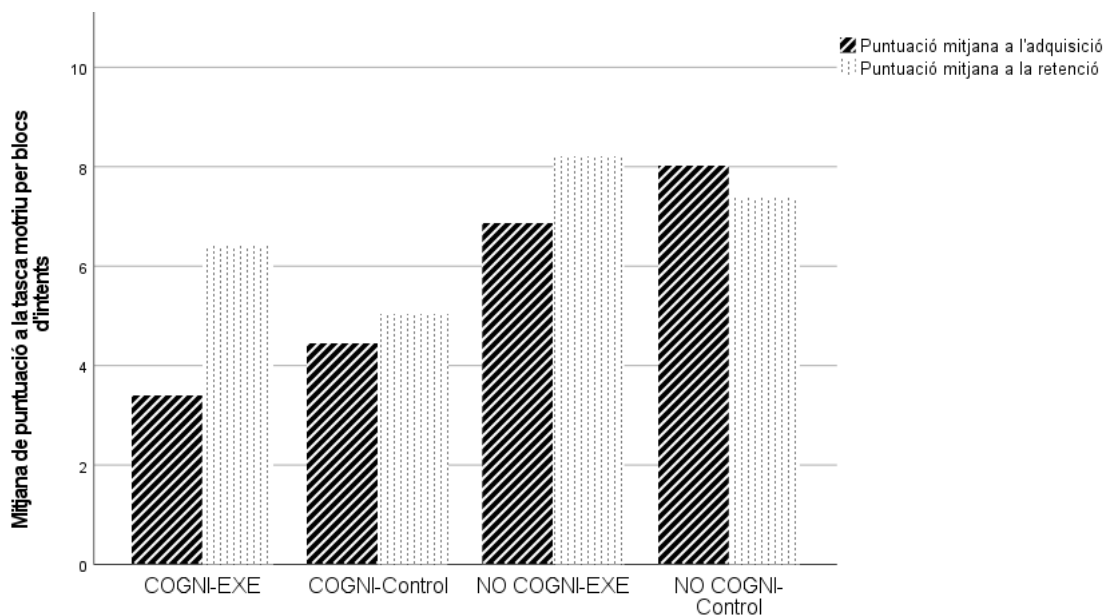
A partir de la prova H de Kruskal-Wallis es van detectar diferències significatives en la precisió entre els diferents grups tant a la prova d'adquisició ($p<.001$) com a la prova de retenció ($p<.001$) (es poden consultar els estadístics descriptius de la comparació entre grups a la Taula 15 i a la Figura 8).

Taula 15. *Valors de mitjana i desviació estàndard de la precisió a les diferents proves segons el grup experimental.*

Grups		Prova d'adquisició		Prova de retenció	
		Puntuació	EE	Puntuació	EE
COGNI-EXE	Mitjana	13.60	2.03	19.2	1.71
	DE	7.87		6.64	
COGNI-Control	Mitjana	17.86	1.77	15.33	1.36
	DE	6.88		5.27	
NO COGNI-EXE	Mitjana	27.46	1.77	24.67	1.34
	DE	6.87		5.19	
NO COGNI-Control	Mitjana	32.13	1.85	22.13	1.86
	DE	7.18		7.21	

Nota. DE= Desviació estàndard. EE= Error estàndard. Els valors de la retenció es presenten sobre 30 intents, mentre que els de la adquisició es presenten sobre 40.

Figura 8. Mitjana de la puntuació per blocs d'intents a les diferents proves segons el grup.



Nota: La puntuació mitjana s'obté al dividir el valor total pel nombre de blocs d'intents de cada prova.

Seguidament, es van fer anàlisis per parelles de grups per determinar entre quins grups existien diferències significatives de precisió tant a la prova d'adquisició com de retenció a partir de la prova U-Mann de Whitney. Els resultats van confirmar que existien diferències significatives de rendiment a l'adquisició ($p < .001$) entre els grups que realitzaven la tasca de major requeriment cognitiu (COGNI-EXE 13.6 ± 7.87 ; COGNI-Control 17.86 ± 6.88) i els que realitzaven la tasca de menor requeriment cognitiu (NO COGNI-EXE 27.46 ± 6.87 ; NO COGNI-Control 32.13 ± 7.18). Els resultats van ser similars a la retenció, on es van reportar diferències significatives ($p < .001$) entre els grups COGNI (COGNI-EXE 25.6 ± 8.86 ; COGNI-Control 20.44 ± 7.03) i els grups NO COGNI (NO COGNI-EXE 32.97 ± 6.9 ; NO COGNI-Control 29.51 ± 9.62). Tant a l'adquisició com a la retenció el nivell de precisió va ser superior (majors puntuacions) a la tasca NEF (grups NO COGNI).

Quan es van comparar els grups que realitzaven la tasca amb el mateix requeriment cognitiu no es van trobar diferències significatives de rendiment ni a la tasca inicial (COGNI-EXE i COGNI-Control ($p = .126$; $r = .40$); NO COGNI-EXE i NO COGNI-Control ($p = .089$; $r = .45$)) ni a la tasca final (COGNI-EXE i COGNI-Control ($p = .161$; $r = .37$); NO COGNI-EXE i NO COGNI-Control ($p = .106$; $r = .42$)). Cal destacar que tampoc es van trobar diferències significatives a la tasca final entre els grups COGNI-EXE i NO COGNI-Control ($p = .233$; $r = .31$) (Taula 16).

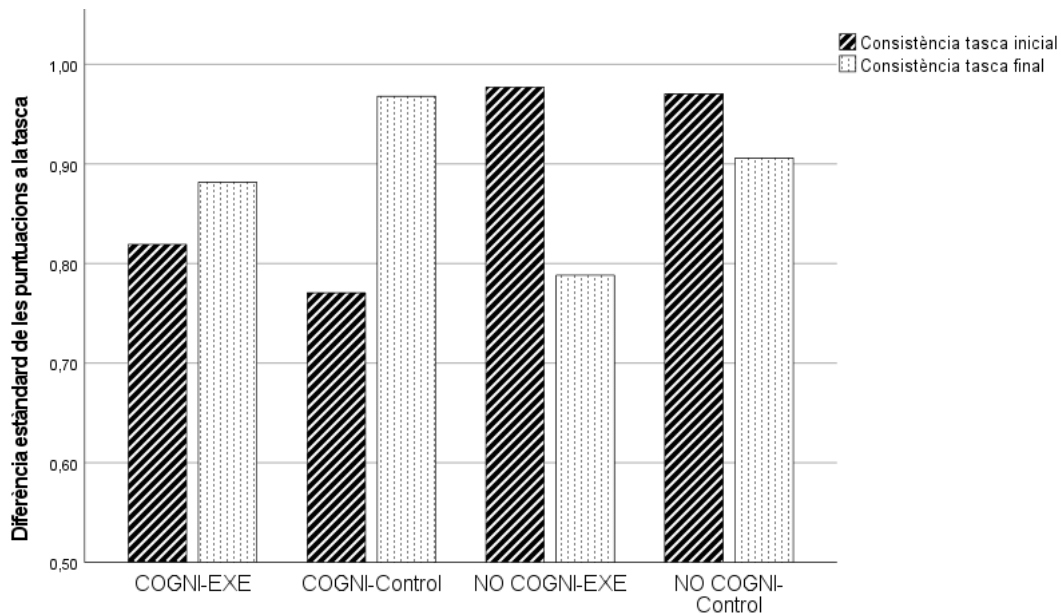
Taula 16. Diferències de medianes de precisió a la tasca segons parelles de grups.

Grup A / Grup B	Sig. Exacte (2-sided test)	
	Adquisició	Retenció
COGNI-EXE / COGNI-Control	.126	.161
NO COGNI-EXE / NO COGNI-Control	.089	.106
COGNI-Control / NO COGNI-Control	.000	.005
COGNI-EXE / NO COGNI-EXE	.000	.021
COGNI-EXE / NO COGNI-Control	.000	.233
COGNI-Control / NO COGNI-EXE	.002	.000

*En negreta s'indica la significativitat estadística a totes les taules.

Al comparar els valors de consistència, a l'adquisició i a la retenció, entre els diferents grups a partir de la prova H de Kruskal-Wallis es van detectar diferències significatives entre grups tant a la prova d'adquisició ($p=.000$) com a la de retenció ($p=.009$) (veure Figura 9).

Figura 9. Consistència a la tasca durant l'adquisició i la retenció a cada grup.



Seguidament, es van comparar per parelles de grups les diferències de consistència a cada prova, a partir del test U-Mann de Whitney, per determinar entre quins grups es donaven aquestes

diferències. Com es pot comprovar a la Taula 17, les diferències de consistència existien entre grups que realitzaven tasques diferents. Els grups que van realitzar la tasca de major requeriment cognitiu (Tasca EF) van mostrar millors valors de consistència a l'inici (amb puntuacions més baixes i properes al 0) i pitjors valors de consistència al final (amb puntuacions més elevades). Com s'observa a la Taula 18, la consistència és millor quan les puntuacions son baixes (puntuacions a cada intent més properes al 0) mentre que és pitjor quan les puntuacions son elevades o s'incrementen en relació al test d'adquisició (major dispersió en les puntuacions). Com es va comentar a l'apartat de variables, la consistència està directament vinculada a l'evolució de la precisió. L'excepció es va donar en el grup NO COGNI-EXE, qui va presentar millors valors tant de precisió com de consistència a la prova de retenció.

Pel que fa als grups que realitzaven la mateixa tasca, es destaca que els grups NO COGNI-EXE i NO COGNI-Control no presentaven diferències significatives a l'adquisició ($p=.806$; $r=.06$) mentre que sí ho feien a la retenció ($p=.019$; $r=.60$) favorables al grup que realitzava exercici.

Taula 17. *Diferències de medianes de consistència a l'adquisició i retenció segons parelles de grups.*

Grups	Diferències segons la prova	Error est.	Sig. Exacte (2-sided test)
COGNI-EXE i COGNI-Control	Adquisició	24.090	.126
	Retenció	24.104	.098
NO COGNI-EXE i NO COGNI-Control	Adquisició	24.104	.806
	Retenció	24.098	.019
COGNI-EXE i NO COGNI-EXE	Adquisició	24.090	.000
	Retenció	24.104	.126
COGNI-Control i NO COGNI-Control	Adquisició	24.106	.000
	Retenció	24.096	.187
COGNI-EXE i NO COGNI-Control	Adquisició	24.093	.000
	Retenció	24.106	.653

COGNI-Control i NO COGNI-EXE	Adquisició	24.101	.001
	Retenció	24.082	.001

Taula 18 . Relació de mitjanes per bloc de precisió i consistència a les diferents proves segons el grup.

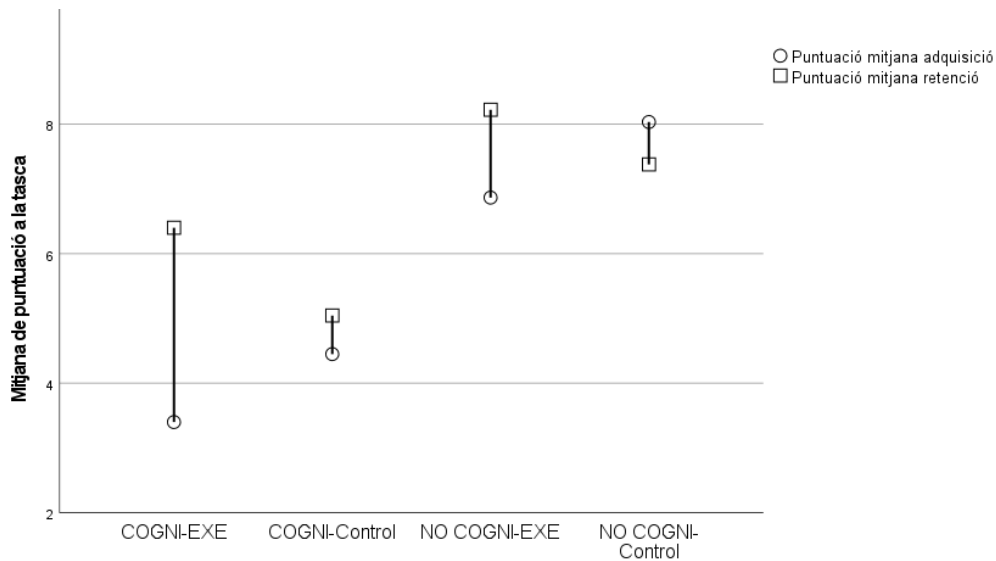
Grups	Prova d'adquisició		Prova de retenció	
	Precisió	Consistència	Precisió	Consistència
COGNI-EXE	3.4	.819	6.4	.881
COGNI-Control	4.45	.770	5.04	.968
NO COGNI-EXE	6.86	.977	8.22	.788
NO COGNI-Control	8.03	.970	7.37	.906

8.1.2 Consolidació a llarg termini de l'aprenentatge motor

Per determinar l'eficàcia de la intervenció sobre la memòria motriu, es van comparar les puntuacions de precisió i la consistència entre la prova d'adquisició i la prova de retenció per quantificar les millores entre la tasca inicial (dia 1) i final (dia 7) de cada grup. Es va fer a partir de la prova de Rangs de Wilcoxon.

Els resultats van indicar que els dos grups que van realitzar una sessió d'exercici, el COGNI-EXE ($p=.002$; $r=.8$) i el grup NO COGNI-EXE ($p=.044$; $r=.52$), van millorar de forma estadísticament significativa la precisió a la prova de retenció. El grup control que realitzava la tasca de major requeriment cognitiu (COGNI-Control) també va millorar però no de forma significativa ($p=.065$; $r=.47$) (a la Figura 10 es poden comprovar les evolucions de puntuació de cada grup entre l'adquisició i la retenció). El grup control que realitzava la tasca de menor requeriment cognitiu (NO COGNI-Control), va empitjorar la precisió a la retenció en comparació a l'adquisició, tot i que no de forma significativa ($p=.132$; $r=.39$). Les mesures de l'efecte indiquen un canvi de rendiment major en els grups EXE als 7 dies. La comparació entre grups es realitzarà al següent apartat (objectiu b)).

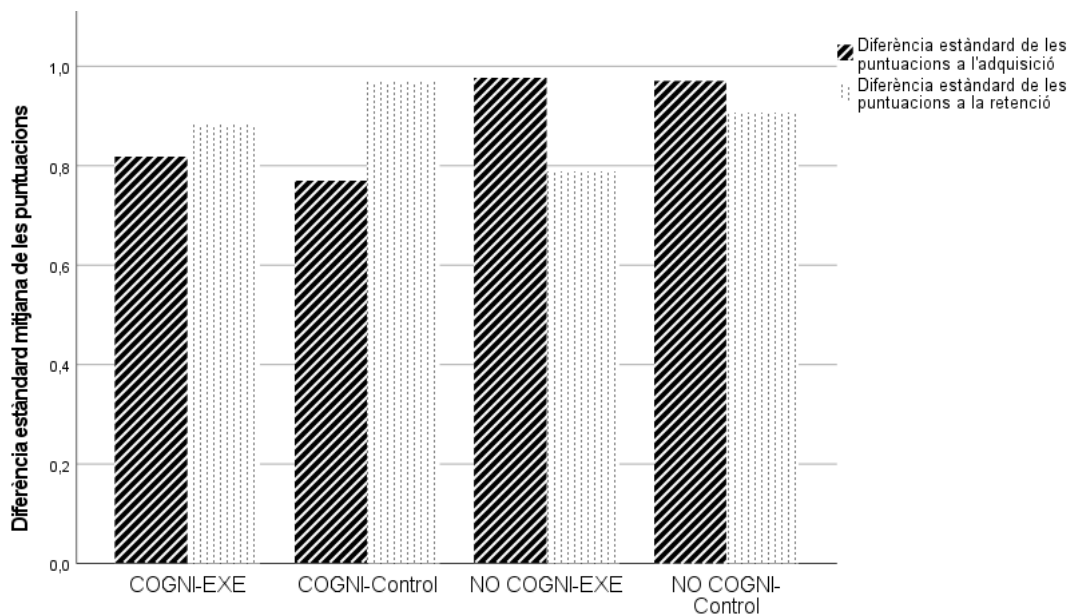
Figura 10. Evolució de la precisió entre l'adquisició i la retenció.



Nota. La puntuació mitjana fa referència a la mitjana per bloc d'intents a cada prova.

Pel que fa a l'evolució de la consistència entre l'adquisició i la retenció, s'observa que els grups COGNI-EXE i COGNI-Control van empitjorar-la, atès que van obtenir majors puntuacions a la segona (major variabilitat) (veure Taula 18). Cal destacar que el grup COGNI-Control va empitjorar de manera significativa la consistència als 7 dies ($p = .003$; $r = .76$) i no va ser capaç de millorar significativament la precisió entre la prova inicial i la final ($p = .065$; $r = .47$). En canvi, el grup COGNI-EXE va millorar la precisió als 7 dies de forma significativa ($p = .002$; $r = .8$) i, tot i empitjorar la consistència no ho va fer de forma estadísticament significativa ($p = .061$; $r = .48$). L'únic grup que va millorar tant la precisió ($p = .044$; $r = .52$) com la consistència als 7 dies ($p = .002$; $r = .8$) va ser el NO COGNI-EXE. El grup NO COGNI-Control va millorar la consistència als 7 dies a causa de l'empitjorament de les puntuacions al dia 7 (puntuacions properes a 0) i no es va considerar com un indicador d'aprenentatge. A la Figura 11 es poden consultar les evolucions entre proves de la consistència, essent els valors de desviació estàndard més propers a 0 els que determinen una millor consistència.

Figura 11. Evolució dels valors mitjans de consistència entre proves a cada grup.



8.1.3 Taxa de retenció

També es va calcular l'aprenentatge durant la tasca final (la retenció). Aquesta informació es va obtenir per conèixer si els possibles canvis en el rendiment als 7 dies es devien a la intervenció o a un aprenentatge durant l'execució de la tasca final. Es va emprar el test de Friedman, una alternativa no paramètrica a l'ANOVA de mesures repetides, on es van utilitzar tots els blocs de retenció (R1, R2, R3) com a factors i es va realitzar un anàlisi per cada grup. Es va descartar l'efecte de l'aprenentatge durant la tasca final perquè cap grup va presentar millores significatives de precisió al llarg de la prova (veure Taula 19 i Figura 12). No es van realitzar comparacions de consistència per dos motius:

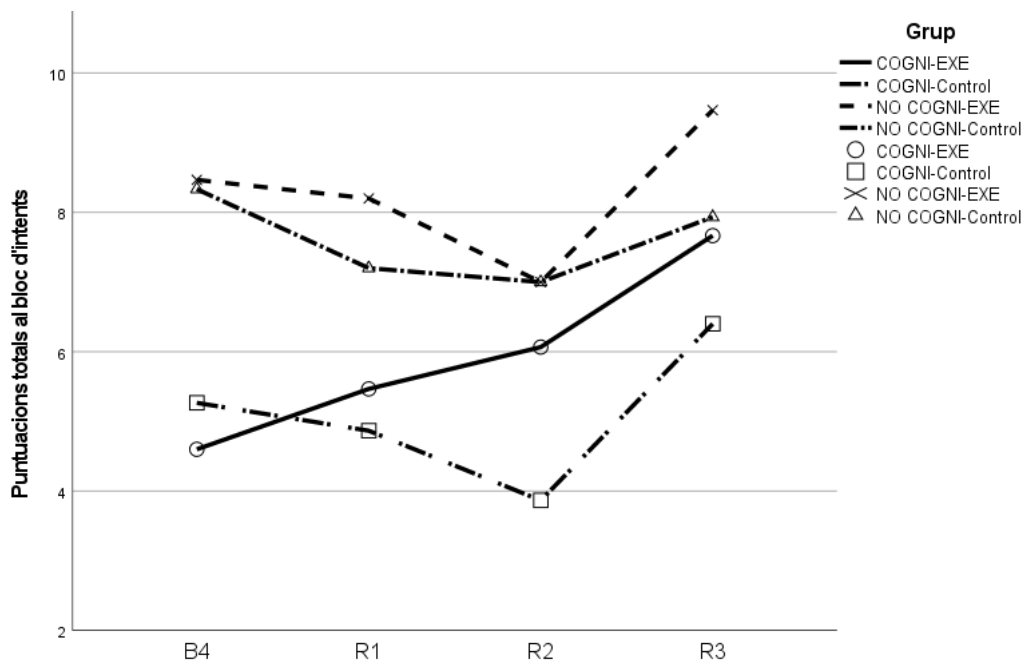
- La consistència depèn directament de la precisió i no es van observar canvis significatius en aquesta variable i,
- Al tractar-se de blocs d'intents, una persona no va sumar cap punt en el primer bloc d'intents a la prova de retenció. La consistència va ser la màxima perquè totes les puntuacions eren 0, però no va servir com un indicador real ni de rendiment ni d'aprenentatge.

Taula 19. Diferències de medians de precisió entre el bloc final i inicial de la prova de retenció.

Grups		R1-R2-R3
COGNI-EXE	Sig. asimptòtica (2-tailed)	.244
COGNI-Control	Sig. asimptòtica (2-tailed)	.088
NO COGNI-EXE	Sig. asimptòtica (2-tailed)	.168
NO COGNI-Control	Sig. asimptòtica (2-tailed)	.748

A la figura 12 es presenta l'evolució de les puntuacions als blocs de retenció. Addicionalment s'afegeix el darrer bloc d'adquisició per poder identificar l'efecte sostre de l'aprenentatge (Lundbye-Jensen et al., 2017). Tot i que no es va realitzar cap bloc específic per mesurar l'efecte sostre (Hung et al., 2021) (aquesta qüestió es desenvoluparà a l'apartat de 'limitacions'), la inspecció visual de la figura 12 permet descartar l'efecte sostre tots els grups excepte el NO COGNI-Control, qui obté pitjors puntuacions al darrer bloc de retenció en comparació al darrer bloc d'adquisició.

Figura 12. Evolució de les puntuacions entre el darrer bloc d'adquisició i els blocs de la retenció.



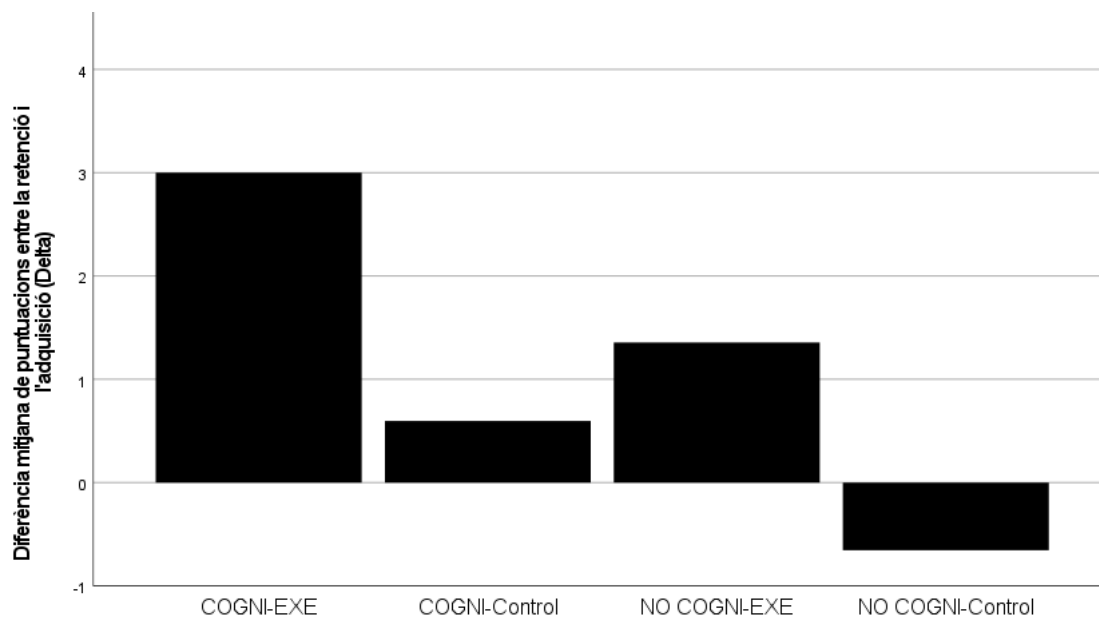
8.2 Objectiu b: Identificar la relació entre els requeriments cognitius de la tasca motriu d'aprenentatge i l'efecte de l'exercici agut sobre la consolidació motriu

Els resultats de l'objectiu anterior mostraven una millora significativa de la precisió en la retenció en comparació als valors d'adquisició en els grups que van realitzar exercici. El següent objectiu d'aquesta tesi és identificar quin grup canviava més als 7 dies per així determinar si la intervenció amb exercici era més eficaç a una tasca motriu amb major o menor demanda cognitiva. Per tant, es pretén identificar la influència que poden exercir els requeriments sobre el control cognitiu durant la tasca sobre la millora produïda per l'exercici en la consolidació. Per aconseguir donar resposta a l'objectiu b) es va calcular la diferència entre la puntuació mitjana a la retenció i a l'adquisició per així obtenir un valor numèric que quantifiqués el canvi (delta). Seguidament es van comparar els valors delta entre grups que realitzaven la mateixa tasca a partir de la prova U-Mann de Whitney, per determinar quin grup va millorar més als 7 dies. Finalment, es van fer comparacions entre grups que no realitzaven la mateixa tasca. Aquest càlcul es va complementar amb la comparació de la mesura de l'efecte obtingut a l'objectiu a) quan es van calcular els canvis entre adquisició i retenció a cada grup a partir de la prova de Rangs de Wilcoxon.

8.2.1 Comparació de la consolidació entre grups que realitzaven la mateixa tasca

En la comparació entre els grups que feien exercici i el seu grup control es van trobar diferències significatives a favor dels grups EXE pel que feia a la precisió. La delta del grup COGNI-EXE ($3 \pm .6$) va ser significativament superior ($p = .001$; $r = .87$) en comparació al grup COGNI-Control ($.59 \pm .33$). Pel que fa als grups NO COGNI les diferències també van ser estadísticament significatives a favor del grup NO COGNI-EXE ($p = .041$; $r = .52$). Com s'observa a la figura 13 i a la comparació de mitjanes del valor delta, el grup NO COGNI-EXE ($1.35 \pm .63$) reportava una delta positiva mentre que el grup NO COGNI-Control també reportava canvis entre l'adquisició i la retenció, tot i que ho feia de forma negativa ($-.65 \pm .6$).

Figura 13. Canvis de puntuació mitjana entre l'adquisició i la retenció segons el grup.

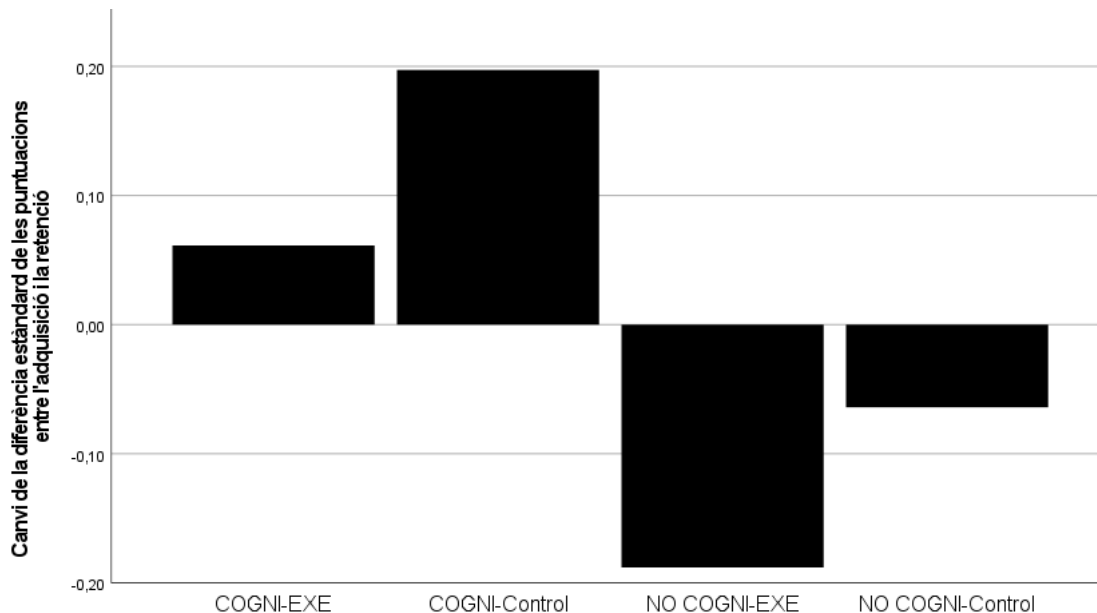


La comparació de la consolidació (precisió) a llarg termini entre grups que realitzaven la mateixa tasca també es va realitzar de forma individual. Es va mesurar la diferència de puntuació entre l'adquisició i la retenció de cada persona per determinar el percentatge de canvi, tant en positiu com en negatiu. Pel que fa a la tasca EF, en el grup COGNI-EXE van millorar 14 de 15 persones a la retenció. El percentatge de millora menys significatiu va ser del 5%. En el grup COGNI-Control van millorar el rendiment 11 de 15 persones, tot i que tres persones van presentar millores inferiors al 5%. En quant a la tasca NEF, en el grup NO COGNI-EXE van millorar 11 de 15 persones el seu rendiment a la retenció. La millora menys significativa va ser del 3,57%. En el grup NO COGNI-Control van millorar el rendiment a la retenció tres persones de 15, de les quals una va millorar un 3,57%. Es poden consultar aquests resultats a la Taula 26 de l'annex 2.

En quant a la consistència de les puntuacions, es va calcular la delta de cada persona, a partir de la diferència de mitjanes de la DE de cada persona entre l'adquisició i la retenció. Els dos grups COGNI van empitjorar la consistència a la retenció (van augmentar la DE entre puntuacions), tot i que el grup COGNI-Control va presentar un decrement superior en comparació al COGNI-EXE, arribant a ser les diferències de la delta de la consistència estadísticament significatives ($p=.037$; $r=.54$). Pel que fa als dos grups NO COGNI, ambdós van millorar la consistència, tot i que el grup NO COGNI-Control ho va fer a causa de la reducció de les puntuacions (valors més propers a 0) a la retenció. Al contrari, el grup NO COGNI-EXE va augmentar les puntuacions i van ser més consistents, arribant a ser significatives les diferències amb el grup NO COGNI-Control ($p=$

.017; $r = .61$). A la Figura 14 es poden veure l'evolució de la consistència entre l'adquisició i la retenció.

Figura 14. Evolució de la consistència de les puntuacions entre l'adquisició i la retenció.



Pel que fa al càlcul individual de la diferència de consistències entre grups s'observa que al grup COGNI-EXE tres persones de 15 van reduir la DE de les puntuacions entre l'adquisició i la retenció i dues persones de 15 no van patir canvis, mentre que al grup COGNI-Control dues persones de 15 van reduir la DE i la resta van presentar augments (vegeu Taula 27 a l'annex 2). En la comparació entre els grups NO COGNI, es destaca que al grup NO COGNI-EXE 13 persones van reduir la DE mentre que al grup NO COGNI-Control 11 persones van reduir la DE.

8.2.2 Comparació de la consolidació entre grups que realitzen diferents tasques

El fet que existissin diferències significatives a l'adquisició entre els grups COGNI i NO COGNI impedia comparar directament els grups, també a la retenció. El que sí va ser possible comparar, al emprar les mateixes mesures a ambdues tasques i les mateixes condicions experimentals excepte la demanda cognitiva a la tasca, van ser les evolucions entre l'adquisició i la retenció entre grups de la tasca EF i la NEF. Quan es va comparar la delta de la precisió dels dos grups que van realitzar exercici, les diferències no van ser estadísticament significatives ($p = .089$; $r = .44$) tot i que les millores als 7 dies van ser superiors en el grup COGNI-EXE (veure Figura 13). Pel que fa a la delta de la consistència les diferències van ser estadísticament significatives entre els grups COGNI-EXE i NO COGNI-EXE ($p < .001$; $r = .99$), ja que el grup NO COGNI-EXE va

millorar la consistència de forma significativa ($p = .002$) mentre el grup COGNI-EXE va empitjorar als 7 dies ($p = .061$) (veure Figura 14). A nivell individual, en el grup COGNI-EXE tres persones més que al NO COGNI-EXE van millorar la precisió als 7 dies. En canvi, en el grup NO COGNI-EXE 12 persones més que al grup COGNI-EXE van millorar la consistència als 7 dies.

Per determinar les diferències degudes a la tasca i sense influència de l'exercici, es van comparar els grups control (COGNI-Control i NO COGNI-Control). Degut a que respon a l'objectiu c) de l'estudi, s'aprofundirà en les diferències que es van detectar en la consolidació de dues memòries motrius de diferent demanda cognitiva al següent apartat.

Quan es va comparar el grup COGNI-Control amb el grup NO COGNI-EXE, es van observar majors millores del grup NO COGNI-EXE en la precisió que no van arribar a ser significatives ($p = .325$; $r = .25$), mentre que sí ho van ser per a la consistència ($p < .001$; $r = 1.08$).

8.3 Objectiu c: Caracteritzar els processos de consolidació a llarg termini de dues memòries motrius amb diferent requeriment cognitiu sense la incidència de l'exercici

Per identificar els processos de consolidació de dues memòries motrius diferents, es van realitzar dos procediments. El primer va consistir en l'anàlisi de possibles diferències de precisió i consistència a la prova inicial, mentre que en el segon es van analitzar les possibles diferències en l'evolució de la memòria motriu al llarg de 7 dies.

