

Estudio de las lesiones y análisis electromiográfico de la actividad muscular de los brazos en niños que practican karting de competición

Salvio Fernando Delmuns Carvajal

<http://hdl.handle.net/10803/672065>

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

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

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

TESIS DOCTORAL

Título	Estudio de las lesiones y análisis electromiográfico de la actividad muscular de los brazos en niños que practican karting de competición.
Realizada por	Salvi Delmuns Carvajal
en el Centro	Facultad de Psicología, Ciencias de la Educación y del Deporte Blanquerna
y en el Departamento	Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Dirigida por	Dra. Maria Giné Garriga y Dra. Eulàlia Vidal Garcia

“El kart me dio muchos momentos de placer y excelentes recuerdos. Nunca un pilotaje fue tan divertido y allí aprendí muchas cosas. Muchas cosas que uso en la F1 son provenientes de lo aprendido en los karts”.

Ayrton Senna da Silva (1960-1994)

A Sara.

A Marina y Anna.

Agradecimientos

A mi directora de tesis, Maria Giné, sin la cual este trabajo nunca habría sido posible. Gracias por los consejos, correcciones y aportaciones sobre todo en los momentos difíciles.

A mi codirectora de tesis, Eulàlia Vidal, por tanta ayuda en la elaboración de esta tesis.

A todo el equipo del Laboratorio de Recerca de la FCSB. A Ferran Rey por tanta paciencia y horas de circuito haciendo lecturas EMG a pie de pista. A Raimon Milà por su asesoramiento de estadística y análisis de datos.

A Carlos Gonzalez por su excelente trabajo y sabios consejos en el análisis de esta singular muestra.

A todos los pilotos que han participado en el estudio, especialmente a Xavier Camprubí y sus hijos Marc y Bernat, por ayudarme en todo lo relativo a la logística de cada analisis en pista, así como en su colaboración en la captación de pilotos de competición para el mismo.

A Jordi Pérez, propietario del Circuit de Sallent por todo su apoyo y ayuda, haciendo de sus instalaciones nuestra casa.

A todos los pilotos, a sus familiares y amigos por haber participado en el estudio.

A Enric Clos de KPSport, por su apoyo técnico con las GoPro.

A la Institución a la que pertenezco, la Facultat de Ciencies de la Salut Blanquerna-URL, por concederme un semestre sabático para poder dedicarme plenamente a la realización de la tesi.

Y a todos los demás que han colaborado de una manera u otra, sin los cuales este estudio no se podría haber realizado.

Muchas gracias.

Índice

Abreviaciones	v
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	ix
Resum/ Resumen/ Abstract	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. El Deporte de alto nivel	3
1.2. Lesiones en el deporte	4
1.3. Epidemiología lesional en el deporte	6
1.3.1. Riesgo de lesión deportiva y factores vinculados	10
1.3.2. Prevención de las lesiones deportivas y reducción de riesgo	14
1.3.3. Programas preventivos y rendimiento deportivo en el motorsport	15
1.4. Historia y orígenes del karting	19
1.4.1. Karting de competición versus Go Kart	19
1.4.2. Categorías del karting de competición	23
1.5. Lesionabilidad y Go Karting	23
1.5.1. Revisión de la evidencia científica	23
1.5.2. Fatiga muscular	32
1.5.3. Fatiga periférica	33
1.6. Electromiografía	35
1.6.1. Equipo básico de electromiografía	37
1.6.2. Tecnología y aspectos prácticos de la Electromiografía de Superficie (EMGS)	38
1.6.3. EMGS en el deporte	40

II. JUSTIFICACIÓN	43
III. MÉTODO	47
3.1 Estudio 1. Estudio epidemiológico de las lesiones derivadas del karting de competición en niños	49
3.1.1. Objetivos	49
3.1.2. Hipótesis	49
3.1.3. Material y métodos	49
3.1.4. Muestra	50
3.1.5. Circuitos y carreras de los campeonatos	51
3.1.6. Diseño del estudio epidemiológico	51
3.1.7. Análisis de los datos	53
3.1.8. Publicación	54
3.2 Estudio 2. Estudio electromiográfico de superficie de la actividad muscular de los brazos en pilotos de karting de competición	59
3.2.1. Objetivos	59
3.2.2. Hipótesis	59
3.2.3. Material y métodos	59
3.2.4. Muestra	60
3.2.5. Temporalización del estudio	61
3.2.6. Material utilizado	62
3.2.7. Elección de los músculos	63
3.2.8. Protocolo de las pruebas	63
3.2.9. Realización de las pruebas	66
3.2.10. Sincronización de los datos obtenidos	67
3.2.11. Análisis de los datos	68
3.2.12. Publicación	69