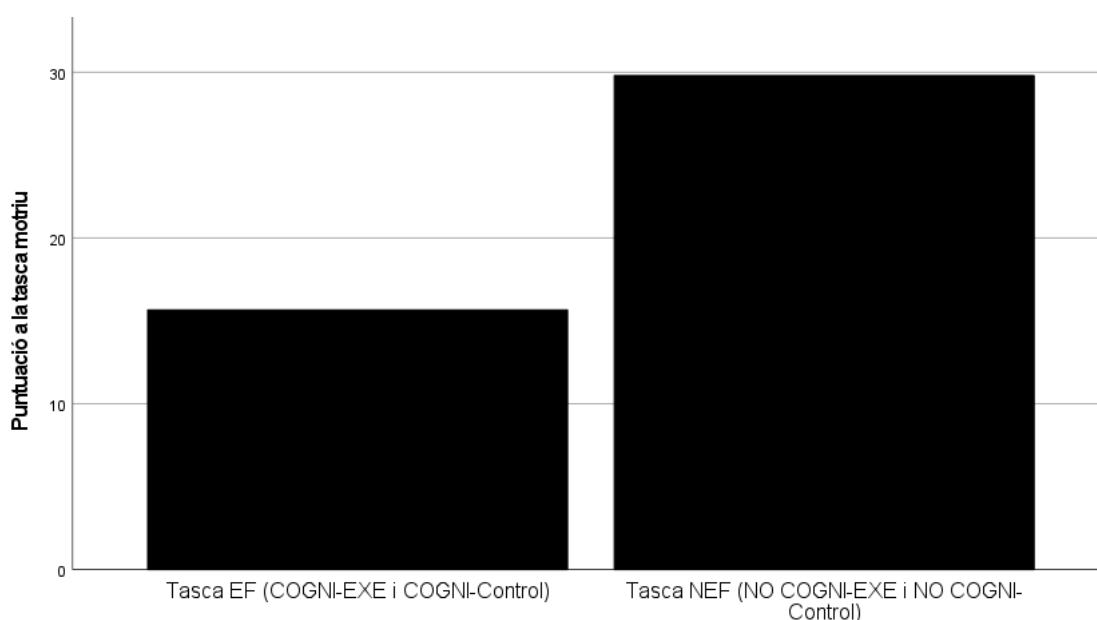
8.3.1 Diferències entre tasques al rendiment inicial

Les diferències inicials entre dues memòries amb el mateix requeriment motor però diferent requeriment cognitiu van ser evidents en les puntuacions a la fase d'adquisició. Els grups que realitzaven la tasca de menor requeriment cognitiu puntuaven més, com es pot comprovar a la Figura 15. Aquestes diferències entre els grups que realitzaven la tasca de major requeriment cognitiu i els que realitzaven la tasca de menor requeriment cognitiu van arribar a la significativitat estadística ($p = .000$). Per calcular l'anterior, es van agrupar les puntuacions a la prova d'adquisició dels grups COGNI-EXE i COGNI-Control i es va comparar amb les puntuacions agrupades dels grups NO COGNI-EXE i NO COGNI-Control a partir del test H de

Kruskal-Wallis. Aquesta agrupació per tasca va ser possible únicament a la prova d'adquisició, donat que posterior a aquesta un grup realitzava la dosi d'exercici i l'altre no.

Per reduir l'efecte de possibles variables estranyes, es van comparar també les diferències només entre grups controls a partir de la prova U-Mann de Whitney. Novament, es van trobar diferències significatives de a la precisió ($p=.000$; $r= .98$) i a la consistència ($p= .001$; $r= .89$) a la prova inicial segons la tasca realitzada. El grup control que realitzava la tasca de menor requeriment cognitiu obtenia una puntuació més elevada i una pitjor consistència. La consistència elevada del grup COGNI-Control només es devia a les baixes puntuacions obtingudes a la prova -més properes al 0- i no es va considerar un indicador de rendiment.

Figura 15. *Valors de precisió a l'adquisició segons la tasca motriu realitzada.*



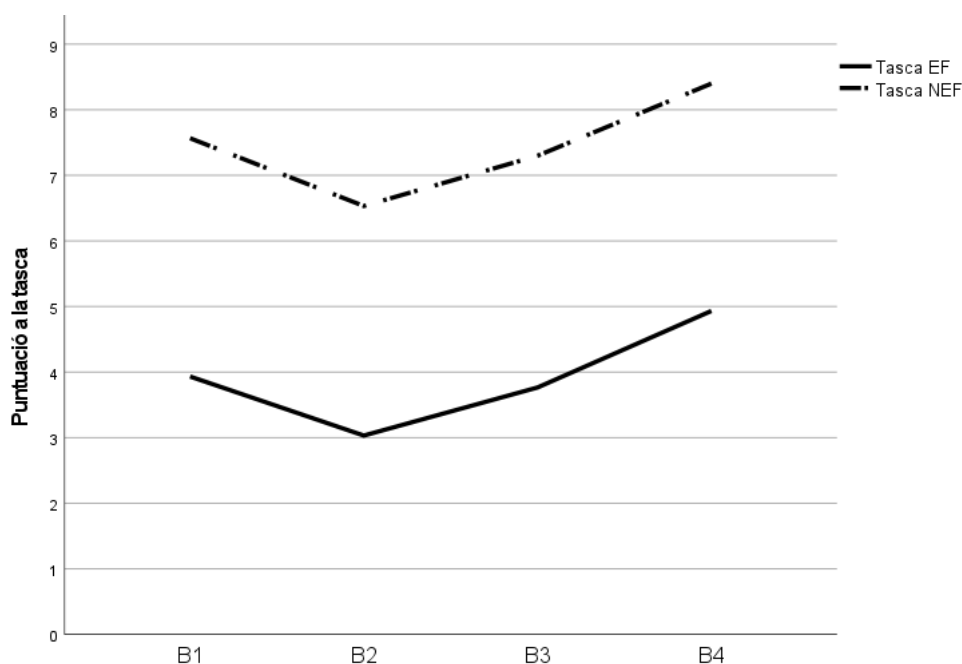
8.3.2 Diferències entre tasques en la taxa d'adquisició

Per calcular la taxa d'adquisició (aprenentatge online) es va emprar el test de Friedman on es van utilitzar tots els blocs d'adquisició (B1, B2, B3, B4) com a factors i es va realitzar un anàlisi per cada tasca, agrupant els grups COGNI-EXE i COGNI-Control (Tasca EF) i els grups NO COGNI-EXE i NO COGNI-Control (Tasca NEF). Es va descartar l'efecte de l'aprenentatge estadísticament significatiu durant els quatre blocs de la prova d'adquisició tant per a la tasca EF ($p= .100$) com per a la tasca NEF ($p= .102$). A la Figura 16 es comprova que, tot i obtenir majors puntuacions els grups de la tasca NEF, l'evolució durant la prova és similar entre ambdues

tasques. Per com es va fer al càlcul de la taxa de retenció, no es van realitzar comparacions de consistència per dos motius:

- La consistència depèn directament de la precisió i no es van observar canvis significatius en aquesta variable durant els blocs i,
- Al tractar-se de blocs d'intents, una persona no va sumar cap punt en el primer bloc d'intents de la retenció. La consistència va ser la màxima perquè totes les puntuacions eren 0, però no va servir com un indicador real ni de rendiment ni d'aprenentatge.

Figura 16. Evolució de les puntuacions durant els blocs d'adquisició segons la tasca.

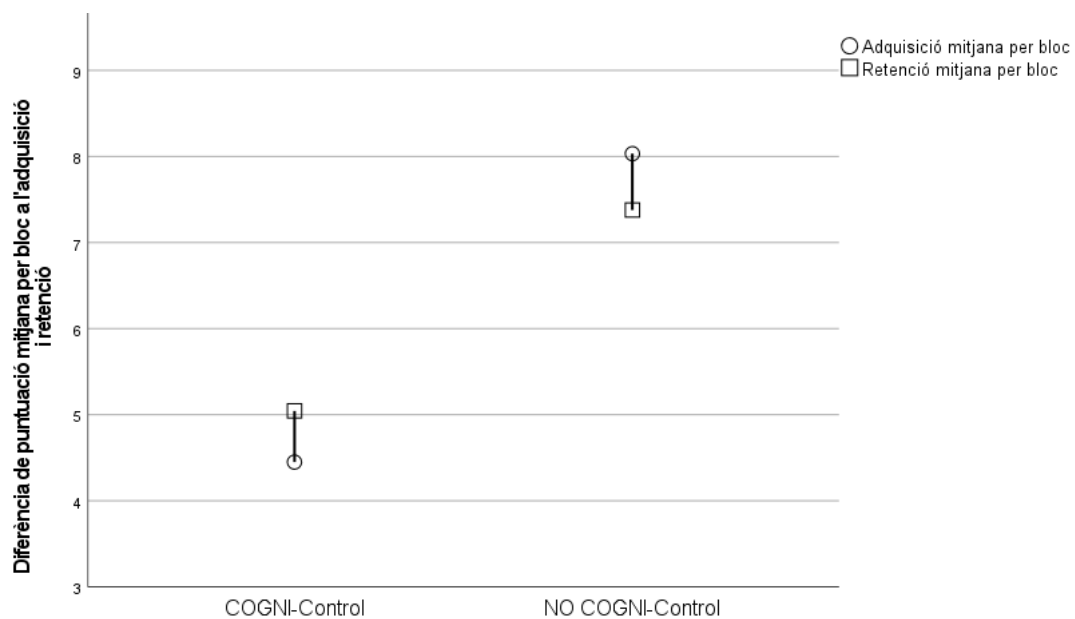


8.3.3 Diferències entre tasques en la consolidació motriu

A partir de la comparació de la delta de les puntuacions a l'adquisició i a la retenció entre els dos grups control, es van detectar diferències significatives segons la tasca ($p = .023$; $r = .59$). Cal destacar que mentre la delta mitjana del grup COGNI-Control va ser positiu ($.59 \pm .33$) el del grup NO COGNI-Control va ser negatiu ($-.65 \pm .60$), indicant decrements en el rendiment als 7 dies (veure Figura 17). En aquest darrer grup, la millora en la consistència observada a la tasca es va associar amb un detriment de la puntuació a la tasca i no va servir com un indicador d'aprenentatge. En canvi, a la tasca de major requeriment cognitiu (COGNI-Control) es va destacar un empitjorament de la consistència entre prova inicial i final ($p = .003$).

Pel que fa al càlcul individual, s'observen diferències segons la tasca tant a la precisió com a la consistència. En el grup COGNI-Control van millorar 11 de 15 persones la precisió mentre que en el grup NO COGNI-Control van millorar tres persones de 15. En canvi, a la consistència succeeix diferent. En el grup COGNI-Control dues persones de 15 van millorar la consistència als 7 dies mentre que en el grup NO COGNI-Control 11 persones de 15 ho van fer. Tot i això, cal recordar que la millora de la consistència en el grup NO COGNI-Control no es pren com un indicador d'aprenentatge real ja que es vinculava a un decrement de les puntuacions (més properes a 0 i, per tant, menys disperses).

Figura 17. Evolució de la precisió mitjana per bloc entre l'adquisició i la retenció. Comparació dels dos grups control.



Capítol 9: Resultats de les variables independents secundàries

A continuació es mostren altres resultats obtinguts que complementen i enriqueixen els objectius prèviament plantejats a partir de les variables independents del gènere, de l'IMC i del nivell físic de les persones en l'evolució de la memòria motriu.

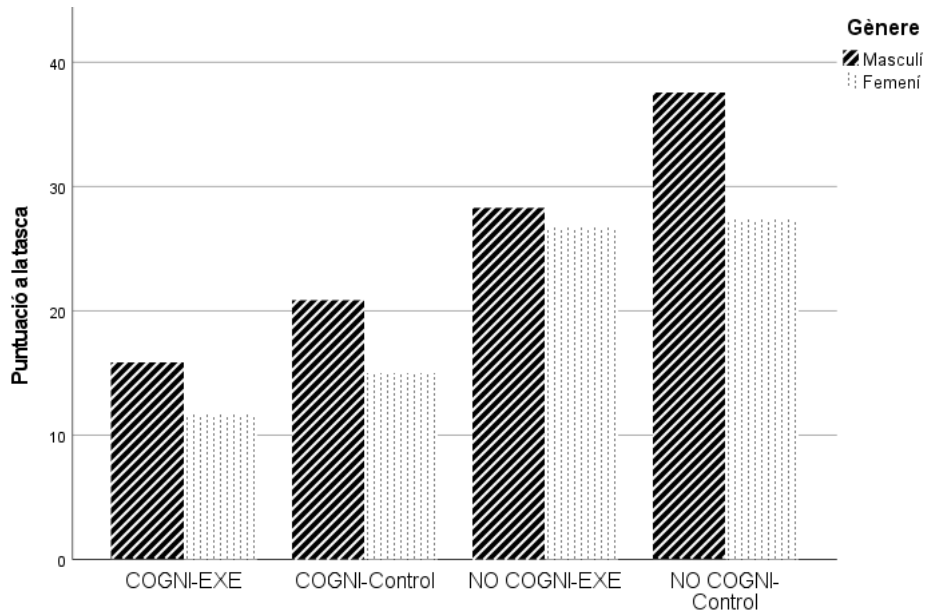
9.1 Diferències segons el gènere

Per determinar l'existència o no de diferències segons el gènere es van realitzar dos procediments: primer es va analitzar el rendiment a la prova d'adquisició i de retenció segons el gènere (a partir de la prova H de Kruskal-Wallis) i segon es va comparar l'evolució de puntuacions entre el l'adquisició i la retenció a cada grup segons el gènere (a partir de la prova de Rangs de Wilcoxon).

9.1.1 Diferències de rendiment a la tasca

Es van trobar diferències significatives de gènere en els dos grups controls en la precisió a la prova d'adquisició. Tant en el grup COGNI-Control ($p=.049$; $r=.5$) com en el grup NO COGNI-Control ($p=.004$; $r=.75$) van presentar diferències significatives en aquest entre el gènere masculí i el femení. El gènere masculí va obtenir millors puntuacions a la prova inicial en tots els grups (veure Figura 18). En canvi, no es van observar diferències significatives entre gèneres a cap grup en la retenció. Tampoc es van observar diferències significatives entre gèneres en la consistència a la prova d'adquisició ni a la prova de retenció. Els resultats es poden veure a la Taula 20.

Figura 18. Puntuació a la prova d'adquisició segons el grup i el gènere.



Taula 20. Diferències de medianes de puntuació i consistència per grup en les diferents proves segons el gènere.

Grups		Prova d'adquisició		Prova de retenció	
		Precisió	Consistència	Precisió	Consistència
COGNI-EXE	Kruskal-Wallis H	1,635	3,435	3,726	,656
	Sig. asimptòtica	,201	,064	,054	,418
COGNI-Control	Kruskal-Wallis H	3,891	,054	1,949	,335
	Sig. asimptòtica	0,49	,817	,163	,562
NO COGNI-EXE	Kruskal-Wallis H	,976	,657	,980	,054
	Sig. asimptòtica	,323	,417	,322	,817
NO COGNI-Control	Kruskal-Wallis H	8,446	,755	,166	,482
	Sig. asimptòtica	,004	,385	,684	,487

9.1.2 Diferències de consolidació motriu

Seguidament, es van comparar les puntuacions de la prova inicial i final segons el gènere per determinar si existien diferències de gènere en l'evolució entre l'adquisició i la retenció. Com es pot veure a la Taula 21, no es van trobar diferències significatives ni a la precisió ni a la consistència segons el gènere. Tot i no ser estadísticament significatives, a la delta de la precisió es detecten diferències destacables segons el gènere (com s'observa a la Figura 19):

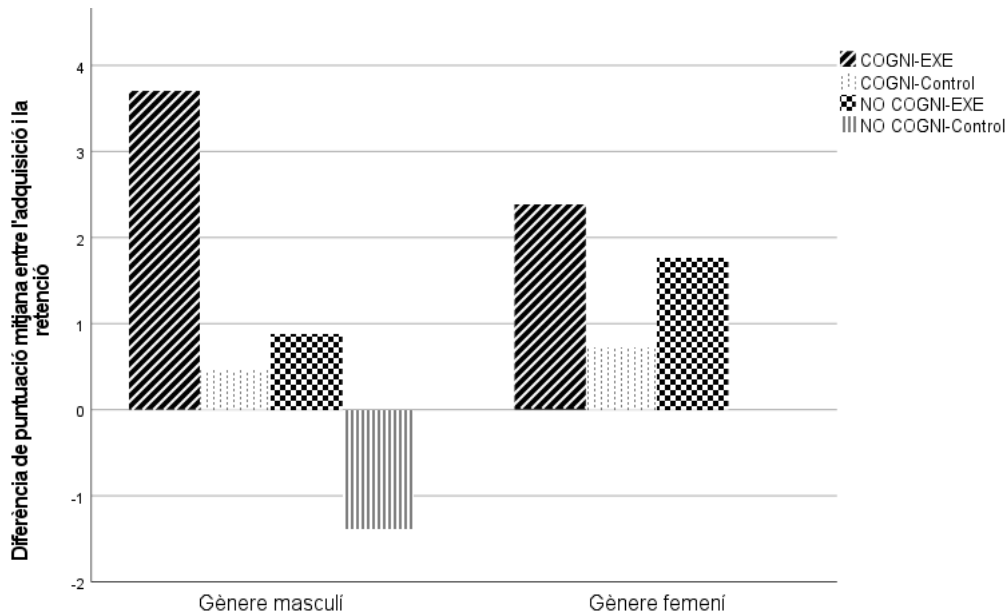
- El gènere masculí va millorar més a la retenció ($+ 3.7 \pm .95$) que el femení ($+ 2.38 \pm .74$) al grup COGNI-EXE.
- En canvi, el gènere femení va millorar més a la retenció ($+ 1.77 \pm .89$) que el masculí ($+ .88 \pm .93$) al grup NO COGNI-EXE.
- En el grup NO COGNI-Control, el gènere femení va mantenir el rendiment a la retenció ($- .008 \pm .74$) mentre que el masculí va presentar decrements ($- 1.39 \pm .96$).

Taula 21. *Diferències de precisió i consistència entre l'adquisició i la retenció. Comparació segons el gènere reportat.*

Grups		Delta precisió	Delta consistència
COGNI-EXE	Sig. Asimp. (2-tailed)	.487	.643
COGNI-Control	Sig. Asimp. (2-tailed)	.416	.563
NO COGNI-EXE	Sig. Asimp. (2-tailed)	.643	.487
NO COGNI-Control	Sig. Asimp. (2-tailed)	.082	.562

Nota. Es divideix segons el gènere reportat per cada persona al qüestionari inicial en dos subgrups (femení o masculí).

Figura 19. Diferències de la delta de precisió a cada grup segons el gènere de les persones.



9.2 Diferències segons el nivell físic

Per determinar si existien diferències de rendiment i aprenentatge entre les persones de diferent nivell d'activitat física es van dur a terme dos procediments: es van comparar les puntuacions a l'adquisició i la retenció segons el nivell d'activitat física regular (baix, moderat o elevat) i es van comparar les evolucions entre la prova d'adquisició i la de retenció segons el nivell d'activitat física regular.

9.2.1 Diferències de rendiment a la tasca

No es van trobar diferències significatives en la precisió a cap grup ni a l'adquisició ni a la retenció:

- COGNI-EXE a l'adquisició ($p= .931$) i retenció ($p= .890$)
- COGNI-Control a l'adquisició ($p= .258$) i retenció ($p=.066$)
- NO COGNI-EXE a l'adquisició ($p=.674$) i retenció ($p=.125$)
- NO COGNI-Control a l'adquisició ($p=.885$) i retenció ($p=.187$).

Pel que fa a la consistència tampoc es van trobar diferències significatives segons el nivell d'activitat física ni a l'adquisició ni a la retenció:

- COGNI-EXE a l'adquisició ($p=.970$) i retenció ($p=.920$)
- COGNI-Control a l'adquisició ($p=.071$) i retenció ($p=.683$)
- NO COGNI-EXE a l'adquisició ($p=.498$) i retenció ($p=.397$)
- NO COGNI-Control a l'adquisició ($p=.998$) i retenció ($p=.677$).

9.2.2 Diferències de consolidació motriu

En la comparativa dels canvis entre l'adquisició i la retenció no es van trobar diferències segons el nivell físic a cap grup ni a la precisió ni a la consistència (veure Taula 22). Tot i no ser estadísticament significatives, a la Figura 20 s'observen dos resultats destacables en relació a la precisió:

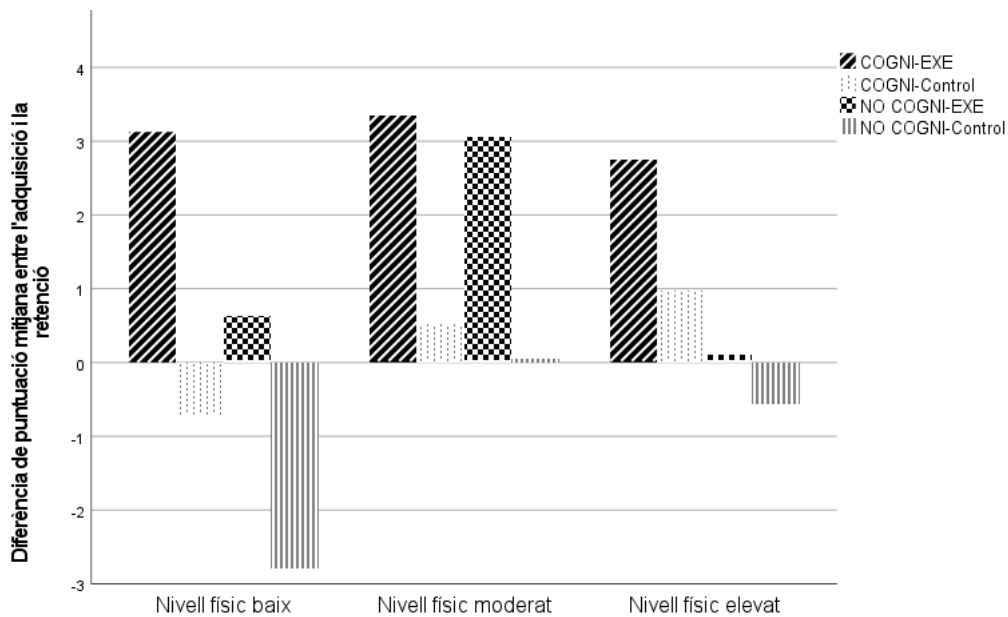
- Al grup NO COGNI-EXE les persones de nivell físic baix van ser les menys afectades per una sessió d'exercici.
- Al grup NO COGNI-Control les persones de nivell físic baix van ser les que més van empitjorar la puntuació als 7 dies.

Taula 22. Diferències de precisió i consistència entre l'adquisició i la retenció. Comparació segons el nivell físic reportat.

Grups		Delta precisió	Delta consistència
COGNI-EXE	Sig. Asimp. (2-tailed)	.950	.846
COGNI-Control	Sig. Asimp. (2-tailed)	.138	.125
NO COGNI-EXE	Sig. Asimp. (2-tailed)	.051	.062
NO COGNI-Control	Sig. Asimp. (2-tailed)	.344	.943

Nota. Es divideix segons el nivell físic reportat per cada persona al qüestionari IPAQ en tres subgrups (baix, moderat o elevat).

Figura 20. Diferències de delta de precisió a cada grup segons el nivell físic reportat.



9.3 Diferències segons l'IMC

Per determinar si existien diferències de rendiment i aprenentatge entre les persones de diferent índex de massa corporal es van dur a terme dos procediments: comparar les puntuacions a la prova d'adquisició i de retenció segons l'índex de massa corporal de les persones i comparar les evolucions entre l'adquisició i retenció segons l'índex de massa corporal de les persones.

9.3.1 Diferències de rendiment a la tasca

No es van trobar diferències significatives en la precisió en cap grup segons l'IMC ni a l'adquisició ni a la retenció:

- COGNI-EXE a l'adquisició ($p=.150$) i retenció ($p=.109$)
- COGNI-Control a l'adquisició ($p=.942$) i retenció ($p=.885$)
- NO COGNI-EXE a l'adquisició ($p=.937$) i retenció ($p=.134$)
- NO COGNI-Control a l'adquisició ($p=1.000$) i retenció ($p=.733$).

Pel que fa a la consistència tampoc es van trobar diferències significatives segons l'IMC ni a l'adquisició ni a la retenció:

- COGNI-EXE a l'adquisició ($p=.844$) i retenció ($p=.195$)
- COGNI-Control a l'adquisició ($p=.386$) i retenció ($p=1.000$)
- NO COGNI-EXE a l'adquisició ($p=.119$) i retenció ($p=.486$)
- NO COGNI-Control a l'adquisició ($p=.610$) i retenció ($p=1.000$).

9.3.2 Diferències de consolidació motriu

En l'anàlisi de les evolucions entre la prova d'adquisició i la de retenció es va comparar la delta de cada grup segons l'IMC de les persones. No es van trobar diferències significatives en la delta segons l'IMC a cap grup:

- Al grup COGNI-EXE ni a la precisió ($p= .251$) ni a la consistència ($p= .186$)
- Al grup COGNI-Control ni a la precisió ($p= .249$) ni a la consistència ($p= .547$)
- Al grup NO COGNI-EXE ni a la precisió ($p= .227$) ni a la consistència ($p= .423$)
- Al grup NO COGNI-Control ni a la precisió ($p= .507$) ni a la consistència ($p= .379$)

9.4 Diferències segons la pràctica d'AF

Per tal d'analitzar la possible influència de la pràctica esportiva de les persones sobre el rendiment i la consolidació de l'aprenentatge motor es van replicar les proves anteriors separant a cada grup segons l'esport que realitzava cada persona. Cal concretar que aquest anàlisi es centra en la incidència de les característiques qualitatives de l'AF realitzada (els moviments i les habilitats requerides en el context de pràctica) i no tant en les quantitatives (la intensitat i durada de l'activitat), que ja s'ha determinat prèviament en l'anàlisi segons el nivell físic reportat. Per facilitar l'anàlisi es van agrupar tres grans blocs de pràctica: els esports col·lectius (Futbol ($n=11$); Bàsquet ($n=5$); Handbol ($n= 2$) i Rugbi ($n=1$)), el gimnàs (les persones que feien exercicis anaeròbics simples) i cap activitat (les persones que no realitzaven cap activitat reglada).

9.4.1 Diferències de rendiment a la tasca

A cap grup experimental es van trobar diferències en l'adquisició ni la retenció segons la pràctica esportiva de la persona:

- COGNI-EXE ni a l'adquisició ($p= .705$) ni a la retenció ($p= .296$).
- COGNI-Control ni a l'adquisició ($p= .309$) ni a la retenció ($p= .176$).
- NO COGNI-EXE ni a l'adquisició ($p= .709$) ni a la retenció ($p= .152$).
- NO COGNI-Control ni a l'adquisició ($p= .573$) ni a la retenció ($p= .395$).

Pel que fa a la consistència, al grup NO COGNI-EXE es van trobar diferències significatives a l'adquisició ($p = .037$). En aquest grup, les persones que no realitzaven cap activitat reglada van obtenir millors valors de consistència (.86) que els grups d'esports (.98) o de gimnàs (1.04), tot i tenir valors de puntuació mitjana similars ($6.56 \pm .59$; 6.5 ± 1.04 ; $7.37 \pm .64$; respectivament). A la resta de grups no es van trobar diferències significatives segons la pràctica esportiva de la persona:

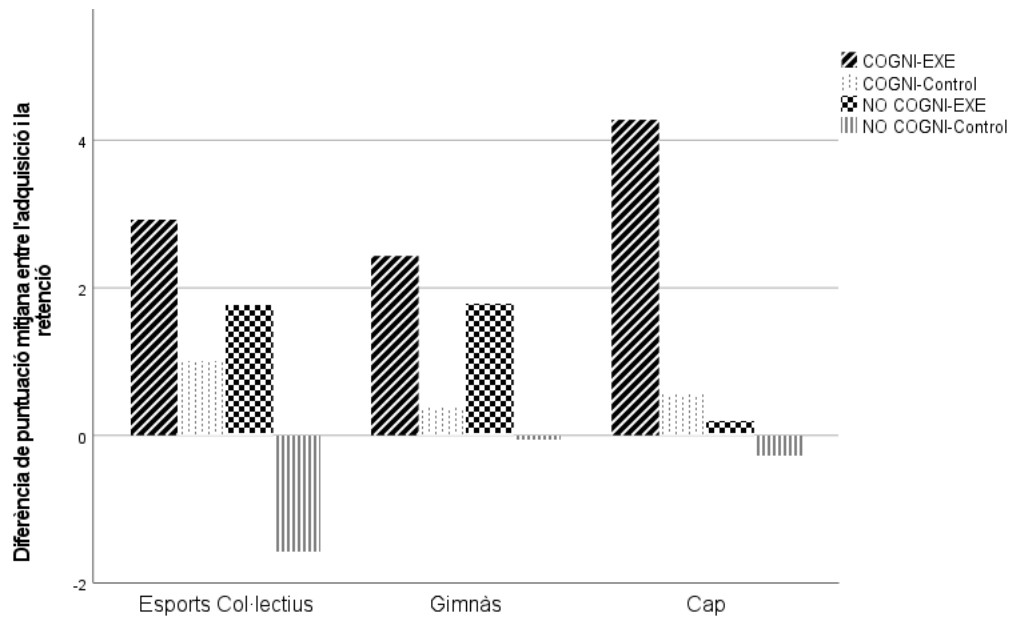
- COGNI-EXE ni a l'adquisició ($p = .062$) ni a la retenció ($p = .967$).
- COGNI-Control ni a l'adquisició ($p = .063$) ni a la retenció ($p = .186$).
- NO COGNI-Control ni a l'adquisició ($p = .939$) ni a la retenció ($p = .530$).

9.4.2 Diferències de consolidació motriu

En aquest apartat es va analitzar la influència de la pràctica esportiva individual en els canvis entre l'adquisició i la retenció (delta) a cada grup. No es van trobar diferències en la delta a cap grup segons la pràctica esportiva ni a la consistència ni a la precisió (COGNI-EXE ($p = .430$; $p = .598$); COGNI-Control ($p = .104$; $p = .985$); NO COGNI-EXE ($p = .193$; $p = .498$); NO COGNI-Control ($p = .640$; $p = .629$)). A la Figura 21 s'observen algunes diferències de precisió destacables, tot i que no estadísticament significatives:

- En el grup COGNI-EXE les persones que no realitzen cap activitat reglada es van veure més beneficiades per l'EXE.
- En el grup NO COGNI-EXE les persones que no realitzen cap activitat reglada són les que menys es van beneficiar de l'EXE
- En el grup NO COGNI-Control les persones que practiquen esports col·lectius són les que van empitjorar més el seu rendiment als 7 dies.









Figura 21. Diferències de delta de precisió entre grups segons la tipologia d'AF regular reportada.






Capítol 10: Síntesi dels resultats principals

A la Taula 23 es recullen i sintetitzen els principals resultats de la present investigació

Taula 23. *Síntesi dels resultats principals de l'estudi*

Canvis entre l'adquisició i la retenció	
	Els grups que van millorar la precisió de forma estadísticament significativa passat 7 dies de la tasca inicial van ser els que van realitzar una sessió d'exercici posterior l'adquisició (COGNI-EXE i NO COGNI-EXE).
	En canvi, la precisió en la tasca motriu no va millorar de forma estadísticament significativa en el grup COGNI-Control i va empitjorar en el grup NO COGNI-Control.
	El grup que més va millorar la precisió passat 7 dies de la intervenció va ser el COGNI-EXE. També va ser el grup que més persones van millorar la precisió entre l'adquisició i la retenció.
	Quan es van comparar els canvis entre l'adquisició i la retenció de precisió, els grups EXE van mostrar millores als 7 dies que van a arribar a ser estadísticament significatives en la comparació amb el seu grup control
	El grup que va realitzar exercici i la tasca de menor requeriment cognitiu (NO COGNI-EXE) va ser l'únic que va millorar de forma significativa la precisió i la consistència als 7 dies.
	Els dos grups COGNI van presentar decrements en la consistència als 7 dies, tot i que van existir diferències significatives entre el grup COGNI-EXE i el COGNI-Control. Concretament, el grup COGNI-Control va empitjorar més la consistència.
Diferències segons la tasca motriu	
	Es van detectar diferències significatives en la precisió a la tasca inicial. Els grups que realitzaven la tasca motriu de menor requeriment cognitiu (NO COGNI-EXE i NO COGNI-Control) van obtenir majors puntuacions.
	També es van observar diferències en el procés de consolidació segons el tipus de tasca motriu. La tasca de major requeriment cognitiu presentava majors beneficis de precisió en la consolidació en comparació a la tasca de menor requeriment cognitiu.

 	<p>La consistència de les puntuacions va empitjorar a la retenció en els grups que realitzaven la tasca motriu de major requeriment cognitiu (COGNI-EXE i COGNI-Control) al obtenir-se majors puntuacions, arribant a la significativitat estadística al grup COGNI-Control. En canvi, la consistència va millorar de forma significativa en el grup que realitzava la tasca motriu de menor requeriment cognitiu i exercici (NO COGNI-EXE). La consistència també va ser millor passat 7 dies al grup NO COGNI-Control, però no de forma significativa i a conseqüència del decrement de les puntuacions als 7 dies.</p>
<p>Diferències segons les característiques de les persones</p>	
	<p>En els grups COGNI-Control i NO COGNI-Control es van observar diferències a la tasca inicial segons el gènere, ja que el masculí va obtenir majors puntuacions.</p>

Capítol 11: Discussió dels resultats

En la present investigació s'ha examinat la influència d'una sessió d'exercici sobre la consolidació de dues memòries motrius amb el mateix requeriment motriu, però que es realitzaven en condicions de pràctica de diferent demanda cognitiva. Una de les hipòtesis que es plantejava era que l'exercici incidiria de forma positiva en la consolidació a llarg termini de l'aprenentatge motor. Els resultats principals suggereixen l'acceptació de l'anterior hipòtesi, ja que el rendiment una setmana després va ser millor per a les dues variables (precisió i consistència) en els grups que van realitzar l'exercici. Pel que fa a la precisió, ambdós grups que van realitzar exercici van millorar de forma significativa la precisió a la tasca 7 dies després, mentre que els grups control no es va produir una millora significativa en la consolidació de la tasca EF i, fins i tot, es va destacar un decaïment en la memòria motriu de la tasca NEF a la setmana següent. Pel que fa a la consistència, les diferències també van ser a favor dels grups exercici. El grup NO COGNI-EXE va millorar la consistència de forma significativa i el grup COGNI-EXE tot i empitjorar, no ho va fer de forma significativa com el seu grup control. El fet que les dues variables es vegin afectades positivament per l'exercici indica no només un rendiment superior a la tasca produït per l'exercici sinó també una major regularitat en aquest rendiment elevat.

Aquests resultats confirmen la hipòtesi prèvia que plantejava que la incidència de l'exercici seria superior en la consolidació de la tasca de major requeriment cognitiu. Per aquest motiu, podem suggerir que l'exercici és una eina útil per millorar processos d'aprenentatge motor on s'exigeix el control cognitiu per executar l'habilitat motriu. Aquest estudi és, fins a la data, el primer que compara els efectes d'una sessió d'exercici sobre dues memòries motrius diferents. Per tal d'augmentar l'aplicabilitat i transferència d'aquestes intervencions en contextos habituals, es destaca la necessitat de contemplar la dimensió cognitiva de les tasques motrius, que es troba tant de forma implícita en l'execució de les habilitats motrius específiques a la majoria d'esports, com derivada de les demandes del context de pràctica esportiva requereixen flexibilitat cognitiva, treball amb informacions diverses i capacitat d'inhibir respostes errònies, entre altres processos (Krenn et al., 2018).

A continuació, per facilitar el seguiment i organització de la tesi s'estructurarà el capítol 11 per discutir els resultats en funció dels objectius d'investigació plantejats.

11.1 Objectiu a) Determinar la influència d'una sessió d'exercici sobre la consolidació a llarg termini de l'habilitat motriu del colpeig de putt

Els resultats obtinguts en aquesta tesi s'afegeixen a les evidències preexistents al camp que demostren una incidència positiva de l'exercici agut sobre la consolidació dels aprenentatges motors. Com es recull a les principals revisions sistemàtiques realitzades, la majoria d'estudis han demostrat millores significatives sobre la consolidació motriu provocades per una sessió d'exercici (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022; Roig-Hierro et al., 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020). Pel fet que l'evolució d'un aprenentatge motor des que s'adquireix fins que es torna a utilitzar un cop consolidat, requereix un seguit de processos neuronals diferenciats i que involucren diferents àrees del cervell (Abel et al., 1997), es suggereix que l'exercici puntual beneficia específicament els processos intracel·lulars que es produeixen després de l'adquisició de l'aprenentatge (Lehmann et al., 2022; Thomas, Johnsen, et al., 2016). La concreció d'aquests beneficis es materialitza en els guanys *offline* i en el rendiment superior durant la retenció una setmana posterior i és possible que no s'observi en els tests més propers a l'aprenentatge (per exemple, una hora després) (Roig et al., 2012).

De manera similar als resultats obtinguts a Bonuzzi et al. (2020), la precisió va millorar de forma significativa a llarg termini en els grups que van realitzar exercici, mentre que no ho va fer als grups control. Quan es van comparar les millores entre els grups d'exercici i el seu control, van arribar a ser estadísticament significatives essent les puntuacions superiors en els grups d'exercici. A diferència dels resultats obtinguts a l'estudi de Bonuzzi et al. (2020), es troben diferències significatives en la consistència a favor dels dos grups que van fer exercici. Tot i que els grups COGNI van empitjorar per un augment de les puntuacions i les dispersions entre elles, les diferències entre el grup COGNI-EXE i COGNI-Control van ser significatives a favor del grup exercici. Més endavant (objectiu b)) es discutiran les diferències observades entre els grups que van fer exercici.

Aquests resultats semblen indicar que una sessió d'exercici pot potenciar el rendiment motor a llarg termini (com s'ha demostrat a partir de la precisió) així com la regularitat del rendiment (com s'ha demostrat a partir de la consistència). Per tal d'operativitzar la discussió, a partir d'aquí no es parlarà d'un efecte sobre la precisió o la consistència, sinó que es consideraran totes dues variables de forma conjunta.

Tot i que prenem com a referència els resultats publicats per diversos estudis que reporten beneficis sobre la consolidació motriu, el marc metodològic emprat en el disseny de les intervencions recollides ha estat variat (Roig-Hierro et al., 2022), motiu pel qual caldrà discutir en els propers apartats l'eficàcia dels paràmetres i decisions metodològiques preses en aquesta tesi:

- A l'objectiu a) es discutiran tots els paràmetres vinculats amb l'exercici que poden haver influenciat els efectes sobre la consolidació.
- A l'objectiu b) i c) es discutiran les característiques de les tasques i el seu paper moderador sobre els efectes de l'exercici.

Per fer-ho, es recorrent a dues fonts d'argumentació que s'interrelacionaran: la coherència amb els resultats obtinguts a la resta d'estudis i la fonamentació teòrica basada en els canvis que es produeixen al cervell a partir de l'exercici.

11.1.1 Sobre la intensitat de l'exercici físic

Es planteja la possibilitat que la intensitat de l'exercici determini, no només la magnitud del benefici sobre la consolidació sinó també el procés de la memòria que es veu beneficiat (Moriarty et al., 2022).

- El procés de la memòria motriu afectat:

L'impacte sobre el procés de la memòria pot variar des de l'adquisició, la consolidació propera o la consolidació a llarg termini. Mentre que l'exercici d'alta intensitat pot incidir en major grau en els processos de consolidació a llarg termini (Thomas, Johnsen, et al., 2016) i provocar millores en el rendiment dies després de la pràctica -com ha succeït en aquesta tesi-, l'exercici d'intensitat moderada pot potenciar els processos d'adquisició i consolidació propera de la memòria motriu (Perini et al., 2016; Statton et al., 2015). Els beneficis de l'exercici moderat es podrien mantenir fins hores després de la pràctica (Jo et al., 2019), però no es concretarien en les proves de retenció més allunyades (Thomas, Johnsen, et al., 2016). Per exemple, a Snow et al. (2016) el grup que realitzava l'exercici d'intensitat moderada va millorar el rendiment al test immediat després de la tasca, però no va presentar diferències amb el grup control quan es va tornar a avaluar un dia després. Per aquest motiu, és possible que la utilització d'exercici moderat en aquesta tesi no hagués estat efectiva per provocar les millores observades al cap de 7 dies.

➤ La magnitud de l'efecte

La magnitud de l'efecte fa referència al grau de benefici que provoca l'exercici agut sobre la consolidació i es determina a partir de la comparació d'estudis que empren exercici de diferents intensitats. En aquest sentit, diversos estudis van comparar intervencions d'intensitat elevada, moderada o baixa, trobant que els beneficis a llarg termini eren superiors en els grups que realitzaven activitat intensa (Marin et al., 2020; Swarbrick et al., 2020; Thomas, Johnsen, et al., 2016). L'exercici agut d'alta intensitat també incideix sobre el control cognitiu requerit a la tasca Stroop (Khandekar et al., 2022; Kujach et al., 2018), essent major la magnitud del benefici en aquesta tasca a major intensitat durant l'exercici (Tsukamoto et al., 2016). A més, segons els darrers autors, la intensitat pot incrementar el manteniment dels beneficis a llarg termini. Tot i que en les darreres investigacions només es va analitzar fins a 30 minuts després de l'exercici, els resultats de les darreres investigacions es podrien alienar amb la millora observada al grup COGNI-EXE que executava la tasca motriu sota l'efecte Stroop.

Una de les explicacions del perquè la intensitat de l'exercici pot determinar la magnitud dels beneficis obtinguts, es relaciona amb un major alliberament de quantitat de BDNF (Helm et al., 2017; Winter et al., 2007), neurotransmissors (norepinefrina, epinefrina i dopamina) (Loprinzi, 2019) i lactat en sang (Tsukamoto et al., 2017). La presència més gran de BDNF i de lactat en sang s'ha correlacionat amb una millora de la consolidació motriu a llarg termini (Skriver et al., 2014). Donat que en aquesta tesi es va realitzar l'exercici a intensitat elevada (80% de la FC màx.) i es destaquen efectes positius sobre la memòria motriu, és possible que els beneficis es deguin, entre altres factors, a l'augment de les substàncies neuroquímiques abans esmentats.

Més enllà dels canvis a nivell molecular que el sistema aprofita per a la consolidació, la intensitat elevada es pot associar amb canvis funcionals que també actuen com a mediadors dels efectes (Pesce, 2012). El flux de sang que arriba al cervell pot veure's condicionat per la intensitat (Guiney et al., 2015), per la qual cosa es pot satisfer millor la demanda d'oxigen i de glucosa que implica la resolució de la tasca motriu (Park et al., 2021). Addicionalment, en una revisió sistemàtica de Mellow et al. (2020) les autores van concloure que l'exercici va induir a una major neuroplasticitat en la regió M1, especialment quan l'activitat es realitzava a major intensitat. Tenint en compte els canvis funcionals que es produeixen en l'àrea M1, clau per a l'execució de les habilitats motrius (Moriarty et al., 2022), a diversos estudis s'ha correlacionat l'increment de l'excitabilitat cortical a M1 generada per una sessió intensa amb les millores en els processos d'aprenentatge (Hendy et al., 2022) i consolidació motriu (Mang, Brown, et al., 2016; Ostadan et

al., 2016). Aquests canvis semblen especialment importants quan es tracta de l'adquisició d'habilitats motrius complexes (Moriarty et al., 2022), com ha estat el cas d'aquesta tesi.

Addicionalment, l'exercici d'alta intensitat ha demostrat incrementar l'activació de regions prefrontals —com la DLPFC— que podrien ser claus per al control cognitiu durant la prova Stroop (Khandekar et al., 2022; Kujach et al., 2018). És possible que el grup COGNI-EXE s'hagi beneficiat, més enllà dels mecanismes anteriors, d'aquesta superior activació a la DLPFC, el que explicaria el rendiment més gran del grup 7 dies després en comparació a la resta (la comparació entre grups es desenvoluparà a l'objectiu b)).

RESUM DE L'APARTAT

Els efectes de l'exercici agut sobre la consolidació motriu destacats en aquesta tesi es poden deure al paper de la intensitat de l'exercici. La intensitat elevada hauria incrementat els recursos disponibles (neurotransmissors, lactat, BDNF, etc.) per la consolidació neuronal. Addicionalment, els efectes es podrien deure a una major neuroplasticitat de la M1 després de l'exercici intens. I els majors beneficis observats al grup COGNI-EXE es podrien relacionar amb la superior activació de regions del cervell vinculades amb la resolució de la tasca Stroop (DLPFC).

11.1.2 Sobre la temporalitat de l'exercici físic

Les investigacions que destaquen efectes positius de l'exercici moderat sobre la consolidació a llarg termini suggereixen que la intensitat no és l'únic paràmetre de l'exercici a considerar (Hübner et al., 2018; Neva et al., 2019; Tomporowski & Pendleton, 2018; Wanner, Müller, Cristini, Pfeifer, & Steib, 2020). Un altre paràmetre que hem tingut en compte és la temporalitat de l'exercici en relació amb la tasca d'aprenentatge, on es destaquen dos elements clau: la distància i la ubicació temporal.

La distància temporal entre la sessió d'exercici i la tasca motriu pot condicionar els beneficis que es generen sobre la consolidació (Rhee et al., 2016). En el nostre cas, una sessió d'exercici intens per intervals immediatament posterior a la tasca motriu (5 minuts de diferència) ha estat eficaç per potenciar la consolidació motriu a llarg termini de l'habilitat motriu. Aquesta decisió metodològica es fonamenta amb les investigacions que han comparat diferents temporalitats entre

l'exercici i l'aprenentatge motor i que proposen l'existència d'una finestra temporal on els beneficis es poden aprofitar per a la consolidació (Rhee et al., 2016). Aquesta finestra no hauria de ser superior a les dues hores de latència (Thomas, Beck, et al., 2016), ja que els efectes generats per l'exercici a nivell funcional i molecular són transitoris i s'esvaeixen passades les hores (Wanner, Cheng, et al., 2020).

La temporalitat on s'ubica l'exercici en relació amb la tasca motriu és un altre moderador a tenir en compte (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022). Segons Roig et al. (2012) i Wanner, Cheng, et al. (2020) l'exercici abans de la tasca motriu pot facilitar els processos de codificació i consolidació propera, ja que el sistema disposa de major quantitat de neurotransmissors, lactat i BDNF que s'aprofiten mentre s'adquireix l'aprenentatge inicial. Addicionalment, aquests autors suggereixen que l'exercici després de la tasca motriu pot provocar els canvis moleculars i funcionals que el sistema aprofita durant els processos de consolidació de la tasca adquirida prèviament a l'exercici.

Per comprovar aquesta hipòtesi, es destaquen quatre estudis que van comparar els efectes de situar la sessió d'exercici abans o després de l'aprenentatge motor (Roig-Hierro et al., 2022):

- A Ferrer-Uris et al. (2017) no es van trobar diferències segons la temporalitat en la retenció d'un aprenentatge a una tasca de seguiment i rotació visomotriu.
- A dues investigacions es van trobar diferències en la retenció a llarg termini a favor del grup que realitzava la sessió d'exercici després de l'aprenentatge motor de seguiment visomotriu (Roig et al., 2012; Tomporowski & Pendleton, 2018).
- Contràriament, a dues investigacions es van trobar diferències en la retenció a favor dels grups que van realitzar l'exercici previ a l'aprenentatge de seguiment i rotació visomotriu (Ferrer-Uris et al., 2018) o d'abducció balística del dit polze (Lauber et al., 2017).

Tot i que els estudis que comparen directament la temporalitat de l'exercici no presenten resultats concordants, a la revisió sistemàtica de Roig-Hierro et al. (2022), es destaca que el 75% d'estudis que utilitzen intensitat elevada posterior a la tasca d'aprenentatge motor troben millores significatives en les següents 24 hores o 7 dies. Aquests resultats s'alinearíen amb els presentats en aquesta tesi, on la sessió posterior a l'aprenentatge ha estat eficaç per potenciar la seva consolidació. Arribats a aquest punt, cal combinar dues variables com són la intensitat i la temporalitat de l'exercici:

- Tot i que es destaquen diferents afectacions, l'exercici d'intensitat elevada pot ser eficaç tant si se situa prèviament com posteriorment (Roig et al., 2012).

- En canvi, segons Thomas, Johnsen, et al. (2016), l'exercici d'intensitat moderada produeix beneficis en la fase d'adquisició de l'habilitat motriu quan l'aprenentatge d'aquesta s'ubica abans de la tasca. Aquesta hipòtesi es confirma per estudis que realitzen exercici d'intensitat moderada de manera prèvia a l'aprenentatge i obtenen resultats positius en l'adquisició (Perini et al., 2016; Snow et al., 2016) o en un període proper a la pràctica (Jo et al., 2019).

En un estudi realitzat per Moriarty et al. (2022) les persones que van realitzar exercici d'intensitat moderada abans de la tasca van millorar l'adquisició d'una melodia practicada al piano, mentre que les que van realitzar l'exercici d'intensitat elevada no ho van fer. De fet, les autores van destacar la correlació entre una major freqüència cardíaca mitjana durant l'exercici i un pitjor rendiment en el test d'adquisició. És possible que la fatiga produïda per l'exercici d'alta intensitat que es du a terme de manera prèvia a una tasca motriu emmascari els efectes sobre la fase d'adquisició de l'aprenentatge (Mang, Snow, et al., 2016; Moriarty et al., 2022). Per aquest motiu, en el present estudi, on s'ha emprat exercici intens, no s'ha utilitzat una prova de retenció a curt termini (hores posteriors a l'aprenentatge).

Tot i això, quan s'analitzen els efectes de l'exercici d'intensitat moderada a llarg termini s'observen menors o nuls beneficis sobre la consolidació, tant si l'exercici és previ (Snow et al., 2016) com posterior a la tasca (Marin et al., 2020; Swarbrick et al., 2020; Thomas, Johnsen, et al., 2016). Per això, els resultats obtinguts en aquesta tesi, on la sessió d'exercici intens, que va ser posterior a la tasca motriu, va provocar millores en la consolidació 7 dies després, suporten la hipòtesi de l'afectació dependent a la temporalitat i a la intensitat (Thomas, Johnsen, et al., 2016; Wanner, Cheng, et al., 2020). Tenint present els resultats de Roig-Hierro et al. (2022) respecte a l'eficàcia de la temporalitat posterior conjuntament amb la intensitat elevada, es suggereix considerar ambdós moderadors com una sola dimensió a l'hora de dissenyar les intervencions.

Tot i no haver-se registrat específicament el rendiment cognitiu a la tasca Stroop, les mesures emprades a la present investigació es dirigien a determinar el rendiment tant motriu com cognitiu de forma integrada a la tasca. Concretament, per obtenir millors resultats, els grups COGNI havien de presentar un rendiment motor (l'execució coordinada de moviments) i cognitiu (la resolució de l'efecte Stroop) elevat. És a dir, la tasca EF no es podia resoldre sense el bon rendiment de l'aspecte motriu i cognitiu i una eficient interacció entre ambdós. Pel fet que els resultats al grup COGNI-EXE van ser superiors als 7 dies en comparació al grup control i que es va utilitzar una temporalitat poc utilitzada fins al moment a l'àmbit de l'exercici agut i les FE (posterior a la tasca d'aprenentatge o test), es pot suggerir que els resultats aporten una evidència nova respecte a

l'efecte de l'exercici agut sobre el control cognitiu contextualitzat a una tasca motriu i, específicament, sobre el manteniment dels beneficis sobre el control cognitiu a llarg termini.

RESUM DE L'APARTAT

El fet de realitzar l'exercici físic amb 5 minuts de diferència amb la tasca d'aprenentatge hauria estat un factor clau, ja que els beneficis de l'exercici son transitoris i s'esvaeixen passades les hores de la intervenció. Addicionalment, la ubicació de l'exercici després de l'aprenentatge pot haver influenciat el procés de la memòria que s'impacta. Això podria explicar els beneficis en el rendiment motor destacats fins a una setmana després de l'aprenentatge inicial. Tot i que els resultats s'alineen amb la recerca prèvia, el fet que el grup COGNI-EXE hagi millorat fins a una setmana després amb l'exercici posterior obre una nova perspectiva en l'àmbit d'estudi de l'exercici i el control cognitiu aplicat a una tasca.

11.1.3 Sobre la tipologia d'exercici físic agut

Dos moderadors destacats en la literatura i que hem considerat, han estat la tipologia d'exercici simple (Lundbye-Jensen et al., 2017; Thomas et al., 2017) per intervals de diferents intensitats (Roig et al., 2012). La majoria d'intervencions puntuals que s'han realitzat han seguit una tipologia d'exercici simple i, concretament, de ciclisme estàtic (72.97%) o cursa (16.21%) (Roig-Hierro et al., 2022). D'aquestes tipologies d'intervenció es destaca l'alta eficàcia per provocar millores en els processos de consolidació en comparació als grups control: mentre el 66.7% d'intervencions que van utilitzar ciclisme estàtic van presentar resultats superiors en el test després de 24 hores només en el grup experimental, el 80% d'intervencions que van utilitzar cursa van presentar resultats superiors en el test posterior de 24 hores en el grup experimental (Roig-Hierro et al., 2022). Pel que fa a les investigacions de l'àmbit de l'exercici agut i les FE, es destaca també la major utilització d'exercici simple —com el ciclisme— i la seva eficàcia sobre la tasca Stroop (Khandekar et al., 2022; Kujach et al., 2018; Tsukamoto et al., 2016, 2017).

Els nostres resultats van en aquesta mateixa línia i suggereixen que l'exercici simple pot ser eficaç per potenciar la consolidació dels aprenentatges motors, fins i tot quan l'aprenentatge motor desafia el control cognitiu. Tot i això, entre els anys 2017 i 2018 es van generar un seguit d'investigacions que analitzaven els efectes d'altres tipologies d'exercici. Això es deu a que les

característiques qualitatives, com el moviment implicat durant l'exercici o les habilitats cognitives implicades en la resolució de l'exercici, podrien promoure una major plasticitat a les regions del cervell involucrades (Dayan & Cohen, 2011; Pesce, 2012) i, en conseqüència, incidir sobre els processos d'aprenentatge motor posteriors així com en el rendiment de les funcions executives.

Concretament, es destaca una investigació que analitzava el paper de la demanda cognitiva de l'exercici sobre la millora del rendiment de les FE (Hung et al., 2018) i tres investigacions que van analitzar específicament els efectes de la tipologia de l'exercici puntual sobre la consolidació motriu des de dues perspectives diferents: segons la demanda coordinativa de l'exercici (Tomprowski & Pendleton, 2018) i segons la demanda cognitiva de l'exercici (Lundbye-Jensen et al., 2017; Thomas et al., 2017).

A la investigació de Tomporowski & Pendleton (2018) es van comparar els efectes de situar la sessió d'exercici moderat abans o després de l'aprenentatge motor i, alhora, de realitzar un exercici simple (balls senzills, que requerien la coordinació de pocs segments i moviments) o complex (balls de major dificultat, on es desafiava la coordinació dels segments i moviments). Els resultats van evidenciar una millora significativa a llarg termini d'una tasca de seguiment visomotor en els grups que van fer l'exercici complex. Els autors proposen que la coordinació de moviments implicats durant l'exercici és un moderador a tenir en compte.

Aquesta esdevé una nova línia d'estudi que en el futur s'haurà d'explorar. Es basa en la hipòtesi que les elevades demandes coordinatives de l'exercici emprat faciliten els processos de consolidació gràcies a l'augment de la plasticitat cerebral (Carey et al., 2005) i els canvis en la connectivitat (Lew et al., 2008) que poden provocar. Segons el model proposat per Lew et al. (2008), la realització d'exercici complex requereix l'activació de circuits prefrontals així com de circuits que involucren els ganglis basals i el còrtex premotor (BG-PMC). En canvi, la realització d'exercicis més simples, com en aquesta tesi, pot requerir només l'activació del circuit BG-PMC. Fins i tot es suggereix un requeriment d'activació diferent sobre el còrtex motor segons la demanda coordinativa de l'exercici, essent l'exercici de major complexitat el que implica en major mesura l'hemisferi esquerre del còrtex motor i redueix considerablement l'activació de l'hemisferi dret (van den Berg et al., 2011). La major activació a zones clau per l'execució i consolidació motriu, com el còrtex prefrontal o el M1, podrien explicar els beneficis obtinguts a la investigació de Tomporowski & Pendleton (2018).

D'altra banda, també es suggereix que la realització d'exercici complex influencí els processos de codificació de la memòria a partir d'incidir en els processos moleculars com la LTP i la

depressió a llarg termini (LTD) (Ziemann et al., 2004). D'aquí se'n generen dues hipòtesis que caldrà comprovar en el futur:

- En primer lloc, si l'exercici de major complexitat modifica la inducció de LTP i LTD,
- I, en cas positiu, si aquesta modificació predisposa en major mesura els processos de consolidació posteriors. Aquesta última qüestió ja s'està investigant amb animals (Sampaio et al., 2021).

Més enllà de la coordinació del moviment, una altra línia d'estudi que s'ha iniciat i que en el futur caldrà continuant investigant és la d'analitzar els efectes d'utilitzar esports com a tipologia d'exercici en tant que les demandes cognitives d'un esport poden diferir de les demandes cognitives d'una activitat simple (Krenn et al., 2018), com córrer. En les investigacions de Lundbye-Jensen et al. (2017) i Thomas et al. (2017) es va emprar l'hoquei sala i no es van trobar efectes diferenciadors segons l'exercici emprat sobre la memòria motriu. La conclusió que es pot extreure és que els efectes que genera l'exercici puntual sobre la consolidació depenen exclusivament de les conseqüències fisiològiques de fer una activitat a una intensitat determinada i no tant dels components i requeriments de la mateixa activitat. En aquesta línia, la nostra investigació afegeix evidències que la tipologia d'exercici simple és eficaç per potenciar els processos de consolidació d'una habilitat motriu.

Tot i l'anterior, a Hung et al. (2018) es va destacar un millor rendiment a la tasca cognitiva per al grup que va realitzar bàdminton i no cursa, que es va correlacionar amb nivells més elevats de BDNF. Seguint les autores anteriors, és possible que una tipologia d'exercici obert i de major complexitat hagués beneficiat més, a curt termini, al grup COGNI-EXE. Això posa en relleu la necessitat de continuar investigant els efectes segons la tipologia, més si es considera la dimensió cognitiva (el paper del control cognitiu) en el procés d'adquisició i consolidació motriu.

RESUM DE L'APARTAT

En aquesta tesi l'exercici físic simple ha estat eficaç per produir millores en la consolidació motriu a llarg termini. Tot i que els resultats s'alineen amb les recerques prèvies, noves perspectives d'investigació suggereixen considerar el paper de l'exercici complex (ja sigui per les demandes cognitives com per les coordinatives) en tant que podria facilitar l'activació a regions motrius clau com la M1, proporcionar major BDNF o, fins i tot, facilitar els processos LTP i LTD.

11.2 Objectiu b) Identificar la relació entre els requeriments cognitius de la tasca motriu d'aprenentatge i l'efecte de l'exercici agut sobre la consolidació motriu

Abans d'entrar en la discussió de l'objectiu 'b', cal aclarir la interpretació que es fa de les dues variables de l'estudi quan es comparen els efectes de l'exercici segons el grup COGNI o NO COGNI. Tenint en compte que existien diferències significatives en les puntuacions a la tasca inicial entre els grups COGNI (menors puntuacions) i els grups NO-COGNI (majors puntuacions), es va desestimar fer la comparació de les puntuacions entre grups de diferents tasques. Per aquest motiu es van comparar exclusivament les millores obtingudes, és a dir, la diferència de puntuacions entre la prova inicial i final.

Adicionalment, la consistència només es va tenir en compte vinculada i dependent directament a la diferència de les puntuacions. Donat que aquesta pot estar condicionada al fet que les puntuacions inicials o finals siguin més o menys elevades, la variable de la consistència es discuteix només per a la comparació entre grup exercici i el seu control (on no existien diferències significatives inicials), o per comparar les tasques motrius a partir dels grups control a mode descriptiu, sense inferir en un possible efecte de l'exercici. En aquest punt cal recordar que la variable consistència es va emprar al present estudi per informar de forma complementària però dependent a les puntuacions. Un exemple que ho justifica és el rendiment 7 dies després al grup COGNI-EXE, qui va empitjorar la consistència, fet que podria suggerir un efecte perjudicial de l'exercici. No obstant l'anterior, aquest empitjorament estava relacionat amb l'obtenció de majors puntuacions i d'una consistència inicial elevada per la proximitat de les puntuacions al valor 0 (indicador de rendiment baix).

Més enllà de confirmar la incidència positiva de l'exercici agut sobre la consolidació motriu, la segona hipòtesi del present treball feia referència a una possible afectació desigual sobre tasques motrius amb diferent requeriment cognitiu. D'aquesta manera, es va preveure que l'exercici afectaria més la consolidació de la tasca motriu que desafia el control cognitiu a partir de l'efecte Stroop. Els resultats suggereixen l'acceptació de la hipòtesi per a la variable de precisió, ja que el grup que més va millorar al cap de 7 dies va ser el COGNI-EXE. Les diferències entre els grups EXE pel que fa a les millores a la retenció no van ser significatives, però l'efecte va ser moderat a favor del grup COGNI-EXE. De fet, al grup COGNI-EXE van millorar el seu rendiment tres persones més (14/15) que al grup NO COGNI-EXE (11/15). Aquests resultats ens animen a

afirmar que el control cognitiu a la tasca podria jugar un paper moderador sobre els efectes de l'exercici físic en la consolidació.

Essent pocs estudis, a part del present, els que han emprat tasques complexes que impliquen moviments globals (Hung et al., 2021; Roig-Hierro et al., 2022), caldrà discutir els resultats obtinguts també a partir de la dimensió coordinativa de la tasca motriu. Tot i que en aquest cas, no es podran establir comparacions entre grups, ja que les tasques implicaven els mateixos moviments.

11.2.1 El paper moderador de la demanda coordinativa en els efectes de l'exercici físic sobre la consolidació dels aprenentatges

En un estudi recent, Loràs et al. (2020) van suggerir que a mesura que la complexitat motriu de la tasca incrementés —així com els graus de llibertat del moviment per resoldre-la i la possible variabilitat entre intents— l'efecte de l'exercici sobre la consolidació seria menor. Concretament, en les tasques més simples es disposarien de majors beneficis per als aspectes cognitius de la tasca (com el temps de reacció a l'estímul). Els autors anteriors van proposar aquesta hipòtesi a partir dels resultats del seu estudi, on l'exercici agut no va provocar millores significatives en la retenció del putt golf (tot i que no van establir cap comparació amb un grup control).

És possible que la necessitat de controlar de forma conscient els primers intents del colpeig de putt pugui generar un decrement en l'actuació pel consum de recursos (Malhotra et al., 2015) en comparació a quan la conducta es troba automatitzada (Koziol & Lutz, 2013). En conseqüència, es veurà més afectat el rendiment quan la demanda cognitiva sigui major i existeixi competició pels recursos entre les regions encarregades del control motor i el cognitiu (Jung et al., 2021).

Els resultats del nostre estudi no s'alineen amb la hipòtesi plantejada per Loràs et al. (2020) per dos motius:

- L'exercici sí que va provocar millores significatives en la consolidació a llarg termini d'una tasca basada en el putt de golf i,
- Les millores van ser superiors en el grup COGNI-EXE tot i que la demanda cognitiva va ser superior que al grup NO COGNI-EXE.

Tenint en compte que la demanda cognitiva de la tasca NEF era reduïda, que la demanda coordinativa era idèntica entre tasques i que l'exercici va incidir positivament en ambdues tasques, se suggereix que l'exercici pugui afectar sobre els components coordinatius de la tasca.

En aquest cas podria fer-ho sobre la millora d'aspectes vinculats al control de la força, de la direcció i de l'angle del moviment, així com a les correccions posturals i la relació entre diferents parts del cos per executar el colpeig. Els resultats que mostren una millora dels components coordinatius s'alineen amb els resultats destacats als estudis que han utilitzat tasques on la demanda cognitiva és reduïda, com les tasques d'abducció balística del dit polze, i on l'exercici també va potenciar la seva consolidació fins 24 hores després de la intervenció (Lauber et al., 2017; Opie & Semmler, 2019).

Tanmateix, la tasca dels estudis anteriors no presenta un requeriment coordinatiu elevat, per la qual cosa cal analitzar els resultats d'estudis que han emprat tasques amb major requeriment coordinatiu. En aquest punt ens trobem davant d'una limitació, ja que l'aprenentatge d'accions simples s'ha estudiat àmpliament en l'àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu (Roig-Hierro et al., 2022), però no recau sobre els mateixos principis que l'aprenentatge d'habilitats motrius complexes i que impliquen moviments globals del cos (Wulf & Shea, 2002). Les tasques motrius complexes requereixen una activitat prefrontal del cervell més elevada i, en conseqüència, una major varietat de processos cognitius dependents d'aquesta regió del cervell (Altermann & Gröpel, 2022). Aquesta diferenciació implica que s'observin canvis a nivell estructural i d'eficàcia de les connexions neuronals en l'aprenentatge de les tasques complexes en comparació a les simples (Carey et al., 2005; Lehmann et al., 2022). A més a més, si l'habilitat motriu és discreta, com al present estudi, pot reclamar una demanda més elevada sobre el control motor en comparació a les habilitats motrius contínues, pel fet d'haver de controlar la temporització de la transició entre l'inici i final del moviment (Huys et al., 2008).

Específicament, en el golf s'han observat diferències segons el nivell de les persones, presentant una major connectivitat funcional en àrees com el cerebel o el lòbul frontal, parietal i temporal, associant-se amb un increment en la memòria de treball (Kim et al., 2015). En aquest sentit, algunes autores proposen que l'esforç cognitiu necessari per fer front a les habilitats motrius complexes sigui essencial per generar els canvis en neuroplasticitat subjacents a l'execució motriu complexa (Carey et al., 2005; Pesce, 2012). Tot i això, els estudis que demostren canvis a nivell funcional i estructural en el cervell de persones novells que practiquen golf no associen aquests canvis a una pràctica puntual —com al present estudi—, sinó més aviat a una continuïtat de diverses sessions (Bezzola et al., 2011).

Tot i que sembla plausible suggerir que l'aprenentatge d'una tasca coordinativament complexa pugui augmentar la neuroplasticitat a partir dels canvis moleculars i funcionals comentats, cal analitzar els escassos estudis que comparen els efectes de l'aprenentatge puntual d'una tasca

motriu simple i una complexa, determinada per l'exigència coordinativa del moviment, per determinar les diferències sobre la consolidació. No obstant això, en l'àmbit de l'exercici agut i la memòria motriu, els estudis que han emprat tasques de major complexitat no han reportat resultats alineats amb la hipòtesi anterior:

- Les tasques que implicaven un moviment complex i global, com les tasques de balanceig dinàmic (Wanner, Müller, et al., 2020), de caminar per dues cintes (Charalambous et al., 2019; Helm et al., 2017), de coordinació bimanual (Singh et al., 2016) o de practicar una melodia de piano (Swarbrick et al., 2020) no es van veure influenciades a llarg termini per una sessió d'exercici. La justificació que fan els autors anteriors és que les demandes coordinatives d'aquestes tasques eren tan elevades que l'exercici no va servir per potenciar els processos de consolidació. És a dir, que els recursos extra generats per la sessió d'exercici no van ser suficients per atendre les demandes pròpies del control motor d'aquestes accions.
- Les tasques esportives presenten problemes tant a nivell perceptiu, com motriu i cognitiu (Kendall et al., 2021) que reclamen una interacció eficient entre els diferents canals de processament per resoldre la competició pels recursos limitats (Wollesen et al., 2022). En el present estudi s'ha utilitzat una tasca esportiva per tal d'augmentar la transferència dels resultats i avançar en el coneixement dels efectes de l'exercici sobre tasques més quotidianes i complexes. Més enllà de la investigació abans comentada de Loràs et al. (2020), a Bonuzzi et al. (2020), van emprar l'habilitat motriu del servei de voleibol per analitzar els efectes d'una sessió d'exercici d'intensitat moderada. Es tracta d'una habilitat discreta que exigeix un moviment global així com un elevat nivell de control motriu i de concentració (Bediz et al., 2016). Els resultats van mostrar un rendiment superior en el grup que va realitzar l'exercici un dia després de la intervenció. De manera semblant al nostre estudi, els autors van suggerir que l'exercici puntual podia incidir sobre els processos de consolidació d'habilitats motrius esportives, esdevenint una eina eficaç per als formadors esportius a l'hora d'incrementar l'aprenentatge motor de les persones.

De l'estudi de Bonuzzi et al. (2020) i del nostre, es desprèn la necessitat de tenir en compte, com a possibles moderadors de l'efecte de l'exercici sobre la memòria motriu, els següents aspectes:

- L'esforç cognitiu requerit per executar moviments complexos,
- la interrelació entre la demanda coordinativa i el control cognitiu durant l'execució de l'habilitat motriu (Gandotra et al., 2021),

- les demandes cognitives inherents a les habilitats motrius esportives de les tasques d'aprenentatge (Best, 2010; Wollesen et al., 2022),
- i les demandes cognitives explícites (o afegides) a l'execució motriu.

Com demostra la comparació dels resultats obtinguts a l'adquisició entre els grups NO COGNI (majors puntuacions) i COGNI (menors puntuacions) al nostre estudi (es desenvoluparà al següent apartat), la complexitat de la tasca motriu pot venir determinada pels factors anteriors. Les habilitats motrius esportives com el servei de voleibol emprat a Bonuzzi et al. (2020) requereixen a l'aprenent l'avaluació constant de la posició i la distància del mòbil respecte la pista, la posició del seu cos en relació amb la resta de persones, les mesures de la pista, la necessitat de mantenir l'atenció en l'objectiu prioritari, que calculin l'alçada de la xarxa, entre altres variables (Lelis-Torres et al., 2017). Un altre exemple és la tasca motriu utilitzada a la nostra recerca, on cada execució del putt exigia la consideració de moltes variables, com la força, la distància, la direcció, l'objectiu final, la posició del putt i la posició del cos, tot utilitzant diversos segments corporals de forma coordinada (Kim et al., 2015; Lorås et al., 2020).