IV. CONSIDERACIONES ÉTICAS	93
V. RESULTADOS	97
5.1 Resultados del estudio 1	99
5.2 Resultados del estudio 2	105
VI. DISCUSIÓN	115
6.1. Discusión del estudio 1	117
6.2. Discusión del estudio 2	123
VII. CONCLUSIONES	131
7.1. Conclusiones del estudio 1	133
7.2. Conclusiones del estudio 2	133
VIII. APLICABILIDAD DEL ESTUDIO Y LÍNIAS FUTURAS	137
IX. BIBLIOGRAFÍA	141
X. ANEXOS	155

Abreviaciones

ADP	Adenosín difosfato
Ag	Plata
AgCl	Cloruro de plata
ATP	Adenosín Trifosfat
Au	Oro
AVC	Accidentes vascular cerebrales
BBLS	Músculo Bíceps Brazo Izquierdo
BBRS	Músculo Bíceps Brazo Derecho
CD	Curva Derecha
CH	Chicane
CI	Curva Izquierda
CIK	Comisión Internacional de Karting
CMRR	CMRR
CO	Monóxido de carbono
CO2	Dióxido de carbono
COHb	Anhidrico Carbonico Hemoglobina
COI	Comité Olímpico Internacional
DE	Desviaciones estándar
ECLS	Músculos Extensores Brazo Izquierdo
ECRS	Músculos Extensores Brazo Derecho
EMG	Electromiografía
EMGS	Electromiografía de Superficie
F1	Fórmula Uno
FC	Frecuencia cardíaca
FCA	Federació catalana d'Automobilisme
FCLS	Músculos Flexores Muñeca Brazo Izquierdo
FCRS	Músculos Flexores Muñeca Brazo Derecho
FIA	Federación Internacional de Automovilismo
GP2	Gran Prix 2
IC	Intervalo de Confianza
ICC	Intercontinental C

KF3	Karts formula junior
LCA	Ligamento Cruzado Anterior
METs	Metabolic Equivalent to Task
MF	Frecuencia media
OSICS	Orchard Sports Injury Classification System
Pi	Fosfato inorgánico
PLS	Músculo Pronador Brazo Izquierdo
PRL	Músculo Pronador Brazo Derecho
RAE	Real Academia de la Lengua Española
RE	Recta
RFEA	Real Federación Española de Automovilismo
RMS	Root Mean Square
RR	Riesgo Relativo
SENIAM	Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles
SNC	Sistema nervioso central
TAC	Tomografía axial computerizada (TAC)
VMR	Valor medio rectificado

Índice de figuras

Figura 1. Fases del modelo general de prevención de lesiones deportivas.

Figura 2. Secuencia de prevención de lesiones deportivas.

Figura 3. Modelo sobre las causas de lesión deportiva de Meeuwisse.

Figura 4. Fernando Alonso con cinco años de edad.

Figura 5. Equipos de seguridad pasiva de los pilotos en el karting de competición con homologación FIA.

Figura 6. Relación de posibles factores fisiológicos de la fatiga periférica.

Figura 7. Variaciones de la amplitud de la señal EMG durante una contracción voluntaria isométrica mantenida.

Figura 8. Diagrama de funcionamiento de adquisición de una EMGS.

Figura 9. Vista aérea del Circuito de karting de Sallent con la sectorización por intervalos del trazado para las lecturas y registros EMGS.

Figura 10. Detalle del brazo izquierdo de un piloto, con los electrodos en los vientres musculares en base a las ubicaciones anatómicas de referencia, descritas por Eleanor Criswell.

Figura 11. Detalle del análisis de flexores de codo en contracción isométrica máxima, en uno de los pilotos de karting, con su registro EMG previo a subir al kart de competición para realizar el siguiente análisis en pista.

Figura 12. Detalle de los diferentes sectores del circuito de Sallent.

Figura 13. Detalle del set de captación y lectura EMG a pie del circuito.

Figura 14. Número de pilotos, lesionados y prevalencia por año.

Figura 15. Número de pilotos, lesionados y prevalencia por categoría, durante el periodo 2005-2009.

Figura 16. Número de participaciones y lesiones por circuito, durante el periodo 2005-2009.

Figura 17. Comparativo de los porcentajes de lesiones, según región corporal y clasificación OSICS.