Arribats a aquest punt, algunes autores proposen que la incidència de l'exercici sobre la consolidació d'una tasca motriu depèn de la relació entre les demandes coordinatives i les cognitives implícites a la tasca (Baird et al., 2018). La hipòtesi presentada per aquestes autores va en la línia de la plantejada per Lorås et al. (2020), ja que suggereix que es poden destinar majors recursos generats per l'exercici per als components cognitius en les tasques menys exigents a nivell coordinatiu. Aquesta hipòtesi explicaria per què les tasques que impliquen tot el cos i suposen demandes coordinatives exigents (Balanceig dinàmic, coordinació bimanual, caminar per una cinta de dos carrils o practicar una melodia al piano) no es veuen influenciades per l'exercici puntual. Quan les demandes coordinatives s'excedeixen, l'actuació cognitiva es pot veure afectada negativament i condicionar l'execució global de la tasca.

La idea anterior s'inspira en el model de la hipofrontalitat de l'activació reticular (RAH) (Dietrich & Audiffren, 2011), que proposa que els recursos limitats de que disposa el sistema es dirigeixen a zones del cervell encarregades del control motor, augmentant el flux de sang el cervell cap a àrees com el còrtex motor primari (Moriarty et al., 2022) i prioritzant aquestes zones per davant d'altres encarregades del control executiu, com ara les prefrontals (Ide & Secher, 2000). A nivell comportamental, això pot implicar un decrement en l'execució per una falta de recursos en les regions prefrontals més relacionades amb l'actuació cognitiva (Moriarty et al., 2022). No obstant l'anterior, els resultats del present estudi suggereixen que l'exercici pot ser eficaç per potenciar

la consolidació d'una tasca exigent tant a nivell coordinatiu com cognitiu, anant en contra de la hipòtesi plantejada per Baird et al. (2018) i Loràs et al. (2020).

D'altra banda, la hipòtesi de Baird et al. (2018) suggereix que les tasques amb menors demandes coordinatives (per exemple, el seguiment visomotor o la reacció en sèrie) es poden veure afectades positivament per l'exercici puntual degut a la incidència sobre els components cognitius, encara que una demanda cognitiva excessiva empitjoraria l'actuació a la tasca motriu per la prioritització del sistema per destinar els recursos disponibles al control motor (Pesce, 2012). Així, la hipòtesi planteja que:

- Si els recursos complementaris generats per l'exercici no són suficients per atendre les demandes coordinatives o cognitives de l'execució motriu, la incidència de l'exercici puntual serà residual o nul·la,
- En canvi, si les demandes coordinatives són assolibles per al sistema, l'exercici puntual pot optimitzar els recursos durant l'execució (i, possiblement a llarg termini (Tian et al., 2021)) d'una tasca motriu amb elevada demanda cognitiva (Moriarty et al., 2022), especialment quan les tasques requereixen una ràpida reacció i un processament de la informació àgil (Kendall et al., 2021).

Aquesta hipòtesi ha rebut molt poca atenció fins a l'actualitat, ja que cap estudi ha analitzat els efectes de l'exercici sobre la consolidació a llarg termini emprant tasques motrius complexes amb diferent demanda cognitiva, ni implícita ni explícita (pel fet que no s'han comparat els efectes de l'exercici sobre diferents tasques). En aquesta tesi s'ha estudiat aquesta hipòtesi, no a partir de la comparació de tasques amb diferent requeriment coordinatiu (i, en conseqüència, requeriment cognitiu implícit), sinó a partir de les condicions externes que s'han de gestionar per executar una tasca complexa i que varien la demanda sobre el control cognitiu, similar a la gestió i control de variables que es dona a la majoria de contextos de pràctica esportiva (Wollesen et al., 2022).

RESUM DE L'APARTAT

L'exercici agut ha facilitat la consolidació a llarg termini d'una tasca motriu complexa que implica diferents parts del cos. Aquests resultats són diferents de la majoria d'estudis previs que van emprar tasques d'aprenentatge de major complexitat coordinativa i moviments globals. Tot i que es possible que el mateix aprenentatge motriu complex, sense l'efecte de l'exercici, provoqui una major neuroplasticitat i afavoreixi els processos de consolidació, els resultats han estat superiors en ambdós grups que van fer exercici. A més, el grup NO COGNI-Control va empitjorar el seu rendiment als 7 dies. El fet que el grup que realitzava la tasca amb major demanda cognitiva es beneficiés més de l'exercici fa reconsiderar la hipòtesi de la disputa pels recursos entre el control motriu i cognitiu, suggerint que l'exercici podria ser una eina eficaç per potenciar l'aprenentatge motor de tasques amb elevada demanda cognitiva i coordinativa.

11.2.2 El paper moderador de la demanda cognitiva en els efectes de l'exercici sobre la consolidació

L'exercici agut va influir positivament sobre la consolidació de l'habilitat motriu independentment del requeriment cognitiu de la tasca motriu. Ambdós grups EXE van millorar de forma significativa 7 dies després de la precisió a la tasca, mentre que els grups control, o bé van millorar en menor quantitat (COGNI-Control) o bé van empitjorar (NO COGNI-Control). Quan es van comparar la magnitud de les millores de la precisió entre grup EXE i control, es van destacar diferències significatives en ambdós casos sempre a favor dels grups EXE. L'exercici també va incidir positivament sobre la consistència del rendiment a la tasca en els grups EXE, arribant a ser significatives les diferències amb els seus grups control quan es van comparar els canvis entre l'adquisició i la retenció. Tot i això, l'exercici no va incidir de la mateixa forma al grup COGNI-EXE que al grup NO COGNI-EXE, motiu pel qual en el present apartat es discutirà el paper de la demanda cognitiva explícita a la tasca (l'únic element diferenciador entre els dos grups) en els efectes de l'exercici sobre la consolidació.

En un estudi recent es va analitzar l'efecte de l'exercici agut sobre l'aprenentatge, mesurat 5 minuts després de l'exercici, d'una tasca d'inhibició motriu en funció dels estímuls canviants de la pantalla les persones havien de pitjar els pedals —màxim 4, un per extremitat— corresponents,

i una tasca d'inhibició no motriu (a partir de l'efecte Stroop clàssic) (Netz et al., 2023). Més enllà de destacar correlacions entre els efectes de l'exercici sobre la inhibició motriu i la no motriu, que justifiquen la unificació dels dos àmbits d'estudi realitzada en el present treball, els resultats de l'estudi de Netz et al. (2023) van demostrar un efecte positiu a curt termini de l'exercici sobre el temps de reacció en la selecció a la tasca motriu. Cal destacar l'impacte de l'estudi de Netz et al. (2023) en tant que demostra un efecte de l'exercici sobre una tasca motriu amb elevat requeriment sobre el control cognitiu (i, específicament, sobre el control inhibitori). És a dir, presenta uns resultats similars als obtinguts per al grup COGNI-EXE en aquesta tesi. Tot i això, els paral·lelismes amb els resultats extrets en aquesta tesi han de ser prudents per diferents motius:

- La complexitat coordinativa de la tasca es basava en l'actuació coordinada de diferents extremitats alhora. Tot i això, el moviment era simple (pitjar o no el pedal). Mentre que a la tasca del present estudi el moviment era complex, tant per les variables a controlar (com la força o direcció de l'impacte) com per la demanda postural del moviment i la variabilitat a cada intent.
- El control inhibitori es veia desafiat exclusivament a partir d'un efecte *go/no go* (pitjar o no pitjar el pedal). En canvi, a la tasca emprada en aquesta tesi, l'efecte *go/no go* era present en les condicions COGNI (cada cop que es presenta una nova ordre calia colpejar), alhora que el desafiament cognitiu augmentava en tant que calia interpretar les ordres sota l'efecte Stroop per adequar l'execució.
- Les mesures es van prendre fins a 5 minuts després de l'exercici i no una setmana com al nostre estudi.

La correlació observada entre la inhibició motriu i la cognitiva (tot i que a partir de dues tasques, la cognitiva va ser sota l'efecte Stroop) a l'estudi anterior pot explicar els efectes positius de l'exercici en el grup COGNI-EXE i la no competició pels recursos entre les demandes coordinatives (inhibició motriu i execució de l'habilitat) i cognitives (efecte Stroop).

Tant l'estudi anterior com la segona hipòtesi de la present investigació es fonamenten en els estudis que han destacat els efectes positius de l'exercici agut sobre les FE (Ishihara et al., 2021; Moreau & Chou, 2019). Addicionalment, els estudis que han emprat l'efecte Stroop han demostrat un impacte positiu de l'exercici agut d'alta intensitat sobre el control cognitiu posterior a la intervenció (Khandekar et al., 2022; Kujach et al., 2018). Aquest efecte es va correlacionar amb els canvis funcionals que va provocar l'exercici sobre regions clau per al processament cognitiu durant la tasca Stroop, com el còrtex prefrontal (Khandekar et al., 2022) i, concretament,

l'activació del còrtex prefrontal dorsolateral esquerre (Kujach et al., 2018). També es vincula als canvis moleculars que desencadenen els canvis funcionals destacats al cervell, com l'increment del BDNF i substàncies neurotransmissores disponibles per resoldre la tasca cognitiva (Hung et al., 2018; McMorris et al., 2016).

Un seguit d'estudis conduïts per investigadors del Japó van concloure que l'efecte (mesurat a partir de la tasca Stroop clàssica) era superior a majors intensitats i càrregues (major duració sense incórrer en fatiga excessiva) per mantenir els beneficis sobre el rendiment cognitiu fins a 30 minuts posteriors a l'exercici (Tsukamoto et al., 2016, 2017). Tot i que la majoria d'estudis que empen exercici puntual no analitzen l'evolució de les FE més enllà dels minuts posteriors a la intervenció (Moreau & Chou, 2019), a Basso et al. (2015) es van reportar beneficis sostinguts fins passats 120 minuts de la realització de l'exercici. Aquests beneficis produïts per l'exercici podrien disminuir progressivament a mesura que es redueix la quantitat de lactat disponible després de l'exercici (Zimmer et al., 2017).

És en aquest punt on trobem una convergència entre els dos àmbits d'estudi (el de l'exercici agut i les FE, i el de l'exercici agut i la memòria motriu) que remarca la necessitat d'ubicar l'exercici a prop de la tasca d'aprenentatge per aprofitar els efectes transitoris del primer sobre la segona (Wanner, Cheng, et al., 2020). La divergència entre ambdós àmbits de recerca se situa en l'interès de l'anàlisi a nivell temporal, ja que els estudis que emprèn tasques motrius analitzen els efectes a més llarg termini (Wanner, Cheng, et al., 2020).

En el present estudi, tot i no estudiar específicament l'evolució del control cognitiu durant la prova (ja que no es va aplicar cap test cognitiu específic), es destaca un efecte a llarg termini de l'exercici sobre una tasca motriu que recau necessàriament sobre el control cognitiu per resoldre's de forma eficaç. Això pot suggerir que l'exercici pot millorar el rendiment cognitiu a llarg termini durant l'execució motriu. D'altra banda, aquests resultats podrien suggerir l'acceptació d'una de les hipòtesis de Baird et al. (2018): l'exercici pot potenciar els aspectes cognitius de la tasca motriu més que els relacionats amb el control motor. Tot i això, els resultats del present estudi no semblen alinear-se sinó contradir la hipòtesi de Baird per diferents motius:

- Com s'ha comentat a l'apartat anterior, segons Baird et al. (2018) l'exercici indiciria positivament sobre els components cognitius de la tasca motriu quan la demanda coordinativa no fos exigent. En la tasca motriu emprada en aquesta tesi la complexitat venia determinada tant per les demandes coordinatives com cognitives, suggerint la reconsideració de la hipòtesi de la hipofrontalitat transitòria (Dietrich & Audiffren, 2011) pel que fa als efectes a llarg termini. A més, els resultats s'alineen amb la hipòtesi

plantejada per Moriarty et al. (2022), on es proposava que l'exercici d'alta intensitat provocaria increments en la retenció d'una habilitat motriu complexa, tant a nivell motriu com cognitiu.

- Quan es comparen els canvis entre l'adquisició i la retenció dels quatre grups s'observa que, mentre els dos grups COGNI milloren 7 dies després, només el NO COGNI-EXE millora a la tasca NEF. Això es pot deure, segons Baird et al. (2018), al fet que el BDNF segregat per l'exercici intens (Skriver et al., 2014) potencia principalment els processos neuronals associats amb els processos cognitius necessaris per resoldre el requeriment cognitiu més que els vinculats estrictament al control motor. Aquesta relació es podria donar en tasques on les demandes cognitives i coordinatives han de competir pels recursos, sempre que cap s'excedeixi en l'exigència cap al sistema fins al punt de ser inabordable (Tsukamoto et al., 2016). Tot i això, la interpretació que es fa del present treball difereix de l'anterior i les diferències entre COGNI i NO-COGNI es podrien explicar per diferents motius:

- Les puntuacions inicials de la tasca EF van ser inferiors que les de la tasca NEF, pel que el marge i la facilitat per millorar va ser superior en els grups que van executar la tasca EF. Tot i això, quan es comparen les millores del grup NO COGNI-EXE amb el COGNI-Control, es destaca una increment superior, tant en la precisió com en la consistència, pel grup NO COGNI-EXE. Això pot indicar que, tot i que els grups NO COGNI van tenir menys marge de millora als 7 dies, l'exercici és eficaç per potenciar l'evolució de l'aprenentatge motor independentment del rendiment inicial. També pot indicar que el fet que les puntuacions inicials fossin baixes no va influenciar tant com l'exercici en els canvis entre proves i més al tractar-se d'una habilitat motriu complexa que requereix moltes sessions per ser perfeccionada (Bezzola et al., 2011).
- Un altre motiu que es podria suggerir és que el grup NO COGNI-Control assolixi un efecte de sostre de l'aprenentatge a l'adquisició. No obstant l'anterior, es rebutja, amb prudència, l'efecte de sostre després d'una primera pràctica d'una habilitat motriu nova per a les persones —tot i que no s'ha testat específicament— en tractar-se d'una habilitat motriu complexa i de l'extensa l'evolució temporal que requereix la fase d'aprenentatge ràpid i lent en aquests tipus d'habilitats (es pot trobar una descripció detallada dels processos d'aprenentatge ràpid i lent segons l'habilitat motriu a Dayan & Cohen (2011)).
- Mentre el rendiment cognitiu podria millorar entre sessions gràcies al *mental engagement* durant la tasca motriu (Pendleton et al., 2016), motiu pel qual els dos

grups COGNI milloren, els components coordinatius de la tasca es veuen exclusivament influenciats per la sessió d'exercici. Això podria explicar per què el grup NO COGNI-Control empitjora mentre el NO COGNI-EXE millora significativament. Alhora, també podria explicar per què existeixen diferències significatives entre els grups COGNI-EXE i COGNI-Control en els canvis 7 dies després, sempre a favor del grup exercici.

Els resultats que mostren un major increment del rendiment una setmana després per al grup COGNI-EXE, corroboren la hipòtesi del present estudi que suggereix que l'exercici puntual intens pot incidir en major mesura sobre la consolidació de la tasca motriu amb elevat requeriment cognitiu. Més enllà de fer-ho sobre els components coordinatius de la tasca, no es pot descartar que la millora més pronunciada del grup COGNI-EXE en el rendiment, es pugui relacionar, també, amb una potenciació de les habilitats cognitives requerides a la tasca durant l'efecte Stroop. Aquests efectes es poden deure tant a l'increment de les substàncies neuroquímiques disponibles per al cervell (Basso et al., 2015), com el lactat (Tsukamoto et al., 2016), així com també als canvis que es provoquen en l'hemodinàmica cortical (Byun et al., 2014). A partir de l'anàlisi dels increments i decrements de concentració de l'oxihemoglobina en el còrtex prefrontal, s'ha relacionat la dosi d'exercici intens amb una major activació d'aquesta àrea del cervell implicada en el control executiu durant la tasca sota l'efecte Stroop (Kujach et al., 2018).

Com s'ha comentat anteriorment, també es genera una major excitabilitat neuronal en estructures clau per al control atencional (Waters et al., 2020) observada a partir de l'increment de l'amplitud dels components P3b (Wu et al., 2019) P2 (Zhou & Qin, 2019) o N450 (Hsieh et al., 2018), el que provoca una millora del control atencional durant la tasca cognitiva (Hsieh et al., 2018). Aquesta major activació i reclutament de recursos es pot fer més evident quan la condició Stroop és incongruent (on lletra i color no es corresponen) (Shenoy et al., 2021), com a la tasca EF del present estudi.

Arribats a aquest punt, se suggereix que l'exercici agut pugui afectar el rendiment de les tasques motrius de moviment complex i d'elevat requeriment cognitiu en major mesura gràcies a l'increment dels recursos que el cervell aprofita tant per al control cognitiu com motriu. Per aquest motiu, es proposa abordar amb una visió integral la separació tradicional (vinculada a les diferències d'activacions de les regions cerebrals (Ide & Secher, 2000)) entre els components coordinatius i cognitius de les tasques. Això encara pren més rellevància quan s'utilitzen tasques a on tant les dimensions coordinatives com les cognitives són rellevants per determinar els efectes

de l'exercici. Cal destacar que les tasques quotidianes no solen permetre la separació per components (Wollesen et al., 2022), per la interrelació entre el control cognitiu i motor a una mateixa tasca (Gandotra et al., 2021).

Per aconseguir l'anterior, els estudis hauran d'utilitzar dissenys de més d'una tasca motriu o variar les característiques d'una mateixa tasca (Pereira et al., 2013), com s'ha fet en aquesta tesi. Fins al moment, els estudis no han emprat més d'una tasca motriu al disseny, tot i que es destaquen efectes diferenciats segons les tasques motrius emprades:

- Tots els estudis que van utilitzar tasques de seguiment visomotor van presentar beneficis en la consolidació induïts per l'exercici (Beck et al., 2020; Christiansen et al., 2019; Dal Maso et al., 2018; Lundbye-Jensen et al., 2017; Roig et al., 2012; Skriver et al., 2014; Thomas et al., 2017; Thomas, Beck, et al., 2016; Thomas, Johnsen, et al., 2016) excepte a Hung et al. (2021).
- Els estudis que van emprar tasques de rotació visomotriu van presentar millores en la consolidació gràcies a l'exercici (Angulo-Barroso et al., 2019; Ferrer-Uris et al., 2018; Neva et al., 2019; Tomporowski & Pendleton, 2018) excepte a Ferrer-Uris et al. (2017).
- En tasques de reacció en sèrie la influència de l'exercici puntual sobre la consolidació a llarg termini va ser positiva (Chen et al., 2020; Marin et al., 2020; Ostadan et al., 2016).
- En canvi, a Wanner, Müller, Cristini, Pfeifer, & Steib (2020) la dosi d'exercici no va millorar la consolidació de la tasca de balanceig dinàmic.
- Altres tasques motrius on no es troben beneficis per l'exercici sobre la consolidació van ser la tasca de caminar per una cinta de dos carrils (Charalambous et al., 2019; Helm et al., 2017), la tasca de coordinació bimanual (Singh et al., 2016) o l'execució d'una melodia a un piano (Swarbrick et al., 2020).

Fruit d'aquests resultats, sembla plausible suggerir que els processos de memòria encarregats de l'aprenentatge motor es poden veure influenciats per la tipologia i característiques de les tasques motrius emprades (Mang, Snow, et al., 2016), perquè les diferents tasques motrius segueixen processos de consolidació diferents (Pereira et al., 2013). En aquest sentit, es planteja la possibilitat que l'exercici incideixi de forma diferent en les tasques que recauen sobre regions del cervell diferents, com poden ser les tasques motrius discretes i les contínues (Baird et al., 2018; Mang, Snow, et al., 2016), o en funció del moviment que s'implica durant la tasca (Charalambous et al., 2019; Helm et al., 2017; Wanner, Müller, Cristini, Pfeifer, & Steib, 2020).

La tasca motriu del nostre experiment pot involucrar una comunicació extensiva de les regions vinculades amb el control sensoriomotriu i visoespacial (Chen et al., 2022). Addicionalment, la tasca EF podia requerir els camins dorsal i frontal (per a la resolució de l'efecte Stroop) complementats per l'activació dels camins frontals i estriatals (per a la inhibició motriu) que poden interactuar amb regions del còrtex anterior dorsal del cíngol requerides per al control atencional durant els processos d'ordre superior a la tasca motriu (Netz et al., 2023). Els propers estudis hauran de prendre mesures d'activitat cerebral per analitzar els efectes de l'exercici sobre tasques motrius amb diferent requeriment cognitiu per aportar informació respecte als possibles canvis funcionals provocats per l'exercici segons la demanda cognitiva de la tasca motriu.

Una altra possibilitat que no es pot descartar en relació amb els resultats del nostre estudi és que l'exercici impacti en major mesura durant l'adquisició en la precisió en comparació als grups control. Pel fet que en el present experiment ni es va realitzar l'exercici abans de la tasca inicial, ni s'ha mesurat específicament, no es poden determinar els efectes immediats sobre l'adquisició. Un dels motius pels quals es va descartar mesurar l'efecte de l'exercici sobre l'adquisició (a partir d'una prova immediatament posterior) va ser l'escassa evidència prèvia que suportava l'eficàcia sobre aquesta fase. La majoria d'investigacions no van trobar beneficis sobre la fase d'adquisició d'una memòria motriu (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022; Roig-Hierro et al., 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020).

No obstant això, és possible que l'exercici puntual d'alta intensitat influeixi de manera diferent els processos d'adquisició d'una habilitat motriu adquirida sota condicions d'elevada demanda cognitiva. De fet, a Park & Schott (2022) es va analitzar l'efecte de l'exercici sobre una tasca emprada per mesurar les FE i realitzada en moviment, tot i que amb una demanda coordinativa mínima (*trail making test digital*). En el darrer estudi es va detectar un increment de l'hemodinàmica (de l'activitat) en el còrtex motor i prefrontal en comparació al grup control que es va correlacionar amb una millora de l'actuació cognitiva durant l'adquisició.

Tot i que a l'anterior estudi l'exercici es va realitzar paral·lelament a la tasca, els seus resultats aporten una informació rellevant sobre l'afectació de la intervenció intensa sobre una tasca cognitiva amb una reduïda demanda coordinativa. En aquest sentit, es destaquen estudis que reporten l'efecte de l'exercici puntual sobre el control cognitiu durant el test d'adquisició (Khandekar et al., 2022), motiu pel qual no es pot descartar que les millores de l'exercici sobre el procés de consolidació de la tasca COGNI—sota l'efecte Stroop— es puguin deure, ni que sigui parcialment, a l'afectació posterior a l'aprenentatge sobre els processos d'atenció intrínsecament relacionats amb la tasca EF. Així, esdevé una necessitat de futur comprovar si les diferències

observades a llarg termini en la consolidació de tasques motrius amb diferent requeriment sobre les FE es deuen a l'increment dels processos d'adquisició propera a l'aprenentatge.

RESUM DE L'APARTAT

Se suggereix que l'exercici puntual influeix positivament sobre els processos de consolidació *offline* d'una habilitat motriu esportiva inspirada en el golf, tot i que l'afectació pot ser major quan la tasca requereix el control cognitiu per resoldre-la. És possible que els beneficis sobre el control cognitiu a partir d'una sessió d'exercici intens i que se sostenen en el temps després de la intervenció expliquin les diferències observades en el nostre estudi. Tot i això, el fet que els dos grups COGNI milloressin la precisió i que només el NO COGNI-EXE ho fes, pot suggerir un impacte específic sobre els components coordinatius de la tasca motriu. Fins al moment, és el primer estudi a suggerir un efecte positiu a llarg termini de l'exercici sobre una tasca motriu d'elevat requeriment cognitiu, així com en destacar diferències en l'impacte de l'exercici sobre la consolidació segons les característiques cognitives explícites a la tasca motriu.

11.3 Objectiu c) Caracteritzar els processos de consolidació a llarg termini de dues memòries motrius amb diferent requeriment cognitiu sense la incidència de l'exercici

Per tal de determinar la consolidació de l'habilitat motriu així com la influència que pot exercir en aquest procés el requeriment cognitiu de la tasca d'aprenentatge, s'han comparat els resultats d'ambdós grups control.

11.3.1 Segons el rendiment inicial

En les dues tasques emprades en el present estudi, tot i que es va requerir el mateix moviment per a l'execució motriu, es van variar les característiques qualitatives de la tasca per tal d'augmentar el requeriment sobre el control cognitiu (Guillem, 2022). Concretament, la diferència entre ambdues tasques residia en la gestió de les ordres que determinaven l'objectiu de llançament final.

A la tasca EF, el grup seleccionava l'objectiu de llançament en condicions Stroop, mentre que el grup NEF disposava de l'ordre predeterminat.

Pel que fa al rendiment a la tasca, es van observar diferències significatives en les puntuacions entre les dues versions d'aquesta, essent la de menor requeriment sobre el control cognitiu la que majors puntuacions va obtenir. Per aquest motiu, es suggereix que la complexitat de la tasca motriu es pot estar determinat, no només per les demandes coordinatives sinó també per les demandes cognitives (Pesce, 2012). De fet, segons Wollesen et al. (2022) es suggereix que el rendiment final estigui determinat, no tant per l'efectivitat de cada procés a la tasca (identificar l'ordre, seleccionar l'objectiu de llançament, adaptar la posició del cos, etc.) sinó per la integració de totes les condicions en una resposta eficaç i econòmica.

En aquest sentit, una investigació de Laurin & Finez (2020) va destacar el cost sobre l'execució durant l'adquisició en funció del requeriment cognitiu durant la tasca motriu. Van utilitzar una tasca de malabars que es va practicar sota dues condicions diferenciades a partir d'afegir elements externs a la tasca que podrien requerir les FE: la tasca motriu de baix requeriment cognitiu sense tasca alternativa i la d'elevat requeriment cognitiu en la que s'havia de realitzar càlcul mental mentre s'executaven els malabars. Els resultats van demostrar un rendiment inferior en el grup d'elevat requeriment cognitiu en comparació al grup de baix requeriment.

Previ a l'estudi anterior, es destaca la investigació conduïda per Pascual-Leone et al. (1995), on es van comparar els efectes de practicar una tasca de moviments de dits simple i una complexa sobre l'aprenentatge motor. La complexitat la determinava la seqüenciació i temporització específica a la qual calia ajustar el moviment. El fet d'ajustar un patró de moviments a un patró rítmic suposa un desafiament pel sistema perceptiu-cognitiu de la persona (Mechsner, 2004). Similar a la tasca emprada a la present investigació, existia una diferència en les demandes cognitives entre tasques, tot i que el patró de moviments pogués arribar a ser similar. Els resultats van mostrar que la tasca de major complexitat va produir un major increment en l'excitabilitat cortical en comparació a la tasca simple, a més d'una millora significativa del rendiment exhibit.

En el nostre estudi, la tasca motriu sota l'efecte Stroop incongruent requeria a les persones, sota condicions de pressió temporal, processar informació diversa així com identificar la informació incongruent i seleccionar la resposta apropiada, tot canviant l'atenció als diferents estímuls i interpretant quan calia executar i quan esperar (estímul go/no go) (Pan et al., 2019), per adaptar la resposta a l'execució motriu. Aquests components desafien les funcions executives (Guillem, 2022), són presents a moltes modalitats esportives (Wollesen et al., 2022) i se suggereix que poden condicionar l'execució motriu afectant tant el rendiment motriu com el cognitiu a la tasca

(Moreira et al., 2021), motiu pel qual els dos grups que van executar la tasca EF van obtenir puntuacions inicials més baixes que els dos grups que van executar la tasca NEF.

Els resultats que destaquen un rendiment inferior per a la tasca de major requeriment cognitiu es podrien ubicar en la línia de la teoria de l'assignació dels recursos abans introduïda (Dietrich & Audiffren, 2011), segons la qual el cervell ha d'assignar els recursos disponibles limitats per resoldre una tasca a les diferents regions del cervell encarregades de l'execució (Lelis-Torres et al., 2017). Donada la prioritització del sistema per a les àrees encarregades del control motor per davant de les àrees del cervell prefrontals vinculades a les FE (Dietrich, 2006; Ide & Secher, 2000), és possible que la tasca EF del present estudi s'hagi vist condicionada a la disputa pels recursos limitats durant l'execució motriu, essent superior les demandes en les zones prefrontals que els recursos atorgats pel sistema i perjudicant, d'aquesta manera, l'actuació cognitiva durant la tasca motriu (Wang et al., 2013).

La taxa d'adquisició va ser similar entre ambdós grups. Per tant, tot i que s'observen diferències de rendiment inicial segons el tipus de tasca, no es destaquen diferències en l'adquisició de l'aprenentatge durant la pràctica. Atès que la complexitat coordinativa no variava entre les tasques, és possible que la fase d'aprenentatge ràpid inicial, relacionada amb canvis en la connectivitat i eficàcia sinàptica, pugui variar la seva durada en funció dels requeriments coordinatius de la tasca motriu més que no pas pels cognitius, arribant a implicar mesos de pràctica la fase inicial de l'aprenentatge complex, com és el d'una peça musical de piano (Dayan & Cohen, 2011) com l'emprada a Moriarty et al. (2022) i a Swarbrick et al., (2020). Per això, caldrà tenir en compte la complexitat coordinativa dels moviments requerits durant les tasques motrius a l'hora d'analitzar la influència d'una sessió d'exercici, sobretot si es tracta d'una habilitat nova que pot requerir molt de temps per presentar millores en el rendiment.

RESUM DE L'APARTAT

Els resultats de l'estudi semblen destacar que la complexitat de la tasca està determinada també per les demandes cognitives explícites. Tot i que les dues tasques requerien el mateix moviment, els grups COGNI van presentar un rendiment inicial inferior en comparació als grups NO COGNI. És possible que existís la major necessitat de recursos per al control cognitiu en la tasca EF afectés limités l'assignació de recursos per al control motor durant l'execució de la tasca, implicant un rendiment inferior.

11.3.2 Segons la consolidació a llarg termini

El nostre estudi va mostrar una evolució diferent en els processos de consolidació segons el tipus de tasca motriu d'aprenentatge sense la incidència de l'exercici. Concretament, les persones que van executar la tasca EF van millorar la precisió a la retenció al cap de 7 dies. La millora de l'habilitat motriu a llarg termini sense la incidència de l'exercici concorda amb els resultats obtinguts a estudis anteriors (Charalambous et al., 2019). Donat que en aquesta tesi no es van destacar canvis significatius durant la segona vegada que es practicava la tasca, es va rebutjar l'efecte d'aprenentatge per segona pràctica i se suggereix que la millora en el rendiment es degui a un procés de consolidació *offline* posterior a la intervenció inicial. En canvi, les persones que van executar la tasca NEF van presentar decrements de rendiment una setmana després. Aquest resultat concorda amb els presentats a Thomas, Johnsen, et al. (2016), on el grup que no va fer exercici també va presentar decrements en el rendiment una setmana després.

El fet que no s'observessin diferències ni en la taxa d'adquisició (aprenentatge durant la prova inicial) ni en la taxa de retenció (aprenentatge durant la prova final) ens permet suggerir que les diferències van residir en els processos de consolidació de l'habilitat motriu segons la tasca (Pereira et al., 2013). A l'anterior estudi, es van comparar 5 tasques motrius diferents (d'aprenentatge motor seqüencial, de temps de reacció, d'equilibri de tot el cos i dues d'integració visomanual). Els resultats de la investigació anterior van demostrar que les tasques seguien diferents processos de consolidació a partir d'un rendiment desigual 24 hores després de la pràctica inicial, independentment de l'expertesa prèvia de les persones. De fet, els autors van destacar que la tasca d'aprenentatge motor seqüencial (consistia en repetir les seqüències picant amb el dit al teclat) va ser la que va presentar majors beneficis en la consolidació durant el test de retenció (23%), mentre que la tasca de balanceig del cos no va presentar millores. Les tasques de reacció (4%) i una d'integració visomotriu (10%) també van millorar en menor quantitat. Aquestes diferències es poden deure al fet que les tasques presenten requeriments coordinatius i cognitius variats que poden condicionar els processos d'aprenentatge motor (Mang, Brown, et al., 2016).

Quan les tasques motrius recauen en major mesura sobre el control cognitiu, és possible observar diferències en la motivació de les persones donat el desafiament cognitiu de la tasca (Pendleton et al., 2016), que pot condicionar la mobilització extra de recursos i una major focalització dels recursos disponibles sobre la tasca (Tomporowski et al., 2015). Això podria explicar les diferències observades en la consolidació de la tasca. Alhora, una major demanda cognitiva durant una tasca motriu pot provocar canvis en la plasticitat del cervell que afectin els processos

d'aprenentatge (Koch et al., 2018; Pesce, 2012). Com que els canvis en la plasticitat produïts no són immediats a la pràctica sinó derivats de l'aprenentatge de l'habilitat (Lehmann et al., 2020), se suggereix que les diferències de rendiment a llarg termini (i no immediates) vistes entre la tasca EF i NEF del nostre estudi es puguin deure als canvis en la neuroplasticitat produïts durant una setmana per l'aprenentatge *offline* de l'habilitat en funció de la condició d'aprenentatge (major o menor requeriment del control cognitiu).

Paral·lelament, una hipòtesi emprada tradicionalment per explicar les diferències en els processos d'aprenentatge segons la tasca és la de l'esforç cognitiu invertit durant la fase d'adquisició (Magill, 1988). En aquest sentit, es suggereix que les condicions de pràctica motriu que impliquen un major esforç cognitiu, com les de la tasca EF on es va afegir demanda cognitiva explícita, provocaran una millora dels processos de retenció a llarg termini de l'habilitat a causa d'una diferent aplicació d'estratègies d'execució i aprenentatge de l'habilitat (Lee et al., 1994; Magill, 1988). Tot i que en aquesta tesi s'han emprat factors d'incidència sobre el control cognitiu vinculats a l'efecte Stroop per tal d'augmentar l'esforç cognitiu explícit a la tasca, anteriorment altres estudis han variat la demanda cognitiva al context de pràctica a partir d'altres elements:

- En una investigació realitzada per Batalla (2005), es va destacar una taxa d'aprenentatge superior de l'habilitat del putt de golf sota condicions de pràctica de major desafiament cognitiu. En aquest estudi, l'esforç cognitiu es va determinar segons el tipus de feedback que es rebia durant les execucions, essent el grup que major complexitat presentava el que obtenia menor feedback i sota la interferència d'una tasca interpolada. Tot i que en el nostre estudi no s'ha manipulat el feedback, els resultats s'alineen amb la investigació de Batalla (2005), en tant que el grup que practicava sota condicions de major desafiament cognitiu, en aquest cas determinat pel requeriment sobre les FE, va presentar majors millores en la consolidació.
- En un estudi de Laufer (2008), les persones realitzaven durant tres dies, una tasca de control postural i equilibri en condicions de pràctica desafiantes o poc desafiantes per al control cognitiu. Concretament, mentre duïen a terme l'execució havien d'atendre a un estímul extern menys complex (un patró numèric lògic i ordenat) o més complex (generar un patró numèric a partir d'una resta constant del nombre inicial). Tot i que el moviment implicat era el mateix, els resultats van destacar una major consolidació de l'habilitat en el grup de major esforç cognitiu en la retenció llunyana (7 dies des de la primera pràctica), de forma similar als resultats destacats en aquesta tesi.