Figura 18. Valores medios de la actividad EMG para a) Vuelta; b) Brazo dominante; c) Tipo de kart; y d) Interacción de los factores de las variables brazo dominante y tipo de kart.

Figura 19. Valores medios de la actividad EMG de los músculos del brazo derecho y el izquierdo de cada piloto.

Figura 20. Valores medios de la actividad EMG entre los músculos del brazo derecho y el izquierdo de cada piloto, el tipo de tramo.

Figura 21. Valores medios de la actividad EMG de brazo izquierdo en curva cerrada de izquierdas CI.

Figura 22. Valores medios de la actividad EMG de brazo izquierdo en curva cerrada de derechas CD.

Índice de tablas

Tabla 1. Categorías internacionales de Karting segun las edades.

Tabla 2. Resumen de la revisión de la literatura.

Tabla 3. Circuitos de karting de competición y sus distancias en metros.

Tabla 4. Clasificación OSICS-10 (Orchard Sports Injury Classification System).

Localización de la región corporal lesionada en base a la primera letra.

Tabla 5. Características de la muestra de pilotos.

Tabla 6. Medias de las participaciones, carreras y Km por año. Datos presentados en números absolutos y (DE).

Tabla 7. Medias de las participaciones, carreras y Km por categoría. Datos presentados en números absolutos y (DE).

Tabla 8. Medias de las participaciones, carreras y Km por circuito. Datos presentados en números absolutos y (DE).

Tabla 9. Clasificación de las lesiones según OSICS, con valores absolutos para los pilotos y porcentajes según región corporal.

Tabla 10. Clasificación de las lesiones según OSICS, con valores absolutos para los pilotos y porcentajes de la muñeca y mano (W).

Tabla 11. Clasificación de las lesiones según OSICS, con valores absolutos para los pilotos y porcentajes del tórax (C).

Tabla 12. Clasificación de las lesiones según OSICS, con valores absolutos para los pilotos y porcentajes del codo (E).

Tabla 13. Valores medios de la actividad EMG en relación a la vuelta, el brazo dominante, el tipo de kart y la Interacción de los factores de las variables brazo dominante y tipo de kart.

Tabla 14. Valores medios de la actividad EMG entre el brazo derecho y el izquierdo de cada piloto y el tipo de tramo.

Tabla 15. Valores medios de la actividad EMG entre el brazo derecho y el izquierdo de cada piloto para cada tipo de tramo.

Tabla 16. Valores medios de la actividad EMG y diferencias significativas entre los grupos musculares del brazo derecho e izquierdo de cada piloto para cada tipo de tramo.

Tabla 17. Valores medios de la actividad EMG de los grupos musculares del brazo derecho e izquierdo de cada piloto para cada el tipo de kart.

Tabla 18. Valores de la actividad EMG de los grupos musculares en brazo correspondiente al sentido de la curva y el brazo dominante.

TÍTOL

ESTUDI DE LES LESIONS I ANÀLISI ELECTROMIOGRÀFIC DE L'ACTIVITAT MUSCULAR DELS BRAÇOS EN NENS QUE PRACTIQUEN KARTING DE COMPETICIÓ

RESUM

Hi ha pocs estudis centrats en el kàrting de competició a diferència del "Go kart" modalitat d'oci. Aquesta tesi s'ha plantejat els següents objectius: conèixer les lesions i el seu impacte en el kàrting de competició, així com conèixer l'activitat muscular dels braços en l'acció de pilotatge d'aquests karts. Es va realitzar un estudi epidemiològic retrospectiu a pilots de 7 a 15 anys que van participar als campionats dels anys 2005-2009, analitzant les diferents lesions en base a la categoria, número de participacions i circuit. Així mateix, es van explorar els factors de risc de patir lesions i vàrem suggerir mesures correctives per reduir el nombre de lesions i la seva gravetat. El segon estudi es va centrar en l'ús d'electromiografia de superfície (EMGS) a una selecció de músculs de les extremitats superiors, mentre es pilotaven karts de competició en pista. Tretze pilots de la categoria sènior van participar voluntàriament en aquest estudi i es va analitzar l'activitat muscular: (a) en el nombre de voltes realitzades, (b) en ambdós braços, (c) segons les característiques del traçat, i (d) segons el tipus de kart (amb o sense marxes). En el primer estudi es van analitzar 334 pilots que van completar un total de 445.590,8 km de competició. Un total de 38 pilots va patir lesions durant els 5 anys de l'estudi. Les lesions corporals es van localitzar principalment a les mans i canells (42,1%). El segon estudi, es van trobar diferències significatives entre l'activitat muscular en relació al tipus de kart ($p < 0.0001$). Els resultats també mostren que hi ha una interacció significativa entre el tipus de kart i el braç dominant ($p = 0.021$), amb diferències significatives entre els dos tipus de kart per a cada braç dominant ($p < 0.0001$). L'activitat muscular augmenta més significativament en el braç del mateix sentit de la corba per sobre del braç dominant.

Paraules clau:

Karting de competició; electromiografia; activitat muscular, risc de lesió, adolescents.

TÍTULO

ESTUDIO DE LAS LESIONES Y ANÁLISIS ELECTROMIOGRÁFICO DE LA ACTIVIDAD MUSCULAR DE LOS BRAZOS EN NIÑOS QUE PRACTICAN KARTING DE COMPETICIÓN

RESUMEN

Hay pocos estudios centrados en el karting de competición a diferencia del “Go kart” modalidad de ocio. Esta tesis se ha planteado los siguientes objetivos: conocer las lesiones y su impacto en el karting de competición, así como conocer la actividad muscular de los brazos en la acción de pilotaje de estos karts. Se realizó un estudio epidemiológico retrospectivo en pilotos de 7 a 15 años que participaron en los campeonatos de los años 2005-2009, analizando las diferentes lesiones en base a la categoría, número de participaciones y circuito. Así mismo, se exploraron los factores de riesgo de sufrir lesiones y se sugirieron medidas correctivas para reducir el número de lesiones y su gravedad. El segundo estudio se centró en el uso de electromiografía de superficie (EMGS) en una selección de músculos de las extremidades superiores, mientras se pilotaban karts de competición en pista. Trece pilotos de la categoría senior participaron voluntariamente en este estudio y se analizó la actividad muscular: (a) en el número de vueltas realizadas, (b) en ambos brazos, (c) según las características del trazado, y (d) según el tipo de kart (con o sin marchas). En el primer estudio se analizaron 334 pilotos que completaron un total de 445.590,8 km de competición. Un total de 38 pilotos sufrió lesiones durante los 5 años del estudio. Las lesiones corporales se localizaron principalmente en manos y muñecas (42,1%). En el segundo estudio, se encontraron diferencias significativas entre la actividad muscular en relación al tipo de kart ($p < 0.0001$). Los resultados también muestran que hay una interacción significativa entre el tipo de kart y el brazo dominante ($p = 0.021$), con diferencias significativas entre los dos tipos de kart para cada brazo dominante ($p < 0.0001$). La actividad muscular aumenta más significativamente en el brazo del mismo sentido de la curva por encima del lado dominante.

Palabras clave:

Karting de competición; electromiografía; actividad muscular; riesgo de lesión; adolescentes.

TITLE

STUDY OF INJURIES AND ELECTROMYOGRAPHIC ANALYSIS OF MUSCULAR ACTIVITY OF THE ARMS IN COMPETITIVE KARTING CHILDREN DRIVERS

ABSTRACT

There are few studies focused on competitive karting as opposed to the “Go kart” leisure type. The main objectives of this thesis were to analyze the injuries and their impact on competitive karting, as well as to assess the muscular activity of the arms in the driving action of these karts in children. A retrospective epidemiological study was carried out in pilots between 7 and 15 years old who participated in the championships of the years 2005-2009, analyzing the different injuries based on the category, number of participations and circuit. Risk factors for injury were also explored and we suggested corrective measures to reduce the number and severity of injuries. The second study focused on the use of surface electromyography (EMGS) on a selection of muscles of the upper extremities, while driving competitive karts on track. Thirteen pilots of the senior category volunteered to participate in this study and we analyzed the muscle activity based on: (a) the number of laps performed, (b) both arms, (c) the characteristics of the track, and (d) the type of kart (with or without gears). The first study included 334 pilots who completed a total of 445,590.8 km of competition. A total of 38 pilots suffered injuries during the 5 years of the study. Bodily injuries were mainly located in the hands and wrists (42.1%). In the second study, significant differences were found between muscle activity in relation to the type of kart ($p < 0.0001$). The results also showed that there was a significant interaction between the type of kart and the dominant arm ($p = 0.021$), with significant differences between the two types of kart for each dominant arm ($p < 0.0001$). Muscle activity increased more significantly in the arm located in the same direction of the curve than the dominant side.