Recollint el que s'ha comentat al llarg d'aquest apartat, es proposen dues hipòtesis a l'hora d'explicar els resultats obtinguts:

- D'una banda, que la complexitat d'una tasca motriu vingui determinada també pels requeriments cognitius explícits necessaris per resoldre-la. Això s'ha fet evident quan el rendiment inicial ha estat inferior en els grups que van realitzar la tasca de major requeriment cognitiu.
- D'altra banda, es pot suggerir que la consolidació de les tasques motrius no només depèn del moviment implicat a la tasca, sinó de les característiques qualitatives de les tasques. Concretament, quan una tasca presenta una major demanda cognitiva per resoldre-la, el rendiment es veurà afectat negativament, però la millora en la consolidació a llarg termini serà superior en comparació a una tasca que presenta menor demanda cognitiva.

RESUM DE L'APARTAT

En aquesta tesi es van destacar diferents processos de consolidació segons la demanda cognitiva de la tasca motriu, encara que les demandes coordinatives fossin idèntiques. És possible que l'esforç cognitiu i la motivació per la tasca més desafiant incidissin en el procés de consolidació de la tasca EF, on es van observar millores no significatives 7 dies després, a diferència de la tasca NEF on es van observar decrements en el rendiment motor.

Capítol 12: Discussió dels resultats de les variables secundàries

Més enllà de les característiques de la tasca, en aquesta tesi es van considerar altres variables independents relacionades amb les característiques personals dels participants que podien incidir en els processos de consolidació motriu. A continuació es discuteixen els principals resultats en la consolidació motriu en funció del gènere, el nivell físic reportat, l'índex de massa corporal de les persones i la tipologia de pràctica regular d'activitat física de les persones.

12.1 Diferències segons el gènere

En el nostre estudi es van analitzar les diferències segons el gènere en la consolidació de l'habilitat motriu del putt de golf. Altres estudis del camp de l'aprenentatge motor ja suggerien l'existència de diferències en el rendiment i consolidació de l'habilitat del putt de golf segons el gènere (Batalla, 2005). La consideració del gènere com una variable independent es deu, més enllà d'una responsabilitat ètica, a la voluntat d'innovació al camp. Com s'ha comentat a l'apartat metodològic, de les 37 investigacions recollides a la revisió sistemàtica de Roig-Hierro et al. (2022) només s'analitzen les diferències de gènere, tant en rendiment com en consolidació, a Baird et al. (2018), no trobant-se diferències significatives. Autores com Swarbrick et al. (2020) proposen que els efectes reduïts de l'exercici sobre l'aprenentatge motor trobats al seu estudi es podien deure al gran nombre de persones de gènere femení. Contràriament, Tomporowski & Pendleton (2018) incloïen més persones del gènere femení (75% de les persones) i van trobar resultats significatius favorables a les persones que van realitzar exercici. El fet de no atendre de forma específica les possibles diferències segons el gènere de les persones es pot considerar una limitació dels estudis (Wanner, Müller, Cristini, Pfeifer, & Steib, 2020).

Els resultats de la nostra investigació no van reportar diferències segons el gènere en la consolidació motriu però sí en el rendiment inicial als grups control, essent majors les puntuacions per al gènere masculí. Pel que fa al grup COGNI-EXE, és possible que les diferències de gènere al rendiment inicial es deguin al paper que les hormones sexuals exerceixen en el funcionament del còrtex prefrontal (McEwen & Milner, 2017) i que condicionen la connectivitat funcional durant la realització de la tasca cognitiva (Hausmann, 2017). No obstant això, donat que s'observen diferències de rendiment en ambdues tasques (EF i NEF) i que el rendiment inicial va ser superior per al gènere masculí en els quatre grups, es rebutja que les diferències inicials de gènere derivin de les demandes cognitives de la tasca motriu. En aquest sentit, es proposa considerar el paper del gènere com a factor que pot tenir incidència en el rendiment motor, en

part, perquè el bagatge motor de les persones pot ser dependent al gènere (Jiménez-Jiménez et al., 2011).

Existeixen dues hipòtesis al camp d'estudi de l'AF i la cognició en relació amb les possibles diferències de gènere i que es poden discutir a partir dels resultats de la nostra investigació:

- En primer lloc, es suggereix que la diferent resposta al BDNF segons el gènere condicioni els efectes que produeix l'exercici (Szuhany et al., 2015). Concretament, la magnitud dels efectes seria menor en el gènere femení que en el masculí (Dinoff et al., 2017; Szuhany et al., 2015). Segons Hayley et al. (2015), els nivells basals de BDNF en el còrtex prefrontal, àrea clau per al control cognitiu, són menors en el gènere femení que en el masculí.
- Més enllà del diferent rendiment cognitiu a la tasca motriu, les diferències de gènere es poden fer visibles en el procés de consolidació de la memòria motriu (Loprinzi & Frith, 2018). Segons Loprinzi & Frith (2018), l'afectació sobre la consolidació pot variar segons el gènere a causa de múltiples factors, tant psicològics com fisiològics (pel que correspondria parlar de sexe biològic). Per exemple, més enllà de la influència del BDNF, es destaquen diferents regulacions de les catecolamines (Zouhal et al., 2008). Les persones de sexe femení tenen major disponibilitat del neurotransmissor dopamina en el cervell (Lavalaye et al., 2000), mentre que les persones del sexe masculí tenen majors concentracions d'adrenalina i noradrenalina degudes a la realització de l'exercici (Friedlander et al., 1998). Les diferències en les catecolamines poden esdevenir claus per al processament de la memòria (Quartermain, 1969), el manteniment dels aprenentatges (Redolar-Ripoll, 2014) i per als processos relacionats amb el manteniment de la memòria motriu a llarg termini (Skriver et al., 2014). Un dels processos afectats podria ser la potenciació a llarg termini, ja que els estudis amb animals suggereixen un procés LTP diferent entre el sexe masculí i el femení, implicant una major duració en el masculí que en el femení (Qi et al., 2016).

Tot i que es necessita més investigació per identificar els mecanismes fisiològics explicatius de la diferent afectació de l'exercici sobre la memòria motriu entre gèneres, els resultats de la nostra investigació semblen rebutjar les anteriors hipòtesis perquè no es van detectar diferències de consolidació motriu segons el gènere, independentment de si es realitzava exercici o no. Aquests resultats s'alineen amb els reportats a l'únic estudi que va analitzar el paper de l'exercici sobre la consolidació motriu, ja que no va reportar diferències en aquest procés segons el gènere (Baird et al., 2018).

12.2 Diferències segons el nivell físic reportat

En el present estudi es va considerar el nivell físic reportat per les persones com un possible moderador dels efectes de l'exercici puntual sobre la consolidació motriu. L'evidència prèvia no és clara i, fins al moment, només un estudi s'ha dissenyat específicament per atendre aquesta qüestió (Hung et al., 2021). En l'estudi de Hung et al. (2021) es va demostrar que el nivell físic de les persones no va moderar els efectes de l'exercici sobre la memòria motriu, en gran part perquè no es va identificar un impacte positiu de l'exercici.

En aquesta tesi s'ha volgut determinar la incidència del nivell físic reportat sobre la consolidació motriu i els resultats no han mostrat diferències significatives a cap grup. Alguns estudis previs han suggerit diferències morfològiques i funcionals en el cervell entre persones de diferent nivell físic (Zhang et al., 2022), essent més beneficiosos per a la cognició aquells canvis que es produeixen en el cervell de les persones més actives (Hillman et al., 2008). Un exemple podria ser l'increment de l'excitabilitat cortical per l'exercici puntual, que es podria veure condicionada pel nivell físic de les persones (Lulic et al., 2017), tot i que a (MacDonald et al., 2019) es va investigar de forma específica i no es van detectar diferències per l'exercici. A nivell molecular també s'han observat diferències (Hillman et al., 2008). Un exemple és la regulació del BDNF, que pot ser més elevada en aquelles persones que són físicament més actives (Nofuji et al., 2012). Tot i l'anterior, els resultats sobre aquest objecte de recerca no són uniformes i altres investigacions suggereixen que els nivells de BDNF perifèrics, així com altres factors de creixement essencials per a la plasticitat cerebral, no variïn segons el nivell físic (McMorris & Corbett, 2016).

Mentre es determinen els mecanismes explicatius d'una diferent afectació segons el nivell físic, els estudis que s'han centrat a identificar l'impacte sobre el procés de consolidació motriu (Hung et al., 2021) o declarativa (Zuniga et al., 2019) a nivell comportamental no han trobat diferències. De forma similar, també es va investigar l'impacte de l'exercici segons el nivell físic a una tasca sota l'efecte Stroop, destacant-ne majors beneficis per a les persones que tenien un nivell físic moderat (Chang et al., 2014). Contràriament, altres estudis proposen que les persones de nivell físic elevat poden tenir més facilitat per reduir el temps de reacció a la tasca cognitiva gràcies a una major amplitud en el component P3 (Wang et al., 2016).

Els resultats de la nostra tesi es vinculen amb els de Chang et al. (2014), en tant que les persones amb un nivell físic moderat van millorar més al grup COGNI-EXE. Encara que és possible que el nivell físic moderat sigui més susceptible a les millores per l'exercici sobre processos

d'aprenentatge que recauen sobre el control cognitiu durant l'execució (Chang et al., 2015), les persones de nivell físic moderat també van millorar més 7 dies després en el grup NO COGNI-EXE. Aquests resultats no es van reproduir a tots els grups. Per exemple, sense la incidència de l'exercici (COGNI-Control) van ser les persones de nivell físic elevat les que més van millorar. Per aquest motiu es suggereix que el nivell físic moderat sigui més influenciat per l'exercici durant el procés de consolidació motriu.

Un altre aspecte destacat va ser que les persones amb un nivell físic baix eren les que mostraven pitjor rendiment en la consolidació de l'aprenentatge. En el grup NO COGNI-EXE les persones menys afectades tenien un nivell físic baix i és on es va produir el decrement més gran 7 dies després. Alguns autors proposen que un nivell físic baix es pugui relacionar amb un empobriment de l'actuació de la memòria implícita així com dels sistemes de retenció a llarg termini (Pontifex et al., 2016).

12.3 Diferències segons l'índex de massa corporal

L'IMC és una de les variables individuals que s'ha tingut en compte a l'hora d'equilibrar els grups experimentals en els estudis que investiguen els efectes de l'exercici sobre la memòria motriu, i l'exercici sobre les FE. Segons alguns autors, les persones amb sobrepès tenen més dèficits de memòria i dificultats en la retenció, com en el cas dels nens/es i joves (Gunstad et al., 2008) i se suggereix que l'exercici pugui contrarestar aquesta limitació. Tot i això, cap dels estudis ha justificat la pertinença d'emprar l'IMC com a factor d'equilibri entre grups, motiu pel qual en la present tesi s'ha analitzat, exclusivament a mode exploratori, el possible paper moderador de l'IMC sobre l'efecte de l'exercici en la consolidació motriu. Els resultats no reporten diferències a cap grup segons l'IMC de les persones, ni en el rendiment ni en la consolidació. És per aquest motiu que es suggereix la reconsideració de l'IMC com a factor condicionant dels efectes així com a factor per equilibrar els grups experimentals.

12.4 Diferències segons el tipus de pràctica d'AF regular

La pràctica d'una activitat física de forma regular pot condicionar els canvis que es produeixen en el cervell, tant a nivell estructural (Huang et al., 2015; Wei et al., 2011) com funcional (Scharfen & Memmert, 2019; Zhang et al., 2022). En el present estudi les habilitats cognitives requerides per resoldre la tasca EF podien ser similars a les requerides a diferents modalitats d'activitat física que practicaven les persones incloses. Per exemple, la discriminació entre estímuls, la focalització de l'atenció i la gestió de la pressió temporal són factors presents en

modalitats esportives que practicaven les persones incloses, com el futbol (Klatt & Nerb, 2021), l'handbol (Zwierko & Florkiewicz, 2014), el rugbi (Di Corrado et al., 2014) o el bàsquet (Camacho et al., 2021).

Per aquest motiu, les persones que practicaven aquest tipus d'esport es van agrupar en un bloc per analitzar els seus resultats i comparar amb les persones que, o bé duïen a terme activitat física no reglada amb característiques no coincidents amb les condicions anteriorment descrites als esports (exercicis de força o aeròbics al gimnàs), o bé no realitzaven cap classe d'activitat de forma regular (més enllà d'activitats diàries espontànies com pujar escales o caminar cap a la feina).

Els resultats de la present investigació no reporten diferències significatives ni de rendiment ni en la consolidació motriu segons el tipus d'activitat física que practicaven regularment les persones. Sí que es va observar una major afectació, tot i que no significativa, per l'exercici sobre la consolidació a les persones que no duïen a terme cap activitat regular al grup COGNI-EXE. Tot i que, al grup NO COGNI-EXE, precisament van ser les persones que no realitzaven cap activitat regular les que menys es van beneficiar de l'exercici. És possible que la incidència de l'exercici sigui diferent en funció, tant de l'expertesa en un tipus d'activitat física com de la tasca que es vol consolidar. Però més enllà d'extreure possibles explicacions precipitades, es creu convenient plantejar la necessitat d'emprar estudis específicament dissenyats per resoldre aquesta qüestió. Fins al moment, no es destaca cap estudi que hagi analitzat aquest factor com un possible moderador dels efectes de l'exercici sobre la consolidació motriu.

Bloc IV: Conclusions

Capítol 13: Conclusions

A continuació es presentaran, agrupades segons l'objectiu amb el que es vinculin, les conclusions d'aquesta tesi doctoral.

Objectiu a) *Determinar la influència d'una sessió d'exercici sobre la consolidació a llarg termini de l'habilitat motriu del colpeig de putt.*

- En el present estudi s'ha destacat l'eficàcia d'una intervenció d'exercici puntual intens realitzat immediatament després de l'adquisició d'una habilitat motriu de putt sobre la seva consolidació a llarg termini.
- Les decisions metodològiques relatives a l'exercici van ser eficaces perquè ambdós grups que van fer exercici van millorar, de forma significativa, el seu rendiment a la tasca als 7 dies: intensitat elevada, per intervals, de poca durada (13 minuts), ubicació temporal posterior a la tasca i tipologia d'exercici simple..
- L'impacte positiu de l'exercici no es va limitar a la millora del rendiment sinó també sobre la regularitat d'aquest rendiment. Va millorar en el grup NO COGNI-EXE i va prevenir un major decaïment al grup COGNI-EXE, en comparació als grups control.

Objectiu b) *Identificar la relació entre els requeriments cognitius de la tasca motriu d'aprenentatge i l'efecte de l'exercici agut sobre la consolidació motriu.*

- Més enllà de l'efectivitat de la dosi d'exercici, els resultats van suggerir una diferenciació en el rendiment i en la consolidació segons el tipus de tasca motriu d'aprenentatge. La utilització de dues tasques motrius amb idèntic requeriment coordinatiu, però diferent requeriment cognitiu ha estat la innovació i motivació principal de l'estudi. En aquest sentit, les diferències observades en el rendiment inicial entre la tasca de menor requeriment cognitiu i la de major requeriment cognitiu i l'absència de diferències en la taxa d'adquisició, poden indicar que la complexitat de la tasca motriu en la seva pràctica inicial pot venir determinada pels requeriments cognitius afegits, encara que el moviment realitzat a les tasques fos el mateix.
- La millora de la precisió 7 dies després observada als dos grups COGNI a la tasca EF i la millora exclusiva del grup NO COGNI-EXE per a la tasca NEF, pot suggerir un impacte superior de l'exercici sobre els components coordinatius de la tasca. Tot i això, tenint en

compte que la millora de la precisió va ser superior al grup COGNI-EXE en comparació al NO COGNI-EXE es planteja la possibilitat que, en tasques d'elevat requeriment cognitiu, l'exercici impacti positivament sobre la consolidació tant dels components coordinatius com cognitius de la tasca. Per vertebrar aquesta hipòtesi, caldran estudis que determinin si l'exercici beneficia les regions encarregades del control motor i cognitiu de la tasca partir d'una major disponibilitat de recursos durant el procés de consolidació.

Objectiu c) *Caracteritzar els processos de consolidació a llarg termini de dues memòries motrius amb diferent requeriment cognitiu sense la incidència de l'exercici.*

- La comparació entre els grups control suggereix que els processos de consolidació varien en funció del requeriment cognitiu de la tasca motriu d'aprenentatge. Concretament, la tasca de major requeriment va presentar beneficis *offline* al cap de 7 dies mentre que la tasca de menor requeriment cognitiu va presentar decrements. Es suggereix que la motivació i l'esforç cognitiu necessari per resoldre la tasca EF poden haver causat un impacte positiu sobre la consolidació a llarg termini. Tot i que s'havien comparat els processos de consolidació de tasques motrius diferents d'estudis anterior, en el present estudi s'aporta una evidència nova respecte del paper de les característiques de la tasca —i concretament dels requeriments cognitius— en l'evolució de la consolidació motriu a llarg termini.

Adicionalment, a les conclusions vinculades als objectius principals, cal considerar els resultats extrets a partir de les variables secundàries. Una de les conclusions que s'extreu és que el gènere de les persones és una variable que els estudis han d'incorporar i analitzar. En el present estudi, tot i no haver influenciat el procés de consolidació, sí que ho va fer en el rendiment inicial a la tasca, tant EF com NEF. A més de l'anterior, les diferències, tot i que no significatives, observades en alguns grups durant la consolidació en funció del nivell físic reportat o de la tipologia de pràctica d'AF regular, justifiquen la seva consideració i anàlisi als propers estudis. Això no obstant, les diferències observades al present estudi no segueixen un patró que permeti extreure una conclusió general, motiu pel qual es reclama major investigació sobre aquestes variables. Finalment, pel que fa a l'IMC, es conclou que la seva consideració als dissenys dels estudis no està justificada, ni a nivell comportamental ni a nivell biològic.

13.1 Conclusions vinculades a l'aplicabilitat dels resultats

Pel fet que una de les motivacions de l'estudi era la d'incrementar l'aplicabilitat dels resultats que s'obtenien als àmbits d'estudi de l'exercici agut i la memòria motriu, i de l'exercici i les FE, a continuació es proposen interpretacions de la investigació centrades en l'impacte sobre l'aplicabilitat dels resultats. Per tal de facilitar l'organització del contingut es dividirà l'apartat en relació amb la influència que pot causar el present estudi en els àmbits d'estudi:

- L'aplicació pràctica
- Innovacions que es poden produir a la recerca específica.

13.1.1 Aplicació pràctica

Els resultats de la present investigació evidencien l'efecte positiu d'una sessió d'exercici sobre la consolidació motriu d'una habilitat motriu esportiva en persones joves sanes. L'aplicabilitat d'aquests resultats es pot analitzar des de dos enfocaments: l'eficàcia de l'estratègia proposada (sessió d'exercici) i la millora del procés cognitiu (consolidació de l'habilitat motriu).

Eficàcia de l'estratègia proposada:

- Els resultats d'aquesta tesi ens fan suggerir que l'exercici puntual sigui una eina útil, simple i econòmica que pot contribuir a la millora dels processos cognitius de les persones, entre els quals es troba la memòria motriu. El caràcter puntual de la intervenció augmenta la viabilitat de realització en diferents contextos on no es realitzen programes d'AF a causa de la gran inversió de temps, espai i a vegades recursos que suposen els programes d'AF regular.
- Més enllà de la puntualitat, també es destaca l'economia i simplicitat de la intervenció com dos aspectes que augmenten la viabilitat d'utilització d'aquesta estratègia:
 - L'exercici no va requerir la utilització de material, més enllà de l'emprat amb finalitats investigadores com el pulsòmetre i es pot realitzar en espais inespecífics.
 - A més, el bagatge motriu previ en relació amb la tipologia d'exercici utilitzat es pressuposa molt similar entre totes les persones, ja que l'habilitat motriu requerida era la de córrer. En aquest sentit, pot resultar assolible per a la majoria de persones realitzar la intervenció sense requerir una expertesa motriu específica.

- La simplicitat també fa referència a la possibilitat d'adaptació per aquelles persones que estan impossibilitades funcionalment per córrer, en tant que l'objectiu principal és generar fatiga a partir d'un exercici intens (Thomas et al., 2017), per la qual cosa es poden dur a terme exercicis simples com el ciclisme de tren superior (Helm et al., 2017).
- A més a més, la inversió de temps va ser reduïda perquè la durada total de la intervenció va ser de 13 minuts. Per tot això, es destaca la facilitat d'aplicació de la intervenció en contextos diferents que tinguin com a finalitat l'adquisició d'aprenentatges motors.

Efecte sobre la memòria motriu:

- Els resultats del present estudi destaquen la millora del procés de consolidació motriu a partir de la intervenció d'exercici, similar a la majoria d'estudis del camp (Bonuzzi & Torriani-Pasin, 2022; Roig-Hierro et al., 2022; Wanner, Cheng, et al., 2020) i concretament de l'habilitat motriu específica del putt de golf en persones joves sanes.
- Alhora, es destaca una diferent afectació sobre la consolidació en funció de la demanda cognitiva de la tasca d'aprenentatge, ja que es va identificar una millora més elevada en la consolidació de la tasca motriu d'elevat requeriment cognitiu. Donat que els contextos de pràctica esportiva habitualment requereixen el treball de les FE i les desafien (Moreira et al., 2021), sembla necessari destacar l'eficàcia de la intervenció del present estudi en relació amb la millora de l'habilitat motriu que requeria el control cognitiu en major mesura.
- Els resultats destaquen la intervenció emprada com una estratègia eficaç per potenciar processos d'aprenentatge d'habilitats motrius que recaiguin sobre principis d'aprenentatge i execució similars al putt de golf i, específicament, per millorar l'actuació cognitiva durant aquest tipus de tasques motrius.
- La utilització de les variables de precisió i consistència, així com la categorització del rendiment a partir d'una puntuació responen a una voluntat d'emprar formes de mesura de l'aprenentatge motor pragmàtiques i econòmiques per a que es puguin emprar en contextos de pràctica motriu quotidians, que normalment difereixen de les variables de mesura emprades en tasques executades en condicions de laboratori.

13.1.2 Innovacions que es poden produir a la recerca específica.

Per respondre a la necessitat plantejada a la introducció dirigir investigacions, crear recursos i proporcionar eines en els àmbits d'aprenentatge motriu formatiu, una de les intervencions que es planteja és la de l'exercici agut per potenciar la consolidació dels aprenentatges motors. Els estudis que destaquen els efectes d'aquestes intervencions puntuals sobre la consolidació motriu aporten informació diversa sobre l'eficàcia de les decisions metodològiques preses en el disseny de la mateixa intervenció (Wanner, Cheng, et al., 2020). Partint de la diversitat metodològica, a continuació es plantegen algunes innovacions a l'àmbit de l'exercici que es poden veure afavorides pels resultats d'aquesta tesi:

- Es planteja la intenció de construir un marc metodològic que faciliti el disseny de les intervencions que es destinen a la millora dels processos d'aprenentatge motor i de les habilitats cognitives implicades (Roig-Hierro et al., 2022). Aquest marc que s'està construint, tindrà com a finalitat la instrumentalització de les intervencions per aplicar-se en contextos habituals d'aprenentatge motor, com el formatiu reglat o l'esportiu, com ja s'ha fet a partir del vòlei a Bonuzzi et al. (2020) o del golf en el present estudi. Com es comentarà endavant, el futur del camp ha de nodrir-se de més evidències per poder construir aquest marc, així com atendre a una major varietat de tasques motrius d'aprenentatge.
- Dels resultats de la tesi s'extreu la necessitat de valorar la dimensió cognitiva en les tasques motrius d'aprenentatge i la seva relació amb l'exercici puntual. La valoració de la dimensió cognitiva implicada en l'habilitat motriu que es veu afectada per una sessió d'exercici puntual respon a la necessitat plantejada des de dos àmbits de recerca diferents:
 - D'una banda, les investigacions que s'han centrat a analitzar l'efecte de l'exercici puntual sobre la consolidació motriu han reclamat un major estudi de l'afectació sobre els components cognitius durant la tasca motriu i la seva evolució a llarg termini (Baird et al., 2018).
 - D'altra banda, les investigacions centrades en identificar la incidència de l'exercici puntual sobre el desenvolupament de les FE han reclamat l'anàlisi de d'aquests efectes a més llarg termini (Moreau & Chou, 2019; Park & Schott, 2022), més enllà dels 120 minuts posteriors a la intervenció (Basso et al., 2015).
- En el present estudi s'ha demostrat la possibilitat d'unificar els dos àmbits de recerca a partir de construir una tasca motriu que recau sobre el control cognitiu i on la seva evolució a llarg termini ha estat determinada per la millora necessària tant dels

components motors com cognitius específics a la tasca. El que es planteja és complementar les investigacions que estudien l'evolució de les FE a partir de tasques d'avaluació cognitiva específica (com el test Stroop o la *Tower of London Task*) amb l'estudi de l'evolució a llarg termini del control cognitiu aplicat i integrat a una tasca motriu específica. És a dir, determinar la seva millora en funció de la interacció dels components motors i cognitius a la tasca a partir del rendiment observat posterior a l'adquisició inicial. Això permetrà operativitzar el treball i l'avaluació del control cognitiu en situacions motrius aplicades en contextos habituals, sempre que la tasca motriu requereixi el control cognitiu, a partir de la utilització de variables de mesura fàcilment aplicables (com les del present estudi) en diversos contextos.

- L'aportació d'aquest estudi se centra en una població molt concreta, com són les persones joves d'entre 21 i 25 anys sense malalties. Això es desvincula en certa mesura de l'objectiu investigador plantejat a la introducció en relació a estudiar els efectes de l'exercici agut sobre l'aprenentatge motor de nens i nenes en contextos formatius i esportius habituals. El fet que en el present estudi s'hagi analitzat el paper de la tasca motriu i, concretament, de la demanda cognitiva, pretén ser un pas que apropi a les futures investigacions a la utilització de tasques cada cop més properes a les es troben en els contextos de pràctica motriu d'infants i joves. És a dir, tasques on el control cognitiu juga un paper clau en l'execució i en la resolució de les demandes del context.

Capítol 14: Limitacions

En aquest apartat es destacaran les limitacions del present estudi. Seguint l'estructura de l'apartat anterior, es dividirà en les limitacions específiques de l'estudi i les limitacions del present estudi compartides i habituals entre els estudis del camp.

14.1 Limitacions específiques de l'estudi

En primer lloc, es fa referència a la mostra escollida i, concretament, a la delimitació tan marcada de les característiques de les persones. A més, el nombre de la mostra, tot i ser dels més elevats en comparació als estudis previs, no és representatiu per a una població (tot i que és un quelcom inaccessible per les limitacions econòmiques i logístiques de l'estudi, així com ho són a la majoria d'investigacions). Ambdues decisions condicionen la representativitat dels resultats i, en conseqüència, la seva transferibilitat, així com la potència estadística dels resultats obtinguts. En els darrers anys s'ha reclamat un major nombre de persones als estudis per poder relacionar, amb major eficàcia i seguretat, les decisions metodològiques amb l'efecte sobre la memòria motriu. Tot i que es destaca en aquest apartat (limitacions específiques de l'estudi), també és una limitació compartida per la majoria d'estudis del camp (Bonuzzi et al., 2020; Charalambous et al., 2019; Christiansen et al., 2019; Ferrer-Uris et al., 2018; Thomas et al., 2017; Thomas, Johnsen, et al., 2016).

Alhora, s'han escollit uns criteris en relació amb les característiques de les persones compartits amb la majoria d'estudis pel que fa a l'edat o l'absència de malalties o trastorns (Roig-Hierro et al., 2022). Això, ha permès replicar i confirmar l'eficàcia d'algunes decisions metodològiques destacades per estudis anteriors i s'ha augmentat la validesa dels resultats obtinguts en relació amb les persones que presenten les característiques incloses en el present estudi. En conseqüència, s'ha reduït la representativitat per a la resta de persones. Tenint en compte que la intervenció que es proposa en el present estudi pot ser de gran utilitat en contextos educatius formals —amb nens i nenes—, en contextos on es treballa amb persones grans o, fins i tot, en contextos on es treballa amb persones amb malalties vinculades a les funcions cognitives, sembla necessari desenvolupar estudis que atenguin aquestes poblacions, a diferència del present.

En segon lloc, la divisió i categorització per punts de cada llançament a diana ha condicionat la continuïtat de la variable mesurada, en tant que és una variable discreta i, en conseqüència, la utilització de proves paramètriques per a l'anàlisi estadística, com s'ha fet en la majoria d'estudis del camp. Tot i això, algunes investigacions que han emprat la mateixa forma de mesurar la

variable han emprat estadística paramètrica (Bonuzzi et al., 2020). Encara que la precisió i la consistència han servit com a mesures fiables d'aprenentatge, la utilització de més mesures hagués aportat major informació sobre el procés d'aprenentatge i retenció motriu i la possibilitat d'usar estadística paramètrica.

Una altra limitació que es destaca en el present estudi fa referència a la mesura del control cognitiu, tant inicial com posterior, utilitzant el test Stroop. L'avaluació inicial del rendiment cognitiu hauria pogut crear una nova dimensió de caracterització dels grups i equilibrar-los segons rendiment cognitiu. L'avaluació final del control cognitiu hauria pogut determinar si la intervenció puntual va incidir, de forma posterior i directa, sobre el rendiment cognitiu a la tasca. Malgrat tot, es va descartar la seva mesura per dos motius:

- el possible efecte contaminador que hagués causat un test previ directament vinculat a la tasca motriu que realitzarien més endavant,
- La desvinculació amb l'objectiu de l'estudi i el posicionament en relació a la integració del control cognitiu dintre d'una tasca motriu per avaluar el rendiment global i de forma aplicada a una tasca, vers el posicionament clínic que sovint ha condicionat els dissenys dels dos àmbits d'estudi considerats al present treball (Pesce, 2012).

Per determinar que la diferència entre els grups control es vinculava a l'esforç cognitiu i a la motivació extra generada per la tasca EF, hagués calgut emprat tests específics per mesurar l'esforç mental i la motivació a la tasca, com es fa a Thomas, Beck, et al. (2016) a partir del qüestionari de motivació intrínseca "IMI". L'altre explicació que s'ha suggerit a la diferència entre els grups control és un possible efecte sostre d'aprenentatge al grup NO COGNI-Control, que no es va analitzar de forma específica. Per aquest motiu no s'ha pogut rebutjar amb total convenciment la possibilitat d'un efecte sostre d'aprenentatge en el grup NO COGNI-Control que expliqués el deteriorament del seu rendiment als 7 dies.

Es troba a faltar la recollida i anàlisi de mostres de sang per determinar la presència de substàncies neuroquímiques a partir de la realització de l'exercici. Encara que s'ha estudiat de forma detallada a moltes investigacions (Baird et al., 2018; Christiansen et al., 2019; Jo et al., 2019; Roig et al., 2012; Skriver et al., 2014), el present estudi hagués aportat una evidència de gran valor explicatiu respecte els mecanismes pels quals de l'efecte de l'exercici sobre la memòria motriu.

Pel que fa als resultats, les diferències inicials significatives entre les tasques podrien condicionar la interpretació dels resultats. És possible que els grups COGNI milloressin més fàcilment pel fet d'haver obtingut unes puntuacions inicials més baixes, mentre els grups NO COGNI tinguessin

més dificultats per millorar, ja que partien d'unes puntuacions més elevades. De fet, a causa de la diferència de complexitat, és possible que les fases d'aprenentatge ràpid i lent fossin diferents entre ambdues tasques (Dayan & Cohen, 2011), afectant així l'evolució de l'aprenentatge (tot i que no es van trobar diferències en les taxes ni d'adquisició ni de retenció). Tot i que la presència de grups control permet determinar la incidència de l'exercici, que era un dels objectius de la investigació, la comparació entre els grups controls i entre els grups exercici pot estar supeditada a aquesta hipòtesi posterior.

14.2 Limitacions compartides amb altres estudis del camp

Una de les limitacions que es destaquen habitualment als estudis és la manca de mesura de l'activitat cerebral, ja sigui durant l'exercici com durant l'execució de les tasques motrius i en moments diferents de la consolidació. Les mesures d'inhibició i excitabilitat cortical (Beck et al., 2020) i, especialment del còrtex motor primari (Singh et al., 2016), aporten informació valuosa sobre el comportament del cervell durant els processos d'aprenentatge motor. Les tècniques més emprades han estat l'encefalografia (Dal Maso et al., 2018) i l'electromiografia (2016) així com l'anàlisi dels potencials motors evocats a partir de l'estimulació magnètica transcranial (Beck et al., 2020). Els instruments necessaris per fer servir aquestes tècniques, són de limitat accés i costosa adquisició, motiu pel qual no s'han pogut emprar en la nostra tesi. Tot i això, el valor explicatiu que se li pressuposa és elevat i hagués aportat evidències complementàries en relació amb una de les conclusions que es proposen a l'estudi: l'exercici pot dotar de majors recursos per a la consolidació tant a les regions encarregades el control motor com cognitiu.

Una altra limitació que es destaca habitualment és la limitada utilització de tasques amb major distància temporal respecte la intervenció per mesurar la consolidació a més llarg termini, com poden ser setmanes o mesos posteriors (Bonuzzi et al., 2020). Com s'ha comentat a l'apartat metodològic, la majoria d'estudis han emprat tasques a les 24 hores i es critica la falta d'utilització de tasques 7 dies després (Bonuzzi et al., 2020), com en el present estudi. Això no obstant, només un estudi ha utilitzat una temporalitat més extensa que els 7 dies (Marin et al., 2020). Donada la necessitat de comprovar l'evolució de la consolidació motriu al llarg de setmanes i mesos posteriors a la intervenció, es considera una limitació del present estudi la no haver resolt aquest interès.

Capítol 15: Prospectiva

Les aportacions de la present investigació es poden concretar, també, en les futures accions investigadores que pot desencadenar. Per atendre a aquest apartat, a diferència dels anteriors, s'ha interrelacionat la informació basant-se en l'aportació directa o complementària del present estudi en relació amb la resta d'estudis mentre es considera una nova dimensió, com és el termini de les possibles recerques de futur.

A partir dels resultats obtinguts a l'estudi, una de les accions que es preveuen necessàries a curt termini és la replicació d'estudis similars (respectant al màxim les decisions metodològiques preses) que resolguin les limitacions comentades a l'apartat anterior. Entre elles, la utilització de mesures de l'activitat cerebral així com dels biomarcadors per tal de caracteritzar a nivell neuronal l'efecte de l'exercici sobre la consolidació de la tasca emprada, la utilització de mesures cognitives prèvies i posteriors a la intervenció per determinar l'efecte d'aquesta sobre el control cognitiu implicat a la tasca, o la utilització de proves posteriors a una setmana per determinar l'evolució a més llarg termini de l'aprenentatge. Aquestes replicacions podrien incloure petites modificacions del disseny per continuar incrementant l'aplicabilitat de les aportacions de l'àmbit. Una de les propostes que parteix dels interessos inicials de la tesi és la d'analitzar la intervenció amb nens i nenes en edat escolar, com a Angulo-Barroso et al. (2019) o a Lundbye-Jensen et al. (2017), en tant que, a llarg termini, pot esdevenir una estratègia eficaç per incrementar els processos d'aprenentatge i rendiment motor en contextos esportius o d'Educació Física. En aquestes investigacions, caldrà atendre a variables individuals com les destacades en el present estudi (gènere o nivell físic).

Més enllà de l'estudi amb infants i joves, diferents línies d'aquest àmbit de recerca es centraran en altres objectius, com el d'investigar els efectes de l'exercici puntual sobre la consolidació motriu en persones grans (Hübner et al., 2018), o en poblacions amb malalties com el Parkinson (Steib et al., 2018; Wanner et al., 2021) o que han patit accidents cerebrovasculars (Nepveu et al., 2017). L'aplicabilitat d'aquests resultats es materialitza en iniciatives i accions per millorar la qualitat de vida de les persones a partir de la millora d'un procés cognitiu com la memòria motriu, com ja s'està fent a laboratoris com el "MemoryLab" de Mont-real, del Dr. Marc Roig Pull.

També a curt termini, s'haurà de contemplar la utilització de tasques motrius diverses vinculades a contextos habituals com l'esportiu. La utilització de diferents tasques esportives suposarà un repte que, fins al moment, només s'ha atès a la investigació de (Bonuzzi et al., 2020) i la present. Implicarà una exigència sobre el control i la consideració de variables estranyes si es pretén

respectar l'ecologia del context estudiat, però suposarà un increment de la transferibilitat dels resultats que s'obtinguin, atenent-se així a un dels punts més reclamats en aquest àmbit d'estudi.

En aquestes tasques, com en qualsevol context motriu i esportiu, s'haurà de contemplar la dimensió cognitiva. En aquest sentit, es proposa continuar estudiant la incidència de l'exercici agut sobre tasques motrius amb diferent requeriment cognitiu, tot i que emprant tasques que recaiguin sobre un processament cognitiu diferent de l'efecte Stroop. Tot plegat, permetrà l'acostament de dues línies de recerca sovint allunyades, com són les que analitzen l'efecte de l'exercici sobre la memòria motriu i les que analitzen l'efecte sobre el control cognitiu. L'abordament integral es reclama necessari davant la incoherència de separar el rendiment motor del cognitiu en contextos on ambdós components interactuen i es converteixen en una sola actuació sinèrgica (Scharfen & Memmert, 2019).

Per aconseguir l'anterior, es necessitarà l'abordament des de diferents nivells d'anàlisi. Per aquest motiu, es reclamen la necessitat d'analitzar l'activitat cerebral així com els canvis moleculars que una sessió d'exercici genera per entendre els efectes sobre tasques motrius amb elevada demanda del control cognitiu.

Un altre pont que es comença a construir és el de la relació entre la memòria motriu i declarativa i l'efecte de l'exercici puntual (Chen et al., 2020). Mentre l'increment de les intervencions d'exercici dirigides a millorar els processos d'aprenentatge declaratiu s'incrementen considerablement en contextos formals, com l'educatiu, no s'ha respost amb la mateixa força la necessitat de millorar els processos d'aprenentatge motor. Les similituds entre ambdós sistemes en relació amb l'efecte de l'exercici (Chen et al., 2020) pot implicar una vinculació que faciliti la incorporació de la dimensió motriu en aquests programes d'AF dissenyats per potenciar els aprenentatges declaratius. Tot i això, caldrà atendre a les possibles interferències entre regions implicades tant a la consolidació declarativa com motriu (Galea et al., 2010).

Finalment, com a recull de les propostes anteriors, a més llarg termini caldrà continuar incrementant les aportacions en relació amb les decisions metodològiques i estudiar com interactuen aquestes amb els diferents interessos de recerca abans plantejats. Tot i que es disposen d'estudis variats a nivell metodològic (Roig-Hierro et al., 2022), cal concentrar els esforços en la creació d'un marc metodològic general que permeti estandarditzar les intervencions. Per aconseguir això, caldrà emprar estudis amb mostres més grans i de diferents procedències i contextos i variar lleugerament les decisions metodològiques per determinar la incidència dels canvis introduïts. Aquests resultats, juntament amb els que ja disposem i amb els que arribaran a partir de la utilització de diferents poblacions abans esmentades, permetran la construcció

d'aquest marc metodològic desitjat, el que podrà suposar la sistematització d'intervencions en contextos habituals. Per exemple, l'aplicació sistemàtica d'intervencions puntuals en contextos on es pretengui incrementar el rendiment motor i cognitiu, com pot ser l'esportiu, o en contextos clínics.

Bibliografía

- Abel, T., Nguyen, P. V., Barad, M., Deuel, T. A. S., Kandel, E. R., & Bourchouladze, R. (1997). Genetic demonstration of a role for PKA in the late phase of LTP and in hippocampus-based long-term memory. *Cell*, *88*(5), 615–626. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)81904-2](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)81904-2)
- Alarcón, F., Ureña, N., Castillo, A., Martín, D., & Cárdenas, D. (2017). Executive functions predict expertise in basketball players. *Revista de Psicología Del Deporte*, *26*(1), 71–74. <https://archives.rpd-online.com/article/view/v26-n3-alarcon-urena-castillo-et-al.html>
- Alberini, C. M., & Chen, D. Y. (2012). Memory enhancement: Consolidation, reconsolidation and insulin-like growth factor 2. *Trends in Neurosciences* (Vol. 35, Issue 5, pp. 274–283). <https://doi.org/10.1016/j.tins.2011.12.007>
- Albert, N. B., Robertson, E. M., & Miall, R. C. (2009). The Resting Human Brain and Motor Learning. *Current Biology*, *19*(12), 1023–1027. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.04.028>
- Albouy, G., King, B. R., Maquet, P., & Doyon, J. (2013). Hippocampus and striatum: Dynamics and interaction during acquisition and sleep-related motor sequence memory consolidation. *Hippocampus*, *23* (11), 985–1004. <https://doi.org/10.1002/hipo.22183>
- Alsina, B., Vu, T., & Cohen-Cory, S. (2001). Visualizing synapse formation in arborizing optic axons in vivo: Dynamics and modulation by BDNF. *Nature Neuroscience*, *4*(11), 1093–1101. <https://doi.org/10.1038/nn735>
- Altermann, W., & Gröpel, P. (2022). Effects of acute endurance, strength, and coordination exercise interventions on attention in adolescents: A randomized controlled study. *Psychology of Sport and Exercise*, *64*(Febrer 2022), 102300. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102300>
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, *16*(1), 17–42. <https://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>
- Alves, C. R. R., Tessaro, V. H., Teixeira, L. A. C., Murakava, K., Roschel, H., Gualano, B., & Takito, M. Y. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual and Motor Skills*, *118*(1), 63–

72. <https://doi.org/10.2466/22.06.PMS.118k10w4>

Amico, G., & Schaefer, S. (2022). Tennis expertise reduces costs in cognition but not in motor skills in a cognitive-motor dual-task condition. *Acta Psychologica*, 223(Gener), 103503. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103503>

Amin Yazdi, S. A., Moshirian Farahi, S. M., Moshirian Farahi, S. M. M., & Hosseini, J. (2018). Emotional Intelligence and its role in Cognitive Flexibility of Children with and without Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Anales de Psicología*, 34(2), 299. <https://doi.org/10.6018/analesps.34.2.283771>

Angulo-Barroso, R., Ferrer-Uris, B., & Busquets, A. (2019). Enhancing children's motor memory retention through acute intense exercise: Effects of different exercise durations. *Frontiers in Psychology*, 10(Agost), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02000>

Arreguín-González, I. J. (2013). Synapses and procedural memory. *Archivos de Neurociencias*, 18(3), 148–153. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=47881>

Asok, A., Leroy, F., Rayman, J. B., & Kandel, E. R. (2019). Molecular Mechanisms of the Memory Trace. *Trends in Neurosciences*, 42(1), 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2018.10.005>

Audiffren, M. (2009). Acute exercise and psychological functions: a cognitive-energetic approach. In *Exercise and Cognitive Function* (pp. 3–39).

Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: Energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychologica*, 129(3), 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.09.006>

Baird, J., Gaughan, M., Saffer, H., Sarzynski, M., Herter, T., Fritz, S., den Ouden, D., & Stewart, J. (2018). The Effect of Energy-Matched Exercise Intensity on Brain-Derived Neurotrophic Factor and Motor Learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 156, 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2018.10.008>

Ballester-Ferrer, J. A., Roldan, A., Cervelló, E., & Pastor, D. (2022). Memory Modulation by Exercise in Young Adults Is Related to Lactate and Not Affected by Sex or BDNF Polymorphism. *Biology*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/biology11101541>

- Banich, M. T. (2019). The Stroop Effect Occurs at Multiple Points Along a Cascade of Control: Evidence From Cognitive Neuroscience Approaches. *Frontiers in Psychology*, 10(Octubre), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02164>
- Barco, A., Bailey, C. H., & Kandel, E. R. (2006). Common molecular mechanisms in explicit and implicit memory. *Journal of Neurochemistry*, 97(6), 1520–1533. <https://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2006.03870.x>
- Barnett, L. M., Hardy, L. L., Brian, A. S., & Robertson, S. (2015). The Development and Validation of a Golf Swing and Putt Skill Assessment for Children. In ©*Journal of Sports Science and Medicine* (Vol. 14). <http://www.jssm.org>
- Basso, J. C., Shang, A., Elman, M., Karmouta, R., & Suzuki, W. A. (2015). Acute Exercise Improves Prefrontal Cortex but not Hippocampal Function in Healthy Adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 21(10), 791–801. <https://doi.org/10.1017/S135561771500106X>
- Batalla, A. (2005). *Retroalimentación y aprendizaje motor: influencia de las acciones realizadas de forma previa a la recepción del conocimiento de los resultados en el aprendizaje y la retención de habilidades motrices* [Tesi de doctorat, Universitat de Barcelona]. <http://hdl.handle.net/2445/43053>
- Basso, J. C., & Suzuki, W. A. (2017). The Effects of Acute Exercise on Mood, Cognition, Neurophysiology, and Neurochemical Pathways: A Review. *Brain Plasticity*, 2(2), 127–152. <https://doi.org/10.3233/bpl-160040>
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2008). *Neurociencias: la exploración del cerebro* (3ra ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Beavan, A., Spielmann, J., Mayer, J., Skorski, S., Meyer, T., & Fransen, J. (2020). The rise and fall of executive functions in high-level football players. *Psychology of Sport and Exercise*, 49(Agost), 101677. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101677>
- Beck, M. M., Grandjean, M. U., Hartmand, S., Spedden, M. E., Christiansen, L., Roig, M., & Lundbye-Jensen, J. (2020). Acute Exercise Protects Newly Formed Motor Memories Against rTMS-induced Interference Targeting Primary Motor Cortex. *Neuroscience*, 436, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.04.016>
- Bediz, C. S., Oniz, A., Guducu, C., Demirci, E. U., Ogut, H., Gunay, E., Cetinkaya, C., &

- Ozgoren, M. (2016). Acute supramaximal exercise increases the brain oxygenation in relation to cognitive workload. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*(Abril), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00174>
- Berg, W. K., & Byrd, D. L. (2002). The Tower of London spatial problem-solving task: Enhancing clinical and research implementation. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *24*(5), 586–604. <https://doi.org/10.1076/jcen.24.5.586.1006>
- Berghuis, K. M. M., Fagioli, S., Maurits, N. M., Zijdwind, I., Marsman, J. B. C., Hortobágyi, T., Koch, G., & Bozzali, M. (2019). Age-related changes in brain deactivation but not in activation after motor learning. *NeuroImage*, *186*(September 2018), 358–368. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.11.010>
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children’s executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, *30*(4), 331–351. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function. *Child Development*, *81*(6), 1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Bezzola, L., Mérillat, S., Gaser, C., & Jäncke, L. (2011). Training-induced neural plasticity in golf novices. *Journal of Neuroscience*, *31*(35), 12444–12448. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1996-11.2011>
- Bidzan-Bluma, I., & Lipowska, M. (2018). Physical activity and cognitive functioning of children: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040800>
- Boisgontier, M. P., Wittenberg, G. F., Fujiyama, H., Levin, O., & Swinnen, S. P. (2014). Complexity of central processing in simple and choice multilimb reaction-time tasks. *PLoS ONE*, *9*(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090457>
- Bonuzzi, G. M. G., Alves, É. J. M., & Perotti, A. (2020). Effects of the aerobic exercise on the learning of a sports motor skill. *Motriz. Revista de Educacao Fisica*, *26*(2), 1–8. <https://doi.org/10.1590/s1980-6574202000011420>
- Bonuzzi, G. M. G., & Torriani-Pasin, C. (2022). Cardiovascular exercise and motor learning in non-disabled individuals: A systematic review with a behavioral emphasis. *Motriz: Revista de Educação Física*, *28*(1–16). <https://doi.org/10.1590/s1980-65742022005221>

- Borror, A. (2017). Brain-derived neurotrophic factor mediates cognitive improvements following acute exercise. *Medical Hypotheses*, *Juny*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.mehy.2017.06.024>
- Boyden, E. S., Katoh, A., Pyle, J. L., Chatila, T. A., Tsien, R. W., & Raymond, J. L. L. (2006). Selective Engagement of Plasticity Mechanisms for Motor Memory Storage. *Neuron*, *51*(6), 823–834. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.08.026>
- Brisswalter, J., Collardeau, M., & René, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*, *32*(9), 555–566.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00002>
- Brown, D. M. Y., & Bray, S. R. (2018). Acute effects of continuous and high-intensity interval exercise on executive function. *Journal of Applied Biobehavioral Research*, *23*(3).
<https://doi.org/10.1111/jabr.12121>
- Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., Dan, I., & Soya, H. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: An fNIRS study. *NeuroImage*, *98*, 336–345.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.04.067>
- Camacho, P., Cruz, D. A., Madinabeitia, I., Giménez, F. J., & Cárdenas, D. (2021). Time Constraint Increases Mental Load and Influences in the Performance in Small-Sided Games in Basketball. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *92*(3), 443–452.
<https://doi.org/10.1080/02701367.2020.1745138>
- Cantrelle, J., Burnett, G., & Loprinzi, P. D. (2020). Acute exercise on memory function: Open vs. Closed skilled exercise. *Health Promotion Perspectives*, *10*(2), 123–128.
<https://doi.org/10.34172/hpp.2020.20>
- Carey, J. R., Bhatt, E., & Nagpal, A. (2005). Neuroplasticity promoted by task complexity. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *33*(1), 24–31. https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2005/01000/Neuroplasticity_Promoted_by_Task_Complexity.5.aspx
- Carron, A. V., & Ferchuk, A. D. (1971). The effect of fatigue on learning and performance of a gross motor task. *Journal of Motor Behavior*, *3*(1), 62–69.
<https://doi.org/10.1080/00222895.1971.10734893>
- Censor, N., & Cohen, L. G. (2011). Using repetitive transcranial magnetic stimulation to study

- the underlying neural mechanisms of human motor learning and memory. *Journal of Physiology*, 589(1), 21–28. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.198077>
- Centeno, C., Medeiros, D., Beck, M. M., Lugassy, L., Gonzalez, D. F., Nepveu, J. F., & Roig, M. (2018). The effects of aging on cortico-spinal excitability and motor memory consolidation. *Neurobiology of Aging*, 70, 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2018.06.035>
- Chang, H., Kim, K., Jung, Y.-J., & Kato, M. (2017). Effects of Acute High-Intensity Resistance Exercise on Cognitive Function and Oxygenation in Prefrontal Cortex. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, 21(2), 1–8. <https://doi.org/10.20463/jenb.2017.0012>
- Chang, Y. K., Chi, L., Etnier, J. L., Wang, C. C., Chu, C. H., & Zhou, C. (2014). Effect of acute aerobic exercise on cognitive performance: Role of cardiovascular fitness. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(5), 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.04.007>
- Chang, Y. K., Chu, C. H., Wang, C. C., Song, T. F., & Wei, G. X. (2015). Effect of acute exercise and cardiovascular fitness on cognitive function: An event-related cortical desynchronization study. *Psychophysiology*, 52(3), 342–351. <https://doi.org/10.1111/psyp.12364>
- Chang, Y. K., & Etnier, J. L. (2009). Exploring the dose-response relationship between resistance exercise intensity and cognitive function. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31(5), 640–656. <https://doi.org/10.1123/jsep.31.5.640>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453(250), 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Charalambous, C. C., Alcantara, C. C., French, M. A., Li, X., Matt, K. S., Kim, H. E., Morton, S. M., & Reisman, D. S. (2018). A single exercise bout and locomotor learning after stroke: physiological, behavioural, and computational outcomes. *Journal of Physiology*, 596(10), 1999–2016. <https://doi.org/10.1113/JP275881>
- Charalambous, C. C., French, M. A., Morton, S. M., & Reisman, D. S. (2019). A single high-intensity exercise bout during early consolidation does not influence retention or relearning of sensorimotor locomotor long-term memories. *Experimental Brain Research*, 237(11), 2799–2810. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05635-7>

- Chen, J., Roig, M., & Wright, D. L. (2020). Exercise reduces competition between procedural and declarative memory systems. *ENeuro*, 7(4), 1–9.
<https://doi.org/10.1523/ENEURO.0070-20.2020>
- Chen, T. T., Wang, K. P., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2022). Nonlinear refinement of functional brain connectivity in golf players of different skill levels. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06161-3>
- Christiansen, L., Thomas, R., Beck, M. M., Pingel, J., Andersen, J. D., Mang, C. S., Madsen, M. A. J., Roig, M., & Lundbye-Jensen, J. (2019). The Beneficial Effect of Acute Exercise on Motor Memory Consolidation is Modulated by Dopaminergic Gene Profile. *Journal of Clinical Medicine*, 8(5), 578. <https://doi.org/10.3390/jcm8050578>
- Cirillo, J., Lavender, A. P., Ridding, M. C., & Semmler, J. G. (2009). Motor cortex plasticity induced by paired associative stimulation is enhanced in physically active individuals. *Journal of Physiology*, 587(24), 5831–5842. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.181834>
- Clark, K. L., & Noudoost, B. (2014). The role of prefrontal catecholamines in attention and working memory. *Frontiers in Neural Circuits*, 8(Abril), 1–19.
<https://doi.org/10.3389/fncir.2014.00033>
- Coco, M., Alagona, G., Rapisarda, G., Costanzo, E., Calogero, R. A., Perciaevale, V., & Perciavalle, V. (2010). Elevated blood lactate is associated with increased motor cortex excitability. *Somatosensory and Motor Research*, 27(1), 1–8.
<https://doi.org/10.3109/08990220903471765>
- Coco, M., Perciavalle, V., Cavallari, P., & Perciavalle, V. (2016). Effects of an exhaustive exercise on motor skill learning and on the excitability of primary motor cortex and supplementary motor area. *Medicine*, 95(11), 1–9.
<https://doi.org/10.1097/MD.0000000000002978>
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness Effects On The Cognitive Function Of Older Adults: A Meta-Analytic Study. *Psychological Science*, 14(2).
<https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01430>
- Coles, K., & Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences*, 26(3), 333–344.
<https://doi.org/10.1080/02640410701591417>

- Contreras-Osorio, F., Campos-Jara, C., Martínez-Salazar, C., Chiroso-Ríos, L., & Martínez-García, D. (2021). Effects of Sport-Based Interventions on Children's Executive Function: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain Sciences, 11*(755).
<https://doi.org/10.3390/brainsci11060755>
- Cook, D. A., & Beckman, T. J. (2010). Reflections on experimental research in medical education. *Advances in Health Sciences Education, 15*(3), 455–464.
<https://doi.org/10.1007/s10459-008-9117-3>
- Crova, C., Struzzolino, I., Marchetti, R., Masci, I., Vannozzi, G., Forte, R., & Pesce, C. (2014). Cognitively challenging physical activity benefits executive function in overweight children. *Journal of Sports Sciences, 32*(3), 201–211.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2013.828849>
- Dal Maso, F., Desormeau, B., Boudrias, M. H., & Roig, M. (2018). Acute cardiovascular exercise promotes functional changes in cortico-motor networks during the early stages of motor memory consolidation. *NeuroImage, 174*(Desembre), 380–392.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.029>
- Daly-Smith, A. J., Zwolinsky, S., McKenna, J., Tomporowski, P. D., Defeyter, M. A., & Manley, A. (2018). Systematic review of acute physically active learning and classroom movement breaks on children's physical activity, cognition, academic performance and classroom behaviour: Understanding critical design features. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine, 4*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000341>
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia, 44*(11), 2037–2078.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., Allison, J. D., & Naglieri, J. A. (2011). Exercise Improves Executive Function and Achievement and Alters Brain Activation in Overweight Children: A Randomized, Controlled Trial. *Health Psychology, 30*(1), 91–98. <https://doi.org/10.1037/a0021766>
- Dayan, E., & Cohen, L. G. (2011). Neuroplasticity subserving motor skill learning. *Neuron, 72*(3), 443–454. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.008>

- Debas, K., Carrier, J., Orban, P., Barakat, M., Lungu, O., Vandewalle, G., Tahar, A. H., Bellec, P., Karni, A., Ungerleider, L. G., Benali, H., & Doyon, J. (2010). Brain plasticity related to the consolidation of motor sequence learning and motor adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*(41), 17839–17844. <https://doi.org/10.1073/pnas.1013176107>
- di Corrado, D., Murgia, M., & Freda, A. (2014). Attentional focus and mental skills in senior and junior professional rugby union players. *Sport Sciences for Health*, *10*(2), 79–83. <https://doi.org/10.1007/s11332-014-0177-x>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2015). Effects of Physical Exercise on Executive Functions: Going beyond Simply Moving to Moving with Thought. *Annals of Sports Medicine and Research*, *2*(1), 1011. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4437637/>
- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *18*, 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>
- Dietrich, A. (2006). Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry Research*, *145*(1), 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2005.07.033>
- Dietrich, A., & Audiffren, M. (2011). The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *35*(6), 1305–1325. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.02.001>
- Dinoff, A., Herrmann, N., Swardfager, W., & Lanctôt, K. L. (2017). The effect of acute exercise on blood concentrations of brain-derived neurotrophic factor in healthy adults: a meta-analysis. *European Journal of Neuroscience*, *46*(1), 1635–1646. <https://doi.org/10.1111/ejn.13603>
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K., & Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. *Medicine and Science in*

- Sports and Exercise*, 48(6), 1197–1222). Lippincott Williams and Wilkins.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000901>
- Doyon, J., Bellec, P., Amsel, R., Penhune, V., Monchi, O., Carrier, J., Lehéricy, S., & Benali, H. (2009). Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioural Brain Research*, 199(1), 61–75.
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.11.012>
- Doyon, J., & Benali, H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 3(Abril), 1523–1524. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2005.1556102>
- Doyon, J., Penhune, V., & Ungerleider, L. G. (2003). Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. *Neuropsychologia*, 41(3), 252–262.
[https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00158-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00158-6)
- Driscoll, I. (2006). The aging hippocampus: A multilevel analysis in the rat. *Neuroscience*, 139(4), 1173–1185. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.01.040>
- Echavarría, L. M. (2017). Modelos explicativos de las funciones ejecutivas Explanatory models of executive functions. *Revista de Investigación En Psicología*, 20, 237–247.
<https://hdl.handle.net/20.500.12867/968>
- Eichenbaum, H. (2003). *Neurociencia cognitiva de la memoria*. Ariel.
- Etnier, J., Labban, J. D., Piepmeyer, A., Davis, M. E., & Henning, D. A. (2014). Effects of an acute bout of exercise on memory in 6th grade children. *Pediatric Exercise Science*, 26(3), 250–258. <https://doi.org/10.1123/pes.2013-0141>
- Fenn, K. M., & Hambrick, D. Z. (2013). What drives sleep-dependent memory consolidation: Greater gain or less loss? *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(3), 501–506.
<https://doi.org/10.3758/s13423-012-0366-z>
- Ferrer-Uris, B., Busquets, A., & Angulo-Barroso, R. (2018). Adaptation and retention of a perceptual-motor task in children: Effects of a single bout of intense endurance exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 40(1), 1–9. <https://doi.org/10.1123/jsep.2017-0044>
- Ferrer-Uris, B., Busquets, A., Lopez-Alonso, V., Fernandez-Del-Olmo, M., & Angulo-Barroso,

- R. (2017). Enhancing consolidation of a rotational visuomotor adaptation task through acute exercise. *PLoS ONE*, *12*(4), 3–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175296>
- Ferris, L. T., Williams, J. S., & Shen, C. L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *39*(4), 728–734. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802f04c7>
- Floyer-Lea, A., & Matthews, P. M. (2005). Distinguishable brain activation networks for short- and long-term motor skill learning. *Journal of Neurophysiology*, *94*(1), 512–518. <https://doi.org/10.1152/jn.00717.2004>
- Floyer-Lea, A., Wylezinska, M., Kincses, T., & Matthews, P. M. (2006). Rapid modulation of GABA concentration in human sensorimotor cortex during motor learning. *Journal of Neurophysiology*, *95*(3), 1639–1644. <https://doi.org/10.1152/jn.00346.2005>
- Friedlander, A. L., Casazza, G. A., Horning, M. A., Huie, M. J., Piacentini, M. F., Trimmer, J. K., Brooks, G. A., & Piacen-Tini, M. F. (1998). Training-induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently from men. *Journal of Applied Physiology*, *85*(3), 1175–1186. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.3.1175>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, *86*, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, *47*(1), 72–89. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>
- Fritz, C. O., Morris, P. E., & Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: Current use, calculations, and interpretation. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(1), 2–18. <https://doi.org/10.1037/a0024338>
- Fuster, J. M. (2010). El paradigma reticular de la memoria cortical. *Revista de Neurologia*, *50*(SUPPL. 3), 3–10. <https://doi.org/10.33588/rn.50s03.2010023>
- Galea, J. M., Albert, N. B., Ditye, T., & Miall, R. C. (2010). Disruption of the dorsolateral prefrontal cortex facilitates the consolidation of procedural skills. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(6), 1158–1164. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21259>

- Gandotra, A., Csaba, S., Sattar, Y., Cserényi, V., Bizonics, R., Cserjesi, R., & Kotyuk, E. (2021). A Meta-analysis of the Relationship between Motor Skills and Executive Functions in Typically-developing Children. *Journal of Cognition and Development*, 23(1), 83–110. <https://doi.org/10.1080/15248372.2021.1979554>
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334–1359. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>
- Garcés-Vieria, M. V., & Suárez-Escudero, J. C. (2014). Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *CES Medicina*, 28(1), 119–131.
- García Jiménez, M. V. (2000). *Métodos de investigación científica en psicología : experimental, selectivo, observacional* (J. M. Alvarado Izquierdo, Ed.). EUB.
- Godwin, M., & Schmidt, R. A. (1971). Muscular Fatigue and Learning a Discrete Motor Skill. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 42(4), 374–382. <https://doi.org/10.1080/10671188.1971.10615084>
- Gold, P. E. (2014). Regulation of memory - From the adrenal medulla to liver to astrocytes to neurons. *Brain Research Bulletin*, 105, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2013.12.012>
- Gomez-Pinilla, F., Vaynman, S., & Ying, Z. (2008). Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. *European Journal of Neuroscience*, 28(11), 2278–2287. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06524.x>
- González-Peris, M., Peirau, X., Roure, E., & Violán, M. (n.d.). *Guia de prescripció d'exercici físic per a la salut* (2ona ed.). Generalitat de Catalunya. <https://salutpublica.gencat.cat/ca/detalls/Article/Guia-de-prescripcio-dexercici-fisic-per-a-la-salut-Guia-PEFS>
- Gottmann, K., Mittmann, T., & Lessmann, V. (2009). BDNF signaling in the formation, maturation and plasticity of glutamatergic and GABAergic synapses. *Experimental Brain Research*, 199(3–4), 203–234. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1994-z>
- Gu, Q., Zou, L., Loprinzi, P. D., Quan, M., & Huang, T. (2019). Effects of open versus closed

- skill exercise on cognitive function: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 10(Juliol). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01707>
- Guillem, M. (2022). *Correlació entre rendiment executiu i expertesa motriu al final de la infància Correlació entre rendiment executiu i expertesa motriu al final de la infància*. [Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona]. <http://hdl.handle.net/2445/192320>
- Guiney, H., Lucas, S. J., Cotter, J. D., & Machado, L. (2015). Evidence cerebral blood-flow regulation mediates exercise-cognition links in healthy young adults. *Neuropsychology*, 29(1), 1–9. <https://doi.org/10.1037/neu0000124>
- Guiney, H., & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(1), 73–86. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0345-4>
- Gunstad, J., Spitznagel, M. B., Paul, R. H., Cohen, R. A., Kohn, M., Luyster, F. S., Clark, R., Williams, L. M., & Gordon, E. (2008). Body mass index and neuropsychological function in healthy children and adolescents. *Appetite*, 50(2–3), 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.07.008>
- Hart, M., & Shay, C. (1964). Relationship between Physical Fitness and Academic Success. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 35(3), 443–445. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10671188.1964.10613337>
- Hausmann, M. (2017). Why sex hormones matter for neuroscience: A very short review on sex, sex hormones, and functional brain asymmetries. *Journal of Neuroscience Research*, 95(1–2), 40–49. <https://doi.org/10.1002/jnr.23857>
- Haverkamp, B. F., Wiersma, R., Vertessen, K., van Ewijk, H., Oosterlaan, J., & Hartman, E. (2020). Effects of physical activity interventions on cognitive outcomes and academic performance in adolescents and young adults: A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 00(00), 1–24. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1794763>
- Hawkins, R. D., Kandel, E. R., & Bailey, C. H. (2006). Molecular Mechanisms of Memory Storage in Aplysia. *The Biological Bulletin*, 210(3). <https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.2307/4134556>
- Hayley, S., Du, L., Litteljohn, D., Palkovits, M., Faludi, G., Merali, Z., Poulter, M. O., & Anisman, H. (2015). Gender and brain regions specific differences in brain derived

neurotrophic factor protein levels of depressed individuals who died through suicide. *Neuroscience Letters*, 600, 12–16. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.05.052>

Helm, E. E., Matt, K. S., Kirschner, K. F., Pohlig, R. T., Kohl, D., & Reisman, D. S. (2017). The influence of high intensity exercise and the Val66Met polymorphism on circulating BDNF and locomotor learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 144, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2017.06.003>

Hendy, A. M., Andrushko, J. W., Della Gatta, P. A., & Teo, W.-P. (2022). Acute Effects of High-Intensity Aerobic Exercise on Motor Cortical Excitability and Inhibition in Sedentary Adults. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.814633>

Hikosaka, O., Nakamura, K., Sakai, K., & Nakahara, H. (2002). Central mechanisms of motor skill learning. *Current Opinion in Neurobiology*, 12(2), 217–222. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00307-0](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00307-0)

Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 58–65. <https://www.nature.com/articles/nrn2298>

Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N. A., Raine, L. B., Scudder, M. R., Drollette, E. S., Moore, R. D., Wu, C. T., & Kamijo, K. (2014). Effects of the FITKids Randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics*, 134(4), 1063–1071. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-3219>

Hogervorst, E., Riedel, W., Jeukendrup, A., & Jolles, J. (1996). Cognitive Performance after Strenuous Physical Exercise. *Perceptual and Motor Skills*, 83(2), 478–488. <https://doi.org/10.2466/pms.1996.83.2.479>

Hsieh, S. S., Chueh, T. Y., Huang, C. J., Kao, S. C., Hillman, C. H., Chang, Y. K., & Hung, T. M. (2021). Systematic review of the acute and chronic effects of high-intensity interval training on executive function across the lifespan. *Journal of Sports Sciences*, 39(1), 10–22. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1803630>

Hsieh, S. S., Huang, C. J., Wu, C. T., Chang, Y. K., & Hung, T. M. (2018). Acute exercise facilitates the N450 inhibition marker and P3 attention marker during stroop test in young and older adults. *Journal of Clinical Medicine*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/jcm7110391>

Huang, R., Lu, M., Song, Z., & Wang, J. (2015). Long-term intensive training induced brain

- structural changes in world class gymnasts. *Brain Structure and Function*, 220(2), 625–644. <https://doi.org/10.1007/s00429-013-0677-5>
- Hübner, L., Godde, B., & Voelcker-Rehage, C. (2018). Acute exercise as an intervention to trigger motor performance and EEG beta activity in older adults. *Neural Plasticity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4756785>
- Hung, A., Roig, M., Gillen, J. B., Sabiston, C. M., Swardfager, W., & Chen, J. L. (2021). Aerobic exercise and aerobic fitness level do not modify motor learning. *Scientific Reports*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84764-y>
- Humiston, G. B., & Wamsley, E. J. (2018). A brief period of eyes-closed rest enhances motor skill consolidation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 155, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2018.06.002>
- Hung, C.-L., Tseng, J.-W., Chao, H.-H., Hung, T.-M., & Wang, H.-S. (2018). Effect of Acute Exercise Mode on Serum Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) and Task Switching Performance. *Journal of Clinical Medicine*, 7(10), 301. <https://doi.org/10.3390/jcm7100301>
- Hung, T. M., Tsai, C. L., Chen, F. T., Wang, C. C., & Chang, Y. K. (2013). The immediate and sustained effects of acute exercise on planning aspect of executive function. *Psychology of Sport and Exercise*, 14(5), 728–736. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2013.05.004>
- Hunter, M. A., & May, R. B. (1993). Some Myths Concerning Parametric and Nonparametric Tests. *Canadian Psychology*, 34(4), 1–384. <https://doi.org/10.1037/h0078860>
- Huys, R., Studenka, B. E., Rheaume, N. L., Zelaznik, H. N., & Jirsa, V. K. (2008). Distinct timing mechanisms produce discrete and continuous movements. *PLoS Computational Biology*, 4(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000061>
- Ide, K., & Secher, N. H. (2000). Cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Progress in Neurobiology*, 61(4), 397–414. [https://doi.org/10.1016/S0301-0082\(99\)00057-X](https://doi.org/10.1016/S0301-0082(99)00057-X)
- Ishihara, T., Drollette, E. S., Ludyga, S., Hillman, C. H., & Kamijo, K. (2021). The effects of acute aerobic exercise on executive function: A systematic review and meta-analysis of individual participant data. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 128(Abril), 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.06.026>