Keywords:

Competitive karting; electromyography; muscular activity; risk of injury; adolescents.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. El Deporte de alto nivel

El deporte en general tiene efectos en las propiedades físicas y psicológicas del deportista. Cuando la dedicación y preparación de la competición, por parte del deportista, ocupa la mayor parte del tiempo y se hace de forma intensa, puede llegar a darse el paso de amateur a profesional del deporte. El profesional es un deportista que vive para y por el deporte, beneficiándose de sus resultados en las competiciones, y vinculados a una compensación económica. El deportista aficionado sólo mantiene un interés lúdico y desinteresado económicamente, definiéndose como deportista amateur (Gatell, 1999).

En la antigua Grecia, 525 a.C., se instaura la competición en el deporte apareciendo el deportista profesional que se desplazaba por las ciudades a competir acompañado por un equipo de especialistas que le daban soporte (por ejemplo, el entrenador, masajista, cocinero). Las marcas o resultados deportivos producían un impacto social y una repercusión en la región de procedencia del deportista, con mucha representación territorial de estos deportistas en la época. Los griegos pagaban a los deportistas de otras ciudades para que compitiesen en las suyas y como en tantas otras culturas, así se ha sucedido con el paso de los tiempos hasta la actualidad (Gatell, 1999).

Cuando el deporte deja de ser una actividad de ocio y se centra en la búsqueda del triunfo de una minoría muy selecta, profesionalizándose, es cuando hablamos del deporte de alto nivel (Gatell, 1999). Entendemos al deportista de alto nivel como aquel que está por encima de los amateurs siendo el máximo exponente del reto deportivo. Al diferenciar el concepto de deporte de alto nivel del alto rendimiento y la élite, en el primero serán necesarias unas condiciones técnicas y se concentra el máximo rendimiento y la competitividad de ámbito internacional. El deportista de alto nivel deberá clasificarse en competiciones internacionales, constar en los registros oficiales de las federaciones internacionales pertinentes de una modalidad deportiva en concreto. En relación al término deportista de élite, deberíamos encuadrarlo como un sinónimo del alto nivel dado que el significado del primero -posiciones dominantes de la sociedad- concuerda con el perfil del segundo (Gatell, 1999).

Actualmente la gran mayoría de países disponen de centros para los deportistas de alto nivel con el objetivo de agruparlos y concentrarlos, así como favorecer su relación profesional con los mejores de su entorno. El objetivo de dichos centros será facilitar un espacio con instalaciones que les permita centrarse en la mejor preparación física complementaria a los entrenos, controlar los entrenamientos y el estado de salud del deportista, evitando largos desplazamientos para las diferentes gestiones de control,

sesiones de entreno y estudios. En este tipo de instalaciones la manutención se realiza en el mismo centro.

Existen deportistas del deporte base y alto nivel, y/o de deportes minoritarios que también se concentran en este tipo de instalaciones, a pesar de no poder llevar a cabo la práctica deportiva en el centro, necesitando instalaciones, vehículos, materiales, y terrenos específicos. Un claro ejemplo lo encontramos en los pilotos de deportes del tipo “motorsport”. Se entiende por “motorsport” toda actividad deportiva vinculada al uso de vehículos motorizados. Los equipos de profesionales de estos centros (entrenadores, médicos, fisioterapeutas, psicólogos, entre otros) se ocupan de la mejora de la preparación física y de la salud de estos deportistas complementando sus programas de entrenamiento y competición en circuitos, pistas y rallyes que realizan con sus vehículos de competición. El equipo de profesionales persigue que sus deportistas logren el alto nivel.

1.2. Lesiones en el deporte

Según la Real Academia de la Lengua Española (RAE), “lesión” es el daño o detrimento corporal causado por una herida, un golpe o una enfermedad. Según esta definición podemos decir que una lesión deportiva es el daño que se produce en el cuerpo humano como consecuencia de la práctica deportiva.

La definición de lesión deportiva sería el daño que se produce en un determinado tejido como resultado de la práctica deportiva o la realización de ejercicio físico. En función del mecanismo de lesión y del comienzo de los síntomas se pueden clasificar en agudas o por uso excesivo (Parkkari et al., 2001).