- Jiménez-Jiménez, F. J., Calleja, M., Alonso-Navarro, H., Rubio, L., Navacerrada, F., Pilo-De-La-Fuente, B., Plaza-Nieto, J. F., Arroyo-Solera, M., García-Ruiz, P. J., García-Martín, E., & Agúndez, J. A. G. (2011). Influence of age and gender in motor performance in healthy subjects. *Journal of the Neurological Sciences*, *302*(1–2), 72–80.
<https://doi.org/10.1016/j.jns.2010.11.021>
- Jo, J. S., Chen, J., Riechman, S., Roig, M., & Wright, D. L. (2019). The protective effects of acute cardiovascular exercise on the interference of procedural memory. *Psychological Research*, *83*(7), 1543–1555. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1005-8>
- Jung, M., Ryu, S., Kang, M., Javadi, A. H., & Loprinzi, P. D. (2021). Evaluation of the transient hypofrontality theory in the context of exercise: A systematic review with meta-analysis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *75*(7), 1193–1214.
<https://doi.org/10.1177/17470218211048807>
- Justel, N., & Syrdellis, M. A. P. (2014). Novedad y modulación de la memoria: mecanismos neurobiológicos implicados. *Interdisciplinaria*, *31*(2), 195–211.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668-70272014000200001&script=sci_arttext&tlng=pt
- Kandel, E. R. (2007). *En busca de la memoria : el nacimiento de una nueva ciencia de la mente*. Katz.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-Memory Capacity and the Control of Attention: The Contributions of Goal Neglect, Response Competition, and Task Set to Stroop Interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*(1), 47–70.
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.1.47>
- Kantak, S. S., & Winstein, C. J. (2012). Learning-performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. *Behavioural Brain Research*, *228*(1), 219–231. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.11.028>
- Kao, S. C., Wang, C. H., Kamijo, K., Khan, N., & Hillman, C. (2021). Acute effects of highly intense interval and moderate continuous exercise on the modulation of neural oscillation during working memory. *International Journal of Psychophysiology*, *160*(Desemmbre), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.12.003>
- Kendall, B. J., Siekirk, N. J., & Lai, Q. (2021). Effects of Acute High-Intensity Interval

Training on Information Processing Speed. *Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ah*, 3081–3086. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004029>

Keyan, D., & Bryant, R. A. (2017). Acute physical exercise in humans enhances reconsolidation of emotional memories. *Psychoneuroendocrinology*, 86(Septembre), 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.09.019>

Khandekar, P., Shenoy, S., & Sathe, A. (2022). Prefrontal cortex hemodynamic response to acute high intensity intermittent exercise during executive function processing. *Journal of General Psychology*. <https://doi.org/10.1080/00221309.2022.2048785>

Kim, H., Heo, H. I., Kim, D. H., Ko, I. G., Lee, S. S., Kim, S. E., Kim, B. K., Kim, T. W., Ji, E. S., Kim, J. D., Shin, M. S., Choi, Y. W., & Kim, C. J. (2011). Treadmill exercise and methylphenidate ameliorate symptoms of attention deficit/hyperactivity disorder through enhancing dopamine synthesis and brain-derived neurotrophic factor expression in spontaneous hypertensive rats. *Neuroscience Letters*, 504(1), 35–39. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.08.052>

Kim, J. H., Han, J. K., Kim, B. N., & Han, D. H. (2015). Brain networks governing the golf swing in professional golfers. *Journal of Sports Sciences*, 33(19), 1980–1987. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022570>

Kim, S., Ogawa, K., Lv, J., Schweighofer, N., & Imamizu, H. (2015). Neural Substrates Related to Motor Memory with Multiple Timescales in Sensorimotor Adaptation. *PLoS Biology*, 13(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002312>

Kimura, D., Hosokawa, T., Ujikawa, T., & Ito, T. (2022). Effects of different exercise intensities on prefrontal activity during a dual task. *Scientific Reports*, 12(1), 13008. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17172-5>

Kitchen, C. (2009). Nonparametric versus parametric tests of location in biomedical research. *American Journal of Ophthalmology*, 174(4), 571–572. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2008.06.031>

Kivunja, C., & Kuyini, A. B. (2017). Understanding and Applying Research Paradigms in Educational Contexts. *International Journal of Higher Education*, 6(5), 26. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v6n5p26>

Klatt, S., & Nerb, J. (2021). Position-Specific Attentional Skills in Team Sports: A Comparison

- between Defensive and Offensive Football Players. *Applied Sciences*, *11*(13), 5896.
<https://doi.org/10.3390/app11135896>
- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M., & Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: A systematic review of experimental studies in human subjects. *Sports Medicine*, *40*(9), 765–801.
<https://doi.org/10.2165/11534530-000000000-00000>
- Koch, I., Poljac, E., Müller, H., & Kiesel, A. (2018). Cognitive Structure, Flexibility, and Plasticity in Human Multitasking—An Integrative Review of Dual-Task and Task-Switching Research. *Psychological Bulletin*, *144*(6), 557–583.
<https://doi.org/10.1037/bul0000144>
- Koziol, L. F., Budding, D. E., & Chidekel, D. (2012). From movement to thought: Executive function, embodied cognition, and the cerebellum. *Cerebellum*, *11*(2), 505–525.
<https://doi.org/10.1007/s12311-011-0321-y>
- Koziol, L. F., & Lutz, J. T. (2013). From movement to thought: The development of executive function. *Applied Neuropsychology: Child*, *2*(2), 104–115.
<https://doi.org/10.1080/21622965.2013.748386>
- Krakauer, J. W., & Shadmehr, R. (2006). Consolidation of motor memory. In *Trends in Neurosciences*. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2005.10.003>
- Krause, D., Agethen, M., & Zobe, C. (2018). Error Feedback Frequency Affects Automaticity But Not Accuracy and Consistency After Extensive Motor Skill Practice. *Journal of Motor Behavior*, *50*(2), 144–154. <https://doi.org/10.1080/00222895.2017.1327406>
- Krenn, B., Finkenzeller, T., Würth, S., & Amesberger, G. (2018). Sport type determines differences in executive functions in elite athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, *38*(June), 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.06.002>
- Kujach, S., Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Fukuie, T., Laskowski, R., Dan, I., & Soya, H. (2018). A transferable high-intensity intermittent exercise improves executive performance in association with dorsolateral prefrontal activation in young adults. *NeuroImage*, *169*(Desembre), 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.003>
- Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., & Bherer, L. (2013). Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain and*

Cognition, 81(1), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.10.001>

- Lauber, B., Franke, S., Taube, W., & Gollhofer, A. (2017). The effects of a single bout of exercise on motor memory interference in the trained and untrained hemisphere. *Neuroscience*, 347(0), 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.01.048>
- Laufer, Y. (2008). Effect of cognitive demand during training on acquisition, retention and transfer of a postural skill. *Human Movement Science*, 27(1), 126–141. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.07.011>
- Laurin, R., & Finez, L. (2020). Working memory capacity does not always promote dual-task motor performance: The case of juggling in soccer. *Scandinavian Journal of Psychology*, 61(2), 168–176. <https://doi.org/10.1111/sjop.12589>
- Lavalaye, J., Booij, J., Reneman, L., Habraken, J. B. A., & Van Royen, E. A. (2000). Effect of age and gender on dopamine transporter imaging with [123I]FP-CIT SPET in healthy volunteers. *European Journal of Nuclear Medicine*, 27(7), 867–869. <https://doi.org/10.1007/s002590000279>
- Lee, J. L. C. (2009). Reconsolidation: maintaining memory relevance. *Trends in Neurosciences*, 32(8), 413–420. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2009.05.002>
- Lee, J. L. C., Nader, K., & Schiller, D. (2017). An Update on Memory Reconsolidation Updating. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(7), 531–545. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.04.006>
- Lee, K. H., Mathews, P. J., Reeves, A. M. B., Choe, K. Y., Jami, S. A., Serrano, R. E., & Otis, T. S. (2015). Circuit mechanisms underlying motor memory formation in the cerebellum. *Neuron*, 86(2), 529–540. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.03.010>
- Lee, T. D., Swinnen, S. P., & Serrien, D. J. (1994). Cognitive Effort and Motor Learning. *Quest*, 46(3), 328–344. <https://doi.org/10.1080/00336297.1994.10484130>
- Lehmann, N., Villringer, A., & Taubert, M. (2020). Colocalized white matter plasticity and increased cerebral blood flow mediate the beneficial effect of cardiovascular exercise on long-term motor learning. *Journal of Neuroscience*, 40(12), 2416–2429. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2310-19.2020>
- Lehmann, N., Villringer, A., & Taubert, M. (2022). Priming cardiovascular exercise improves

- complex motor skill learning by affecting the trajectory of learning-related brain plasticity. *Scientific Reports*, 12(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05145-7>
- Leisman, G., Moustafa, A. A., & Shafir, T. (2016). Thinking, Walking, Talking: Integratory Motor and Cognitive Brain Function. *Frontiers in Public Health* (4). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00094>
- Lelis-Torres, N., Ugrinowitsch, H., Apolinário-Souza, T., Benda, R. N., & Lage, G. M. (2017). Task engagement and mental workload involved in variation and repetition of a motor skill. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15343-3>
- Lew, S. E., Rey, H. G., Gutnisky, D. A., & Zanutto, B. S. (2008). Differences in prefrontal and motor structures learning dynamics depend on task complexity: A neural network model. *Neurocomputing*, 71(13–15), 2782–2793. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2007.09.010>
- Lichtman, S., & Poser, E. (1983). The effects of exercise on mood and cognitive functioning. *Journal of Psychosomatic Research*, 27(1), 43–52. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-3999\(83\)90108-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-3999(83)90108-3)
- Lin, C. H., Yang, H. C., Knowlton, B. J., Wu, A. D., Iacoboni, M., Ye, Y. L., Huang, S. L., & Chiang, M. C. (2018). Contextual interference enhances motor learning through increased resting brain connectivity during memory consolidation. *NeuroImage*, 181(June), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.06.081>
- Lin, T. W., & Kuo, Y. M. (2013). Exercise benefits brain function: The monoamine connection. *Brain Sciences*, 3(1), 39–53. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/brainsci3010039>
- Lista, I., & Sorrentino, G. (2010). Biological mechanisms of physical activity in preventing cognitive decline. *Cellular and Molecular Neurobiology*, 30(4), 493–503. <https://doi.org/10.1007/s10571-009-9488-x>
- Liu, J., Qi, B., Gan, L., Shen, Y., & Zou, Y. (2022). A Bibliometric Analysis of the Literature on Irisin from 2012–2021. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph19106153>
- Loprinzi, P. D., & Frith, E. (2019). A brief primer on the mediational role of BDNF in the exercise-memory link. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 39(1), 9–14. <https://doi.org/10.1111/cpf.12522>

- Loprinzi, P. D., Roig, M., Etnier, J. L., Tomporowski, P. D., & Voss, M. (2021). Acute and chronic exercise effects on human memory: What we know and where to go from here. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(21). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcm10214812>
- Loprinzi, P., & Frith, E. (2018). The Role of Sex in Memory Function: Considerations and Recommendations in the Context of Exercise. *Journal of Clinical Medicine*, *7*(6), 132. <https://doi.org/10.3390/jcm7060132>
- Lorås, H., Haga, M., & Sigmundsson, H. (2020). Effect of a Single Bout of Acute Aerobic Exercise at Moderate-to-Vigorous Intensities on Motor Learning, Retention and Transfer. *Sports*, *8*(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/sports8020015>
- Lounana, J., Champion, F., Noakes, T. D., & Medelli, J. (2007). Relationship between %HRmax, %HR reserve, % $\dot{V}O_2$ max, and % $\dot{V}O_2$ reserve in elite cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *39*(2), 350–357. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000246996.63976.5f>
- Lugassy, D., Herszage, J., Pilo, R., Brosh, T., & Censor, N. (2018). Consolidation of complex motor skill learning: Evidence for a delayed offline process. *Sleep*, *41*(9), 1–7. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy123>
- Lulic, T., El-Sayes, J., Fassett, H. J., & Nelson, A. J. (2017). Physical activity levels determine exercise-induced changes in brain excitability. *PLoS ONE*, *12*(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173672>
- Lundbye-Jensen, J., Skriver, K., Nielsen, J. B., & Roig, M. (2017). Acute exercise improves motor memory consolidation in preadolescent children. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*(Abril), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00182>
- Luque Casado, A. (2016). *Relación entre ejercicio físico y función cognitiva: Una aproximación comportamental y electrofisiológica*. [Tesi doctoral, Universidad de Granada]
- Lynch, M. (2004). Long-term potentiation and memory. *American Physiological Society*, 87–116. https://doi.org/10.1142/9789814366700_0001
- Macdonald, M. A., Khan, H., Kraeutner, S. N., Usai, F., Rogers, E. A., Kimmerly, D. S., Dechman, G., & Boe, S. G. (2019). Intensity of acute aerobic exercise but not aerobic fitness impacts on corticospinal excitability. *Applied Physiology, Nutrition and*

Metabolism, 44(8), 869–878. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0643>

- Machado, S., Portella, C. E., Silva, J. G., Velasques, B., Bastos, V. H., Cunha, M., Basile, L., Cagy, M., Piedade, R. A., & Ribeiro, P. (2008). Aprendizaje y memoria implícita: Mecanismos y neuroplasticidad. *Revista de Neurologia*, 46(9), 543–549. <https://doi.org/10.33588/rn.4609.2007092>
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of reseach on the stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163–203. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.109.2.163>
- MacLeod, C. M., & MacDonald, P. A. (2000). Interdimensional interference in the Stroop effect: Uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(10), 383–391. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01530-8](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01530-8)
- Magill, R. A. (1988). Activity During the Post-Knowledge of Results Interval Can Benefit Motor Skill Learning. *Advances in Psychology*, 50(C), 231–246. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62559-5](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62559-5)
- Maher, C., Sherrington, C., Herbert, R., Moseley, A., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials. *Physical Therapy*, 83(8), 713–721. <https://academic.oup.com/ptj/article/83/8/713/2805287>
- Malhotra, N., Poolton, J. M., Wilson, M. R., Omuro, S., & Masters, R. S. (2015). Dimensions of movement specific reinvestment in practice of a golf putting task. *Psychology of Sport and Exercise*, 18, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.11.008>
- Mang, C. S., Brown, K. E., Neva, J. L., Snow, N. J., Campbell, K. L., & Boyd, L. A. (2016). Promoting Motor Cortical Plasticity with Acute Aerobic Exercise: A Role for Cerebellar Circuits. *Neural Plasticity*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6797928>
- Mang, C. S., McEwen, L. M., MacIsaac, J. L., Snow, N. J., Campbell, K. L., Kobor, M. S., Ross, C. J. D., & Boyd, L. A. (2017). Exploring genetic influences underlying acute aerobic exercise effects on motor learning. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12422-3>
- Mang, C. S., Snow, N. J., Campbell, K. L., Ross, C. J. D., & Boyd, L. A. (2014). A single bout of high-intensity aerobic exercise facilitates response to paired associative stimulation and promotes sequence-specific implicit motor learning. *Journal of Applied Physiology*, 117(11), 1325–1336. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00498.2014>

- Mang, C. S., Snow, N. J., Wadden, K. P., Campbell, K. L., & Boyd, L. A. (2016). High-Intensity Aerobic Exercise Enhances Motor Memory Retrieval. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(12), 2477–2486. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001040>
- Marcori, A. J., & Okazaki, V. H. A. (2019). Motor repertoire and gray matter plasticity: Is there a link? *Medical Hypotheses*, 130(Jun), 109261. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.109261>
- Marin, B., Bringard, A., Logrieco, M. G., Lauer, E., Imobersteg, N., Thomas, A., Ferretti, G., Schwartz, S., & Igloi, K. (2020). Effect of acute physical exercise on motor sequence memory. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72108-1>
- Marrocco, J., & McEwen, B. S. (2016). Sex in the brain: Hormones and sex differences. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 18(4), 373–383. <https://doi.org/10.31887/dcns.2016.18.4/jmarrocco>
- Mavilidi, M. F., Pesce, C., Benzing, V., Schmidt, M., Paas, F., Okely, A. D., & Vazou, S. (2022). Meta-analysis of movement-based interventions to aid academic and behavioral outcomes: A taxonomy of relevance and integration. *Educational Research Review*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100478>
- Mayford, M., Siegelbaum, S. A., & Kandel, E. R. (2012). Synapses and memory storage. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 4(6), 1–18. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a005751>
- McDonnell, M. N., Buckley, J. D., Opie, G. M., Ridding, M. C., & Semmler, J. G. (2013). A single bout of aerobic exercise promotes motor cortical neuroplasticity. *Journal of Applied Physiology*, 114(9), 1174–1182. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01378.2012>
- McEwen, B., & Milner, T. (2017). Understanding the Broad Influence of Sex Hormones and Sex Differences in the Brain. *J Neurosci Res*, 95(1–2), 24–39. <https://doi.org/10.1002/jnr.23809>. Understanding
- McMillan, J. H., & Schumacher, S. (2005). *Investigación educativa: una introducción conceptual* (5a Edición). Pearson educación.
- McMorris, T., Collard, K., Corbett, J., Dicks, M., & Swain, J. P. (2008). A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise-cognition interaction. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 89(1), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2007.11.007>

- McMorris, T., Tomporowski, P. D., & Audiffren, M. (2009). Exercise and Cognitive Function. In T. McMorris, P. D. Tomporowski, & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and Cognitive Function*. <https://doi.org/10.1002/9780470740668>
- McMorris, T., Turner, A., Hale, B. J., & Sproule, J. (2016). Chapter 4 - Beyond the Catecholamines Hypothesis for an Acute Exercise–Cognition Interaction: A Neurochemical Perspective. *Exercise-Cognition Interaction*, 65–103. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800778-5.00004-9>
- McNerney, M. W., & Radvansky, G. A. (2015). Mind racing: The influence of exercise on long-term memory consolidation. *Memory*, 23(8), 1140–1151. <https://doi.org/10.1080/09658211.2014.962545>
- Mechsner, F. (2004). A Psychological Approach to Human Voluntary Movements. *Journal of Motor Behavior*, 36(4), 355–370. <https://doi.org/10.1080/00222895.2004.11007993>
- Mehren, A., Luque, C. D., Brandes, M., Lam, A. P., Thiel, C. M., Philipsen, A., & Özyurt, J. (2019). Intensity-dependent effects of acute exercise on executive function. *Neural Plasticity*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8608317>
- Mellow, M. L., Goldsworthy, M. R., Coussens, S., & Smith, A. E. (2020). Acute aerobic exercise and neuroplasticity of the motor cortex: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(4), 408–414. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.10.015>
- Meng, F. W., Yao, Z. F., Chang, E. C., & Chen, Y. L. (2019). Team sport expertise shows superior stimulus-driven visual attention and motor inhibition. *PLoS ONE*, 14(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217056>
- Menon, V., & D’Esposito, M. (2022). The role of PFC networks in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 47(1), 90–103. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01152-w>
- Milner, B., Squire, L. R., & Kandel, E. R. (1998). Cognitive neuroscience and the study of memory. *Neuron*, 20(3), 445–468. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80987-3](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80987-3)
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

- Möhring, W., Klupp, S., Ludyga, S., & Grob, A. (2022). Executive functions in children engaging in open- and closed-skilled sports. *Psychology of Sport and Exercise, 61*.
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102218>
- Monfils, M. H., Plautz, E. J., & Kleim, J. A. (2005). In search of the motor engram: Motor map plasticity as a mechanism for encoding motor experience. *Neuroscientist, 11*(5), 471–483.
<https://doi.org/10.1177/1073858405278015>
- Mooney, R. A., Cirillo, J., & Byblow, W. D. (2019). Neurophysiological mechanisms underlying motor skill learning in young and older adults. *Experimental Brain Research, 237*(9), 2331–2344. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05599-8>
- Moore, C. I., & Cao, R. (2008). The hemo-neural hypothesis: On the role of blood flow in information processing. *Journal of Neurophysiology, 99*(5), 2035–2047.
<https://doi.org/10.1152/jn.01366.2006>
- Moreau, D., & Chou, E. (2019). The Acute Effect of High-Intensity Exercise on Executive Function: A Meta-Analysis. *Perspectives on Psychological Science, 14*(5), 734–764.
<https://doi.org/10.1177/1745691619850568>
- Moreau, D., Morrison, A. B., & Conway, A. R. A. (2015). An ecological approach to cognitive enhancement: Complex motor training. *Acta Psychologica, 157*, 44–55.
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.02.007>
- Moreira, P. E. D., Dieguez, G. T. de O., Breidt, S. da G. T., & Praça, G. M. (2021). The acute and chronic effects of dual-task on the motor and cognitive performances in athletes: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(4), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041732>
- Moriarty, T., Johnson, A., Thomas, M., Evers, C., Auten, A., Cavey, K., Dorman, K., & Bourbeau, K. (2022). Acute Aerobic Exercise-Induced Motor Priming Improves Piano Performance and Alters Motor Cortex Activation. *Frontiers in Psychology, 13*.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.825322>
- Mullender-Wijnsma, M. J., Hartman, E., De Greeff, J. W., Doolaard, S., Bosker, R. J., & Visscher, C. (2016). Physically active math and language lessons improve academic achievement: A cluster randomized controlled trial. *Pediatrics, 137*(3).
<https://doi.org/10.1542/peds.2015-2743>

- Münste, T., Altenmüller, E., & Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews*, *3*, 473–478. <https://www.nature.com/articles/nrn843>
- Munz, M., Baving, L., & Prehn-Kristensen, A. (2021). Sleep following intense physical exercise stabilizes motor learning in typically developing boys. *Mental Health and Physical Activity*, *20*(November), 100365. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2020.100365>
- Nader, K., & Hardt, O. (2009). A single standard for memory: The case for reconsolidation. *Nature Reviews Neuroscience*, *10*(3), 224–234. <https://doi.org/10.1038/nrn2590>
- Nepveu, J. F., Thiel, A., Tang, A., Fung, J., Lundbye-Jensen, J., Boyd, L. A., & Roig, M. (2017). A Single Bout of High-Intensity Interval Training Improves Motor Skill Retention in Individuals with Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *31*(8), 726–735. <https://doi.org/10.1177/1545968317718269>
- Netz, Y., Herschkovitz, S. F., Levin, O., & Ziv, G. (2023). The effect of acute exercise on cognitive and motor inhibition – Does fitness moderate this effect? *Psychology of Sport and Exercise*, *65*. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102344>
- Neva, J. L., Ma, J. A., Orsholits, D., Boisgontier, M. P., & Boyd, L. A. (2019). The effects of acute exercise on visuomotor adaptation, learning, and inter-limb transfer. *Experimental Brain Research*, *237*(4), 1109–1127. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05491-5>
- Nicolini, C., Fahnestock, M., Gibala, M. J., & Nelson, A. J. (2021). Understanding the Neurophysiological and Molecular Mechanisms of Exercise-Induced Neuroplasticity in Cortical and Descending Motor Pathways: Where Do We Stand? *Neuroscience*, *457*, 259–282. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.12.013>
- Nitschke, K., Köstering, L., Finkel, L., Weiller, C., & Kaller, C. P. (2017). A Meta-analysis on the neural basis of planning: Activation likelihood estimation of functional brain imaging results in the Tower of London task. *Human Brain Mapping*, *38*(1), 396–413. <https://doi.org/10.1002/hbm.23368>
- Nofuji, Y., Suwa, M., Sasaki, H., Ichimiya, A., Nishichi, R., & Kumagai, S. (2012). Different circulating brain-derived neurotrophic factor responses to acute exercise between physically active and sedentary subjects. *Journal of Sports Science and Medicine*, *11*, 83–88. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3737858/>
- Oberste, M., Javelle, F., Sharma, S., Joisten, N., Walzik, D., Bloch, W., & Zimmer, P. (2019).

- Effects and Moderators of Acute Aerobic Exercise on Subsequent Interference Control: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 10(Novembre).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02616>
- Ogoh, S. (2017). Relationship between cognitive function and regulation of cerebral blood flow. *Journal of Physiological Sciences*, 67(3), 345–351. <https://doi.org/10.1007/s12576-017-0525-0>
- Ogoh, S., & Ainslie, P. N. (2009). Cerebral blood flow during exercise: Mechanisms of regulation. *Journal of Applied Physiology*, 107(5), 1370–1380.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00573.2009>
- Oldfield, R. C. (1971). The Assessment and Analysis of Handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Oloff, H. S., Berchtold, N. C., Isackson, P., & Cotman, C. W. (1998). Exercise-induced regulation of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) transcripts in the rat hippocampus. *Molecular Brain Research*, 61(1–2), 147–153. [https://doi.org/10.1016/S0169-328X\(98\)00222-8](https://doi.org/10.1016/S0169-328X(98)00222-8)
- Opie, G. M., & Semmler, J. G. (2019). Acute Exercise at Different Intensities Influences Corticomotor Excitability and Performance of a Ballistic Thumb Training Task. *Neuroscience*, 412, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.05.049>
- Ostadan, F., Centeno, C., Daloz, J. F., Frenn, M., Lundbye-Jensen, J., & Roig, M. (2016). Changes in corticospinal excitability during consolidation predict acute exercise-induced off-line gains in procedural memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 136, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.10.009>
- Ottevaere, C., Huybrechts, I., De Bourdeaudhuij, I., Sjöström, M., Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Hagströmer, M., Widhalm, K., Molnár, D., Moreno, L. A., Beghin, L., Kafatos, A., Polito, A., Manios, Y., Martínez-Gómez, D., & De Henauw, S. (2011). Comparison of the IPAQ-A and Actigraph in relation to VO₂max among European adolescents: The HELENA study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(4), 317–324.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.02.008>
- Pack, M., Cotten, D. J., & Biasiotto, J. (1974). Effect of four fatigue levels on performance and

- learning of a novel dynamic balance skill. *Journal of Motor Behavior*, 6(3), 191–197.
<https://doi.org/10.1080/00222895.1974.10734995>
- Pan, Y., Han, Y., & Zuo, W. (2019). The color-word Stroop effect driven by working memory maintenance. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 81(8), 2722–2731.
<https://doi.org/10.3758/s13414-019-01780-x>
- Park, S. Y., Reinl, M., & Schott, N. (2021). Effects of acute exercise at different intensities on fine motor-cognitive dual-task performance while walking: A functional near-infrared spectroscopy study. *European Journal of Neuroscience*, 54(12), 8225–8248.
<https://doi.org/10.1111/ejn.15241>
- Park, S. Y., & Schott, N. (2022). The Immediate and Sustained Effects of Exercise-Induced Hemodynamic Response on Executive Function During Fine Motor-Cognitive Tasks Using Functional Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Integrative Neuroscience*, 21(3).
<https://doi.org/10.31083/j.jin2103098>
- Pascual-Leone, A., Dang, N., Cohen, L. G., Brasil-Neto, J. P., Cammarota, A., & Hallett, M. (1995). Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *Journal of Neurophysiology*, 74(3), 1037–1045. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.74.3.1037>
- Pendleton, D. M., Sakalik, M. L., Moore, M. L., & Tomporowski, P. D. (2016). Mental engagement during cognitive and psychomotor tasks: Effects of task type, processing demands, and practice. *International Journal of Psychophysiology*, 109(October), 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.08.012>
- Pereira, T., Abreu, A. M., & Castro-Caldas, A. (2013). Understanding task- and expertise-specific motor acquisition and motor memory formation and consolidation. *Perceptual and Motor Skills*, 117(1), 108–129. <https://doi.org/10.2466/23.25.PMS.117x14z0>
- Periáñez, J. A., Lubrini, G., García-Gutiérrez, A., & Ríos-Lago, M. (2021). Construct validity of the stroop color-word test: Influence of speed of visual search, verbal fluency, working memory, cognitive flexibility, and conflict monitoring. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 36(1), 99–111. <https://doi.org/10.1093/arclin/acia034>
- Perini, R., Bortoletto, M., Capogrosso, M., Fertoni, A., & Miniussi, C. (2016). Acute effects of aerobic exercise promote learning. *Scientific Reports*, 6(Maig), 1–8.

<https://doi.org/10.1038/srep25440>

- Pescatello, L. S. (2014). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (9na ed.). Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health.
- Pesce, C. (2012). Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *34*(6), 766–786. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.6.766>
- Pesce, C., Croce, R., Ben-Soussan, T. D., Vazou, S., McCullick, B., Tomporowski, P. D., & Horvat, M. (2019). Variability of practice as an interface between motor and cognitive development. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *17*(2), 133–152. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2016.1223421>
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, *2*(1), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2009.02.001>
- Piepmeyer, A. T., & Etnier, J. L. (2015). Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) as a potential mechanism of the effects of acute exercise on cognitive performance. *Journal of Sport and Health Science*, *4*(1), 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.11.001>
- Poduslo, J. F., & Curran, G. L. (1996). Permeability at the blood-brain and blood-nerve barriers of the neurotrophic factors: NGF, CNTF, NT-3, BDNF. *Molecular Brain Research*, *36*(2), 280–286. [https://doi.org/10.1016/0169-328X\(95\)00250-V](https://doi.org/10.1016/0169-328X(95)00250-V)
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Pontifex, M. B., Gwizdala, K. L., Parks, A. C., Pfeiffer, K. A., & Fenn, K. M. (2016). The Association between Physical Activity during the Day and Long-Term Memory Stability. *Scientific Reports*, *6*(November), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep38148>
- Poo, M. ming, Pignatelli, M., Ryan, T. J., Tonegawa, S., Bonhoeffer, T., Martin, K. C., Rudenko, A., Tsai, L. H., Tsien, R. W., Fishell, G., Mullins, C., Gonçalves, J. T., Shtrahman, M., Johnston, S. T., Gage, F. H., Dan, Y., Long, J., Buzsáki, G., & Stevens, C. (2016). What is memory? The present state of the engram. *BMC Biology*, *14*(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12915-016-0261-6>

- Qi, X., Zhang, K., Xu, T., Yamaki, V. N., Wei, Z., Huang, M., Rose, G. M., & Cai, X. (2016). Sex differences in long-term potentiation at temporoammonic-CA1 synapses: Potential implications for memory consolidation. *PLoS ONE*, *11*(11).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165891>
- Quartermain, D. (1969). The Role of Catecholamines in memory processing. A J. A. Deutsch (Ed.), *The Physiological Basis of Memory* (Segona Edició, pp. 2–425). Academic Press.
- Ramsey, M. M., Adams, M. M., Ariwodola, O. J., Sonntag, W. E., & Weiner, J. L. (2005). Functional characterization of Des-IGF-1 action at excitatory synapses in the CA1 region of rat hippocampus. *Journal of Neurophysiology*, *94*(1), 247–254.
<https://doi.org/10.1152/jn.00768.2004>
- Ratelle, J. T., Sawatsky, A. P., & Beckman, T. J. (2019). Quantitative Research Methods in Medical Education. *Anesthesiology*, *131*(1), 23–35.
<https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002727>
- Ravizza, S. M., & Carter, C. S. (2008). Shifting set about task switching: Behavioral and neural evidence for distinct forms of cognitive flexibility. *Neuropsychologia*, *46*(12), 2924–2935.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.06.006>
- Redolar-Ripoll, D. (2014). *Neurociencia Cognitiva*. Editorial Medica Panamericana.
- Rhee, J., Chen, J., Riechman, S. M., Handa, A., Bhatia, S., & Wright, D. L. (2016). An acute bout of aerobic exercise can protect immediate offline motor sequence gains. *Psychological Research*, *80*(4), 518–531. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0682-9>
- Rigdon, B., & Loprinzi, P. D. (2019). The association of cardiorespiratory fitness on memory function: Systematic review. *Medicina (Lithuania)*, *55*(5). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/medicina55050127>
- Ritz, H., Leng, X., & Shenhav, A. (2022). Cognitive Control as a Multivariate Optimization Problem. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *34*(4), 569–591.
https://doi.org/10.1162/jocn_a_01822
- Robertson, E. M., & Cohen, D. A. (2006). Understanding consolidation through the architecture of memories. *Neuroscientist*, *12*(3), 261–271. <https://doi.org/10.1177/1073858406287935>
- Roig, M., Cristini, J., Parwanta, Z., Ayotte, B., Rodrigues, L., de Las Heras, B., Nepveu, J. F.,

- Huber, R., Carrier, J., Steib, S., Youngstedt, S. D., & Wright, D. L. (2022). Exercising the Sleepy-ing Brain: Exercise, Sleep, and Sleep Loss on Memory. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 50(1), 38–48. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000273>
- Roig, M., Nordbrandt, S., Geertsen, S. S., & Nielsen, J. B. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: A review with meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(8), 1645–1666. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.06.012>
- Roig, M., Ritterband-Rosenbaum, A., Lundbye-Jensen, J., & Nielsen, J. B. (2014). Aging increases the susceptibility to motor memory interference and reduces off-line gains in motor skill learning. *Neurobiology of Aging*, 35(8), 1892–1900. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2014.02.022>
- Roig, M., Skriver, K., Lundbye-Jensen, J., Kiens, B., & Nielsen, J. B. (2012). A Single Bout of Exercise Improves Motor Memory. *PLoS ONE*, 7(9), 28–32. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044594>
- Roig, M., Thomas, R., Mang, C. S., Snow, N. J., Ostadan, F., Boyd, L. A., & Lundbye-Jensen, J. (2016). Time-Dependent Effects of Cardiovascular Exercise on Memory. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 44(2), 81–88. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000078>
- Roig-Hierro, E., Guillem, M., & Batalla, A. (2022). Actividad física puntual y memoria motriz, los elementos de la interacción: Revisión Scoping. *Retos*, 45, 410–421. <https://doi.org/https://doi.org/10.47197/retos.v45i0.92382>
- Roig, M., Cristini, J., Parwanta, Z., Ayotte, B., Rodrigues, L., de Las Heras, B., Nepveu, J. F., Huber, R., Carrier, J., Steib, S., Youngstedt, S. D., & Wright, D. L. (2022). Exercising the Sleepy-ing Brain: Exercise, Sleep, and Sleep Loss on Memory. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 50(1), 38–48. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000273>
- Roig, M., Nordbrandt, S., Geertsen, S. S., & Nielsen, J. B. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: A review with meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(8), 1645–1666. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.06.012>
- Roig, M., Skriver, K., Lundbye-Jensen, J., Kiens, B., & Nielsen, J. B. (2012). A Single Bout of Exercise Improves Motor Memory. *PLoS ONE*, 7(9), 28–32.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044594>

- Roig, M., Thomas, R., Mang, C. S., Snow, N. J., Ostadan, F., Boyd, L. A., & Lundbye-Jensen, J. (2016). Time-Dependent Effects of Cardiovascular Exercise on Memory. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *44*(2), 81–88. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000078>
- Rosenberg, L., Jacobi, S., & Bart, O. (2017). Executive functions and motor ability contribute to children's participation in daily activities. *Journal of Occupational Therapy, Schools, and Early Intervention*, *10*(3), 315–326. <https://doi.org/10.1080/19411243.2017.1312660>
- Sakamoto, S., Takeuchi, H., Ihara, N., Ligao, B., & Suzukawa, K. (2018). Possible requirement of executive functions for high performance in soccer. *PLoS ONE*, *13*(8), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201871>
- Salehi, A., Delcroix, J. D., & Mobley, W. C. (2003). Traffic at the intersection of neurotrophic factor signaling and neurodegeneration. *Trends in Neurosciences*, *26*(2), 73–80. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(02\)00038-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(02)00038-3)
- Sampaio, A. S. B., Real, C. C., Gutierrez, R. M. S., Singulani, M. P., Alouche, S. R., Britto, L. R., & Pires, R. S. (2021). Neuroplasticity induced by the retention period of a complex motor skill learning in rats. *Behavioural Brain Research*, *414*(March), 113480. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113480>
- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, *53*(1), 61–97. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0001-6918\(83\)90016-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0001-6918(83)90016-1)
- Scarpina, F., & Tagini, S. (2017). The stroop color and word test. *Frontiers in Psychology*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00557>
- Scharf, M. T., Woo, N. H., Matthew Lattal, K., Young, J. Z., Nguyen, P. V., & Abel, T. (2002). Protein synthesis is required for the enhancement of long-term potentiation and long-term memory by spaced training. *Journal of Neurophysiology*, *87*(6), 2770–2777. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.87.6.2770>
- Scharfen, H. E., & Memmert, D. (2019). The relationship between cognitive functions and sport-specific motor skills in elite youth soccer players. *Frontiers in Psychology*, *10*(Abril). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00817>
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is It Really Robust?:

- Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption. *Methodology*, 6(4), 147–151. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>
- Schmidt, R. A. (1969). Performance and Learning a Gross Motor Skill under Conditions of Artificially-Induced Fatigue. *Research Quarterly*, 40(1), 185–190.
<https://doi.org/10.1080/10671188.1969.10616658>
- Schmit, C., & Brisswalter, J. (2020). Executive functioning during prolonged exercise: a fatigue-based neurocognitive perspective. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 13(1), 21–39. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2018.1483527>
- Shadmehr, R., & Brashers-Krug, T. (1997). Functional Stages in the Formation of Human Long-Term Motor Memory. *The Journal of Neuroscience*, 17(1), 409–419.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.17-01-00409.1997>
- Shadmehr, R., & Holcomb, H. H. (1997). Neural Correlates of Motor Memory Consolidation. *New Series*, 277(5327). <https://doi.org/10.1126/science.277.5327.821>
- Shenoy, S., Khandekar, P., & Sathe, A. (2021). High intensity intermittent exercise plays a role in improving brain activation during complex executive functional tasks. *Teoria Ta Metodika Fizicnogo Vihovanna*, 21(1), 36–42. <https://doi.org/10.17309/TMFV.2021.1.05>
- Sheskin, D. (2003). *Parametric and Nonparametric statistical procedures* (Tercera edició). Chapman & Hall/CRC.
- Sibley, B. A., Etnier, J. L., & Le Masurier, G. C. (2006). Effects of an acute bout of exercise on cognitive aspects of stroop performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 28(3), 285–299. <https://doi.org/10.1123/jsep.28.3.285>
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1995). *Estadística no paramétrica, aplicada a las ciencias de la conducta* (4rta. edició, Vol. 4). Editorial Trillas.
- Singh, A. M., Neva, J. L., & Staines, W. R. (2016). Aerobic exercise enhances neural correlates of motor skill learning. *Behavioural Brain Research*, 301, 19–26.
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.12.020>
- Singh, A. M., & Staines, W. R. (2015). The effects of acute aerobic exercise on the primary motor cortex. *Journal of Motor Behavior*, 47(4), 328–339.
<https://doi.org/10.1080/00222895.2014.983450>

- Singh, A. S., Saliassi, E., Van Den Berg, V., Uijtdewilligen, L., De Groot, R. H. M., Jolles, J., Andersen, L. B., Bailey, R., Chang, Y. K., Diamond, A., Ericsson, I., Etnier, J. L., Fedewa, A. L., Hillman, C. H., McMorris, T., Pesce, C., Pühse, U., Tomporowski, P. D., & Chinapaw, M. J. M. (2019). Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents: A novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *British Journal of Sports Medicine*, *53*(10), 640–647. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098136>
- Skovgaard, T., & Johansen, D. L. N. (2020). School-Based Physical Activity and the Implementation Paradox. *Advances in Physical Education*, *10*(04), 492–506. <https://doi.org/10.4236/ape.2020.104038>
- Skriver, K., Roig, M., Lundbye-Jensen, J., Pingel, J., Helge, J. W., Kiens, B., & Nielsen, J. B. (2014). Acute exercise improves motor memory: Exploring potential biomarkers. *Neurobiology of Learning and Memory*, *116*, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2014.08.004>
- Slusher, A. L., Patterson, V. T., Schwartz, C. S., & Acevedo, E. O. (2018). Impact of high intensity interval exercise on executive function and brain derived neurotrophic factor in healthy college aged males. *Physiology and Behavior*, *191*(Abril), 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.04.018>
- Slutsky-Ganesh, A. B., Etnier, J. L., & Labban, J. D. (2020). Acute exercise, memory, and neural activation in young adults. *International Journal of Psychophysiology*, *158*(Maig), 299–309. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.09.018>
- Snow, N. J., Mang, C. S., Roig, M., McDonnell, M. N., Campbell, K. L., & Boyd, L. A. (2016). The effect of an acute bout of moderate-intensity aerobic exercise on motor learning of a continuous tracking task. *PLoS ONE*, *11*(2), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150039>
- Soga, K., Shishido, T., & Nagatomi, R. (2015). Executive function during and after acute moderate aerobic exercise in adolescents. *Psychology of Sport and Exercise*, *16*(P3), 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.08.010>
- Sommer, M., & Rönqvist, L. (2009). Improved motor-timing: effects of synchronized metronome training on golf shot accuracy. *Journal of Sports Science and Medicine*, *8*, 648–656. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3761554/>

- Sommerville, J. A., & Decety, J. (2006). Weaving the fabric of social interaction: Articulating developmental psychology and cognitive neuroscience in the domain of motor cognition. *Psychonomic Bulletin and Review*, *13*(2), 179–200. <https://doi.org/10.3758/BF03193831>
- Spriggs, M. J., Thompson, C. S., Moreau, D., McNair, N. A., Wu, C. C., Lamb, Y. N., McKay, N. S., King, R. O. C., Antia, U., Shelling, A. N., Hamm, J. P., Teyler, T. J., Russell, B. R., Waldie, K. E., & Kirk, I. J. (2019). Human sensory LTP predicts memory performance and is modulated by the BDNF Val66Met polymorphism. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00022>
- Statton, M. A., Encarnacion, M., Celnik, P., & Bastian, A. J. (2015). A single bout of moderate aerobic exercise improves motor skill acquisition. *PLoS ONE*, *10*(10), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141393>
- Stavrinos, E., & Coxon, J. P. (2017). High-intensity Interval Exercise Promotes Motor Cortex Disinhibition and Early Motor Skill Consolidation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *139*. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01078
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Stuhr, C., Hughes, C. M. L., & Stöckel, T. (2018). Task-specific and variability-driven activation of cognitive control processes during motor performance. *Scientific Reports*, *8*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29007-3>
- Suzuki, A., Stern, S. A., Bozdagi, O., Huntley, G. W., Walker, R. H., Magistretti, P. J., & Alberini, C. M. (2011). Astrocyte-neuron lactate transport is required for long-term memory formation. *Cell*, *144*(5), 810–823. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.018>
- Swarbrick, D., Kiss, A., Trehub, S., Tremblay, L., Alter, D., & Chen, J. L. (2020). HIIT the Road Jack: An Exploratory Study on the Effects of an Acute Bout of Cardiovascular High-Intensity Interval Training on Piano Learning. *Frontiers in Psychology*, *11*(Septembre), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02154>
- Szuhany, K. L., Bugatti, M., & Otto, M. W. (2015). A meta-analytic review of the effects of exercise on brain-derived neurotrophic factor. *Journal of Psychiatric Research*, *60*, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2014.10.003>
- Taubert, M., Lohmann, G., Margulies, D. S., Villringer, A., & Ragert, P. (2011). Long-term

- effects of motor training on resting-state networks and underlying brain structure. *NeuroImage*, 57(4), 1492–1498. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.078>
- Taylor, C. B., Sallis, J. F., & Needle, R. (1985). The relation of physical activity and exercise to mental health. *Public Health Reports*, 100(2), 195–202. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1424736/>
- Teuber, H. L. (1972). Unity and diversity of frontal lobe functions. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 32(2), 615–656. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4627626/>
- Thomas, J. R., Cotten, D. J., Spieth, W. R., & Abraham, N. L. (1975). Effects of fatigue on stabilometer performance and learning of males and females. *Medicine and Science in Sports*, 7(3), 203–206. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1207432/>
- Thomas, R., Beck, M. M., Lind, R. R., Korsgaard Johnsen, L., Geertsen, S. S., Christiansen, L., Ritz, C., Roig, M., & Lundbye-Jensen, J. (2016). Acute Exercise and Motor Memory Consolidation: The Role of Exercise Timing. *Neural Plasticity*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6205452>
- Thomas, R., Flindtgaard, M., Skriver, K., Geertsen, S., Christiansen, L., Korsgaard, L., Busk, D. V. P., Bojsen-Møller, E., Madsen, M. J., Ritz, C., Roig, M., & Lundbye-Jensen, J. (2017). Acute exercise and motor memory consolidation: Does exercise type play a role? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(11), 1523–1532. <https://doi.org/10.1111/sms.12791>
- Thomas, R., Johnsen, L. K., Geertsen, S. S., Christiansen, L., Ritz, C., Roig, M., & Lundbye-Jensen, J. (2016). Acute Exercise and Motor Memory Consolidation: The Role of Exercise Intensity. *PLoS ONE*, 11(7), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159589>
- Tian, S., Mou, H., & Qiu, F. (2021). Sustained effects of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on inhibitory control. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052687>
- Tomprowski, P. D., & Ellis, N. R. (1986). Effects of Exercise on Cognitive Processes. A Review. *Psychological Bulletin*, 99(3), 338–346. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.99.3.338>
- Tomprowski, P. D., Ellis, N. R., & Stephens, R. (1987). The immediate effects of strenuous

- exercise on free-recall memory. *Ergonomics*, *30*(1), 121–129.
<https://doi.org/10.1080/00140138708969682>
- Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science*, *4*(1), 47–55.
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003>
- Tomporowski, P. D., & Pendleton, D. M. (2018). Effects of the timing of acute exercise and movement complexity on young adults' psychomotor learning. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *40*(5), 240–248. <https://doi.org/10.1123/jsep.2017-0289>
- Tomporowski, P. D., & Qazi, A. S. (2020). Cognitive-Motor Dual Task Interference Effects on Declarative Memory: A Theory-Based Review. *Frontiers in Psychology*, *11*(May), 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01015>
- Trejo, J. L., Llorens-Martín, M. V., & Torres-Alemán, I. (2008). The effects of exercise on spatial learning and anxiety-like behavior are mediated by an IGF-I-dependent mechanism related to hippocampal neurogenesis. *Molecular and Cellular Neuroscience*, *37*(2), 402–411. <https://doi.org/10.1016/j.mcn.2007.10.016>
- Tsuk, S., Netz, Y., Dunsky, A., Zeev, A., Carasso, R., Dwolatzky, T., Salem, R., Behar, S., & Rotstein, A. (2019). The acute effect of exercise on executive function and attention: Resistance versus aerobic exercise. *Advances in Cognitive Psychology*, *15*(3), 208–215.
<https://doi.org/10.5709/acp-0269-7>
- Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., Isaka, T., & Hashimoto, T. (2016). Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiology and Behavior*, *155*, 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.12.021>
- Tsukamoto, H., Takenaka, S., Suga, T., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., Isaka, T., & Hashimoto, T. (2017). Effect of exercise intensity and duration on postexercise executive function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *49*(4), 774–784.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001155>
- Ueta, K., Mizuguchi, N., Sugiyama, T., Isaka, T., & Otomo, S. (2022). The Motor Engram of Functional Connectivity Generated by Acute Whole-Body Dynamic Balance Training.

Medicine and Science in Sports and Exercise, 54(4), 598–608.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002829>

Ungerleider, L. G., Doyon, J., & Karni, A. (2002). Imaging brain plasticity during motor skill learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 78(3), 553–564.

<https://doi.org/10.1006/nlme.2002.4091>

van den Berg, F. E., Swinnen, S. P., & Wenderoth, N. (2011). Excitability of the motor cortex ipsilateral to the moving body side depends on spatio-temporal task complexity and hemispheric specialization. *PLoS ONE*, 6(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017742>

Vo, K. D., Siqu-Liu, A., Chaire, A., Li, S., Demeter, E., Egner, T., & Woldorff, M. G. (2021). Neural dynamics of conflict control in working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 33(10), 2079–2092. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01744

Wagner, G., Herbsleb, M., de la Cruz, F., Schumann, A., Köhler, S., Puta, C., Gabriel, H. W., Reichenbach, J. R., & Bär, K. J. (2017). Changes in fMRI activation in anterior hippocampus and motor cortex during memory retrieval after an intense exercise intervention. *Biological Psychology*, 124, 65–78.

<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.01.003>

Walker, M. P., Stickgold, R., Alsop, D., Gaab, N., & Schlaug, G. (2005). Sleep-dependent motor memory plasticity in the human brain. *Neuroscience*, 133(4), 911–917.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.04.007>

Wang, C. C., Chu, C. H., Chu, I. H., Chan, K. H., & Chang, Y. K. (2013). Executive function during acute exercise: The role of exercise intensity. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 35(4), 358–367. <https://doi.org/10.1123/jsep.35.4.358>

Wang, C. H., Shih, C. M., & Tsai, C. L. (2016). The relation between aerobic fitness and cognitive performance: Is it mediated by brain potentials? *Journal of Psychophysiology*, 30(3), 102–113. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000159>

Wang, D., Li, T., Yang, G., & Zhang, Y. (2017). Effects of Concurrent and Delayed Visual Feedback on Motor Memory Consolidation. *IEEE Transactions on Haptics*, 10(3), 350–357. <https://doi.org/10.1109/TOH.2017.2672549>

Wanner, P., Cheng, F. H., & Steib, S. (2020). Effects of acute cardiovascular exercise on motor memory encoding and consolidation: A systematic review with meta-analysis.

Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 116(Març), 365–381.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.06.018>

Wanner, P., Müller, T., Cristini, J., Pfeifer, K., & Steib, S. (2020). Exercise Intensity Does not Modulate the Effect of Acute Exercise on Learning a Complex Whole-Body Task.

Neuroscience, 426, 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.11.027>

Wanner, P., Müller, T., Cristini, J., Pfeifer, K., Steib, S., Snow, N. J., Mang, C. S., Roig, M., McDonnell, M. N., Campbell, K. L., Boyd, L. A., Marin Bosch, B., Bringard, A., Logrieco, M. G., Lauer, E., Imobersteg, N., Thomas, A., Ferretti, G., Schwartz, S., ...

Perotti, A. (2020). The effect of an acute bout of moderate-intensity aerobic exercise on motor learning of a continuous tracking task. *PLoS ONE*, 11(2), 1–16.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150039>

Waters, A., Zou, L., Jung, M., Yu, Q., Lin, J., Liu, S., & Loprinzi, P. D. (2020). Acute exercise and sustained attention on memory function. *American Journal of Health Behavior*, 44(3), 326–332.

<https://doi.org/10.5993/AJHB.44.3.5>

Watson, A., Timperio, A., Brown, H., Best, K., & Hesketh, K. D. (2017). Effect of classroom-based physical activity interventions on academic and physical activity outcomes: A systematic review and meta-analysis. In *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0569-9>

Wei, G., Zhang, Y., Jiang, T., & Luo, J. (2011). Increased cortical thickness in sports experts: A comparison of diving players with the controls. *PLoS ONE*, 6(2).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017112>

Wiersma, W. (2009). *Research methods in education : an introduction* (S. G. Jurs, Ed.; 9na ed.). Pearson.

Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., Krueger, K., Fromme, A., Korsukewitz, C., Floel, A., & Knecht, S. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 87(4), 597–609.

<https://doi.org/10.1016/j.nlm.2006.11.003>

Wollesen, B., Janssen, T. I., Müller, H., & Voelcker-Rehage, C. (2022). Effects of cognitive-motor dual task training on cognitive and physical performance in healthy children and adolescents: A scoping review. *Acta Psychologica*, 224, 103498.

<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103498>

Wrann, C. D., White, J. P., Salogiannis, J., Laznik-Bogoslavski, D., Wu, J., Ma, D., Lin, J. D., Greenberg, M. E., & Spiegelman, B. M. (2013). Exercise induces hippocampal BDNF through a PGC-1 α /FNDC5 pathway. *Cell Metabolism*, *18*(5), 649–659.

<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.09.008>

Wu, C. H., Karageorghis, C. I., Wang, C. C., Chu, C. H., Kao, S. C., Hung, T. M., & Chang, Y. K. (2019). Effects of acute aerobic and resistance exercise on executive function: An ERP study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *22*(12), 1367–1372.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.07.009>

Wulf, G., & Shea, C. H. (2002). Principles derived from the studies of simple motor skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonom Bull Rev*, *9*(2), 185–211.

<https://link.springer.com/article/10.3758/BF03196276>

Xu, T., Yu, X., Perlik, A. J., Tobin, W. F., Zweig, J. A., Tennant, K., Jones, T., & Zuo, Y. (2009). Rapid formation and selective stabilization of synapses for enduring motor memories. *Nature*, *462*(7275), 915–919. <https://doi.org/10.1038/nature08389>

Xue, Y., Yang, Y., & Huang, T. (2019). Effects of chronic exercise interventions on executive function among children and adolescents: A systematic review with meta-analysis. In *British Journal of Sports Medicine*, *53*(22), 1397–1404. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099825>

Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., & Soya, H. (2010). Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *NeuroImage*, *50*(4), 1702–1710.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.023>

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-Formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, *18*, 459–482.

<https://doi.org/10.1002/cne.920180503>

Zhang, K., Jan, Y. K., Liu, Y., Zhao, T., Zhang, L., Liu, R., Liu, J., & Cao, C. (2022). Exercise Intensity and Brain Plasticity: What's the Difference of Brain Structural and Functional Plasticity Characteristics Between Elite Aerobic and Anaerobic Athletes? *Frontiers in Human Neuroscience*, *16*(Febrer), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.757522>

- Zhou, F., & Qin, C. (2019). Acute Moderate-Intensity Exercise Generally Enhances Attentional Resources Related to Perceptual Processing. *Frontiers in Psychology, 10*.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02547>
- Ziemann, U., Ilić, T. V., Pauli, C., Meintzschel, F., & Ruge, D. (2004). Learning Modifies Subsequent Induction of Long-Term Potentiation-Like and Long-Term Depression-Like Plasticity in Human Motor Cortex. *Journal of Neuroscience, 24*(7), 1666–1672.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5016-03.2004>
- Zimmer, P., Binneböbel, S., Bloch, W., Hübner, S. T., Schenk, A., Predel, H. G., Wright, P., Stritt, C., & Oberste, M. (2017). Exhaustive exercise alters thinking times in a tower of london task in a time-dependent manner. *Frontiers in Physiology, 7*(JAN).
<https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00694>
- Zouhal, H., Jacob, C., Delamarche, P., & Gratas-Delamarche, A. (2008). Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports Medicine, 38*(5), 401–423.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200838050-00004>
- Zuniga, K. E., Mueller, M., Santana, A. R., & Kelemen, W. L. (2019). Acute aerobic exercise improves memory across intensity and fitness levels. *Memory, 27*(5), 628–636.
<https://doi.org/10.1080/09658211.2018.1546875>
- Zwierko, T., & Florkiewicz, B. (2014). The ability to maintain attention during visuomotor task performance in handball players and non-athletes. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine, 7*(3), 99–106.
<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.psjd-d939bd02-008b-4775-bd57-d92eb891326b>

Annexos

Annex 1. Instruments i documentació emprada per al disseny

A continuació es presentaran alguns exemples dels instruments emprats al present estudi. Donat que es referencien durant el text al bloc II, es presenten seguint l'ordre d'aparició.

Figura 22. Exemple escala PEDro en versió resumida.

PEDro scale

1. eligibility criteria were specified	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
2. subjects were randomly allocated to groups (in a crossover study, subjects were randomly allocated an order in which treatments were received)	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
3. allocation was concealed	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
4. the groups were similar at baseline regarding the most important prognostic indicators	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
5. there was blinding of all subjects	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
6. there was blinding of all therapists who administered the therapy	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
7. there was blinding of all assessors who measured at least one key outcome	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
8. measures of at least one key outcome were obtained from more than 85% of the subjects initially allocated to groups	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
9. all subjects for whom outcome measures were available received the treatment or control condition as allocated or, where this was not the case, data for at least one key outcome was analysed by "intention to treat"	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
10. the results of between-group statistical comparisons are reported for at least one key outcome	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:
11. the study provides both point measures and measures of variability for at least one key outcome	no <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> where:

The PEDro scale is based on the Delphi list developed by Verhagen and colleagues at the Department of Epidemiology, University of Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). The list is based on "expert consensus" not, for the most part, on empirical data. Two additional items not on the Delphi list (PEDro scale items 8 and 10) have been included in the PEDro scale. As more empirical data comes to hand it may become possible to "weight" scale items so that the PEDro score reflects the importance of individual scale items.

Figura 23. Questionari emprat per determinar l'índex de lateralitat de les persones.

Handedness Questionnaire

Instructions
 For each of the activities below, please indicate:

*Which hand you prefer for that activity?
 Do you ever use the other hand for the activity?*

Which hand do you prefer to use when:	no pref			Do you ever use the other hand?
Writing:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Drawing:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Throwing:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Using Scissors:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Using a Toothbrush:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Using a Knife (without a fork):	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Using a Spoon:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Using a broom (upper hand):	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Striking a Match:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Opening a Box (holding the lid):	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
items below are not on the standard inventory:				
Holding a Computer Mouse:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Using a Key to Unlock a Door:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Holding a Hammer:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Holding a Brush or Comb:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes
Holding a Cup while Drinking	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Right <input type="radio"/>	<input type="checkbox"/> Yes

Evaluate

Figura 24. Model de consentiment informat emprat a la present investigació.

CONSENTIMENT INFORMAT DEL PARTICIPANT (model orientatiu)

Títol del projecte de recerca:

El voluntari ha de llegir i contestar les preguntes següents amb atenció:
(Cal encerdar la resposta que es consideri correcta)

Ha llegit tota informació que li ha estat facilitada sobre aquest projecte? SI / NO
 Ha tingut l'oportunitat de preguntar i comentar qüestions sobre el projecte? SI / NO
 Ha rebut suficient informació sobre aquest projecte? SI / NO
 Ha rebut respostes satisfactòries a totes les preguntes? SI / NO

Quin investigador li ha parlat d'aquest projecte? *(nom i cognoms)*.....

Ha comprès que vostè és lliure d'abandonar aquest projecte sense que aquesta decisió pugui ocasionar-li cap perjudici? SI / NO
 En qualsevol moment SI / NO
 Sense donar-ne cap raó SI / NO

Ha comprès els possibles riscos associats a la seva participació en aquest projecte? SI / NO

Està d'acord en participar-hi? SI / NO

Rebrà algun tipus de compensació per participar-hi? SI / NO

(Només si escau) Autoritza la participació en el projecte de la persona de qui vostè és responsable? SI / NO
(nom i cognoms de la persona):
(altres ítems que calgui incloure segons les característiques del projecte)

Signatura: Data

Nom i cognoms del voluntari:

En cas que més endavant vostè vulgui fer alguna pregunta o comentari sobre aquest projecte, o bé si vol revocar la seva participació en el mateix, si us plau contacti amb:
(nom de l'investigador)
(Departament, Facultat i adreça)
E-mail de contacte:
Telèfon/s de contacte:

Lloc, data i signatura de l'investigador:

Exemplar per al participant / Exemplar per a l'investigador

Figura 25. Dictamen favorable de la comissió bioètica respecte el disseny experimental de la tesi doctoral.



*Per preservar el dret a la privacitat no s'adjunta la signatura de la persona responsable en emetre l'informe.

A continuació es mostra el qüestionari de dades inicials que es va passar a les persones incloses a l'estudi:

Qüestionari de dades bàsiques					
A continuació es demana que contestis les següents preguntes de forma acurada. Aquesta informació es mantindrà en la confidencialitat i serà tractada, exclusivament, amb una intenció investigadora.					
Quina edat tens el dia que assisteixes a l'experiment?					
Segons les mesures que t'has pres abans de l'experiment, quina és la teva alçada i pes?			Alçada (m):		Pes (kg):
Quin és el teu gènere? (pot no coincidir amb el teu sexe biològic)			Femení	Masculí	No binari
Pateixes alguna malaltia i/o trastorn que t'impedeix realitzar activitat física o t'afecta sobre la funció cognitiva			SI		NO
Prens alguna medicació que pugui afectar al Sistema Nerviós Central?			SI		NO
Ets daltònic/a o tens cap limitació visual?			SI		NO
Quantes tasses de cafè prens diàriament?					
Tens problemes per dormir o insomni habitualment?			SI		NO
Quantes vegades has jugat al golf o minigolf?			Mai	1-2 cops	una vegada al mes
				una vegada per setmana	Cada dia
Quin esport/es practiques més d'un cop a la setmana?					

A continuació s'adjunta el qüestionari IPAQ traduït al català emprat a la present investigació per determinar el nivell físic reportat per les persones:

1. ESCRIU EL TEU NOM
2. ESCRIU LA TEVA EDAT ACTUAL
3. QUIN ÉS EL TEU GÈNERE
4. QUIN ÉS EL TEU PES (KG)?
5. QUINA ÉS LA TEVA ALÇADA (EN METRES)?

Pensa en totes les activitats d'alta intensitat (és a dir, aquelles on **l'esforç físic és elevat** i costa la respiració) que has realitzat els darrers 7 dies. Només aquelles que vas realitzar, mínim, **durant 10 minuts**.

6. Durant els darrers 7 dies, quants dies vas realitzar activitats físiques intenses (com aixecar pesos pesats, cavar, fer exercicis aeròbics o pedalejar ràpid en bicicleta)?

➔ -----Dies per setmana

➔ Cap dia (saltar 3)

7. Normalment, quant temps vas dedicar a fer activitat física intensa en un dels dies abans mencionat?

➔ ----- Hores per dia

➔ ----- Minuts per dia

➔ No sap/ No recorda

Ara pensa en totes les activitats d'intensitat moderada (és a dir, aquelles on s'altera una mica el ritme de la respiració) que has realitzat els darrers 7 dies. Només aquelles que vas realitzar, mínim, **durant 10 minuts**

8. En els darrers 7 dies, ¿en quants dies vas realitzar activitats físiques **moderades** (com transportar pesos lleugers, pedalejar en bicicleta a una velocitat regular o jugar al *ping pong*)?

→ -----Dies per setmana

→ Cap dia (saltar 6)

9. Normalment, quant temps vas dedicar a fer activitat física **moderada** en un dels dies abans mencionat?

→ ----- Hores per dia

→ ----- Minuts per dia

→ No sap/ No recorda

Ara pensa en les vegades que has **caminat** durant els darrers 7 dies. També quan has caminat fent tasques de casa, anant a comprar, etc.

10. En els darrers 7 dies, ¿en quants dies vas caminar, com a mínim 10 minuts?

→ -----Dies per setmana

→ Cap dia (saltar 8)

11. Normalment, quant temps vas dedicar a caminar en un dels dies abans mencionat?

→ ----- Hores per dia

→ ----- Minuts per dia

→ No sap/ No recorda

12. Finalment, en els darrers 7 dies, quant temps vas passar assegut en un dia

→ ----- Hores per dia

→ ----- Minuts per dia

→ No sap/ No recorda

Annex 2. Altres càlculs estadístics

El càlcul de la normalitat de les dades es presenta a la Taula 24. S'ha realitzat una divisió per grups a cada variable. Les variables s'han considerat en els dos punts diferents d'anàlisi (adquisició i retenció) així com en el valor delta (diferència entre adquisició i retenció).

Taula 24. Càlcul de la normalitat de la distribució de les dades per a les variables de precisió i consistència als diferents punts per cada grup a partir de la prova de Shapiro-Wilk.

		Grups	Estadístic	df	Sig.
Mitjana de precisió l'adquisició	de a	COGNI-EXE	.956	15	.625
		COGNI-Control	.908	15	.126
		NO COGNI-EXE	.965	15	.781
		NO COGNI-Control	.974	15	.912
Mitjana de precisió a la retenció	de la	COGNI-EXE	.879	15	.054
		COGNI-Control	.974	15	.911
		NO COGNI-EXE	.954	15	.588
		NO COGNI-Control	.905	15	.113
Delta de precisió		COGNI-EXE	.958	15	.660
		COGNI-Control	.982	15	.980
		NO COGNI-EXE	.939	15	.364
		NO COGNI-Control	.918	15	.177

Mitjana	de	COGNI-EXE	.125	15	.283
consistència	a	COGNI-Control	.102	15	.739
l'adquisició		NO COGNI-EXE	.190	15	.217
		NO COGNI-Control	.144	15	.448
<hr/>					
Mitjana	de	COGNI-EXE	.931	15	.283
consistència	a la	COGNI-Control	.963	15	.739
retenció		NO COGNI-EXE	.923	15	.217
		NO COGNI-Control	.945	15	.448
<hr/>					
Delta	de	COGNI-EXE	.952	15	,564
consistència		COGNI-Control	.954	15	,591
		NO COGNI-EXE	.973	15	,895
		NO COGNI-Control	.919	15	,184
<hr/>					

El càlcul de la homogeneïtat de les variàncies de les dades es presenta, a continuació, a la taula 25. Novament es presenta el càlcul per cada variable en els dos punts diferents d'anàlisi (adquisició i retenció) així com en el valor delta (diferència entre adquisició i retenció).

Taula 25. Càlcul de la homogeneïtat de les variàncies de les dades per cada variable als diferents punts partir del test de Levene.

			Estadístic de Levene	df1	df2	Sig.
Mitjana de precisió a l'adquisició	de Basat en la mitja a	Basat en la mitja	.249	3	56	.862
		Basat en la mediana	.183	3	56	.908
		Basat en la mitjana retallada	.243	3	56	.866
		Basat en la mediana i df ajustat	.183	3	53.477	.908
Mitjana de precisió a la retenció	de Basat en la mitja a la	Basat en la mitja	1.146	3	56	.339
		Basat en la mediana	.640	3	56	.592
		Basat en la mitjana retallada	1.068	3	56	.370
		Basat en la mediana i df ajustat	.640	3	48.410	.593
Delta de precisió	de Basat en la mitja	Basat en la mitja	1.818	3	56	.154
		Basat en la mediana	1.292	3	56	.286
		Basat en la mitjana retallada	1.788	3	56	.160
		Basat en la mediana i df ajustat	1.292	3	47.382	.288
Mitjana de consistència a l'adquisició	de Basat en la mitja a	Basat en la mitja	4.525	3	56	.007
		Basat en la mediana	3.951	3	56	.013
		Basat en la mediana i df ajustat	3.951	3	48.920	.013

		Basat en la mitjana retallada	4.574	3	56	.006
Mitjana de consistència a la retenció		Basat en la mitja	1.386	3	56	.257
		Basat en la mediana	.939	3	56	.428
		Basat en la mediana i df ajustat	.939	3	43.682	.430
		Basat en la mitjana retallada	1.323	3	56	.276
Delta de consistència		Basat en la mitja	2.535	3	56	.066
		Basat en la mediana	2.289	3	56	.088
		Basat en la mediana i df ajustat	2.289	3	43.988	.092
		Basat en la mitjana retallada	2.570	3	56	.063

A continuació es presenten les dues taules on s'han dut a terme els càlculs de les diferències entre l'adquisició i la retenció a nivell individual tant per al a precisió com per ala consistència. També es quantifica el % de canvi entre cada prova.

Taula 26. *Percentatge dels canvis individuals de precisió entre la prova d'adquisició i la de retenció.*

GRUP	Persona	% de canvi	GRUP	Persona	% de canvi
	1	69,45		16	-1,78
	2	31,52		17	18,18
	3	25		18	3,57
	4	62,5		19	42,64
	5	70,53		20	14,28
	6	-56,25		21	-40,62
	7	81,25		22	38,64
COGNI-EXE	8	30	COGNI- Control	23	25
	9	51,47		24	12,5
	10	50		25	51,47
	11	5		26	29,16
	12	61,20		27	2,5
	13	77,94		28	-65
	14	28,94		29	-12,5
	15	81,25		30	2,17
	31	31,52		46	3,57
NO COGNI-EXE	32	-23,91	NO COGNI- Control	47	-20
	33	3,57		48	-50
	34	25		49	-17,39

35	36,03	50	-18,42
36	34,67	51	46,77
37	-50	52	-1,08
38	-14,28	53	13,75
39	25	54	-19,12
40	21,74	55	-12,5
41	-20	56	-36,36
42	-12,5	57	27,03
43	25	58	-58,82
44	54,35	59	-70,83
45	50,78	60	-23,75

*Nota: els valors positius representen increments a la prova de retenció, mentre que els valors negatius representen decrements.

Taula 27. Percentatge dels canvis individuals de consistència entre la prova d'adquisició i retenció.

GRUP	Persona	Valor de canvi	GRUP	Persona	Valor de canvi
	1	0,05		16	0,29
	2	0,16		17	-0,1
	3	0,17		18	0,15
	4	0,12		19	0,06
COGNI-EXE	5	0,06	COGNI- Control	20	0,39
	6	-0,14		21	0,19
	7	0,14		22	0,18
	8	0		23	-0,08
	9	0		24	0,09

	10	0,09		25	0,46
	11	-0,18		26	0,13
	12	0,26		27	0,04
	13	-0,02		28	0,5
	14	0,11		29	0,44
	15	0,1		30	0,22
	31	-0,05		46	0,02
	32	0,08		47	0
	33	-0,37		48	-0,11
	34	-0,19		49	-0,1
	35	-0,26		50	-0,17
	36	-0,41		51	-0,02
	37	-0,08		52	-0,02
NO COGNI-EXE	38	-0,14	NO COGNI- Control	53	0,05
	39	-0,02		54	0,06
	40	-0,2		55	-0,17
	41	0,01		56	-0,03
	42	-0,19		57	-0,04
	43	-0,54		58	-0,16
	44	-0,25		59	-0,12
	45	-0,21		60	-0,15