Las lesiones deportivas son las lesiones más frecuentes después de las de origen laboral, en nuestra sociedad moderna. Su tratamiento suele ser difícil i con altos costes económicos, requiriendo de tiempo y recursos para su completa recuperación (Parkkari et al., 2001). Todos estos factores hacen que los programas i estrategias preventivas sean claves en el ámbito deportivo (y en el económico) para aumentar el nivel competitivo en toda modalidad deportiva minimizando las lesiones y su impacto económico (Parkkari et al., 2001). La etiología de las lesiones, los factores de riesgo y conocer los mecanismos lesionales deben de ser identificados antes de aplicar programas preventivos. Por ello, se debe definir, clasificar y registrar con métodos validados los tipos de lesiones y la severidad de las mismas, para poder evaluar los resultados de estos programas preventivos (Parkkari et al., 2001).

Existen distintos modelos de prevención de lesiones deportivas. Van Mechelen et al. (1992) publicó un modelo basado en cuatro fases, que posteriormente modificó Finch (2006) y complementó Van Tiggelen et al. (2008).

Los autores explican que el primer paso es conocer el mapa lesional del deporte, determinando la incidencia y la gravedad de las lesiones para poder identificar y conocer los mecanismos lesionales y los factores de riesgo. A continuación, se aplicarán las acciones preventivas adecuadas que serán evaluadas para determinar su eficacia a corto y largo plazo (Figura 1).

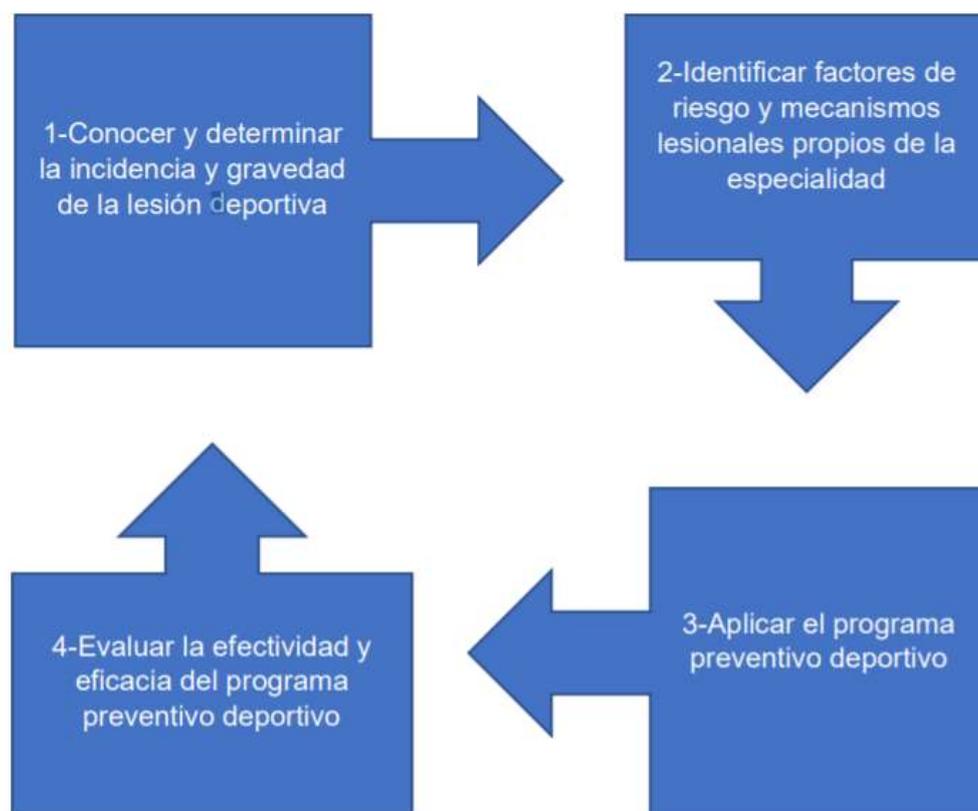


Figura 1. Fases del modelo general de prevención de lesiones deportivas. (Fuente adaptada de Van Mechelen et al., 1992).

De esta secuencia de prevención de Van Mechelen et al. (1992), surge la necesidad de conocer la lesión y sus mecanismos originarios para poder actuar y organizar el trabajo preventivo. Este debe registrarse, y publicarse, para poder comparar los datos con otros grupos de deportistas de la misma modalidad, permitiendo así compararlo con otras modalidades deportivas, con el objetivo de tener la mayor información de cada deportista, equipo y evolucionar y actualizar los programas preventivos constantemente. Directamente estos estarán adaptados a los recursos humanos y económicos de cada equipo deportivo o modalidad, estableciéndose sistemas de control y de evaluación que permitan una correcta aplicación preventiva (Solla, 2010) (Figura 2).

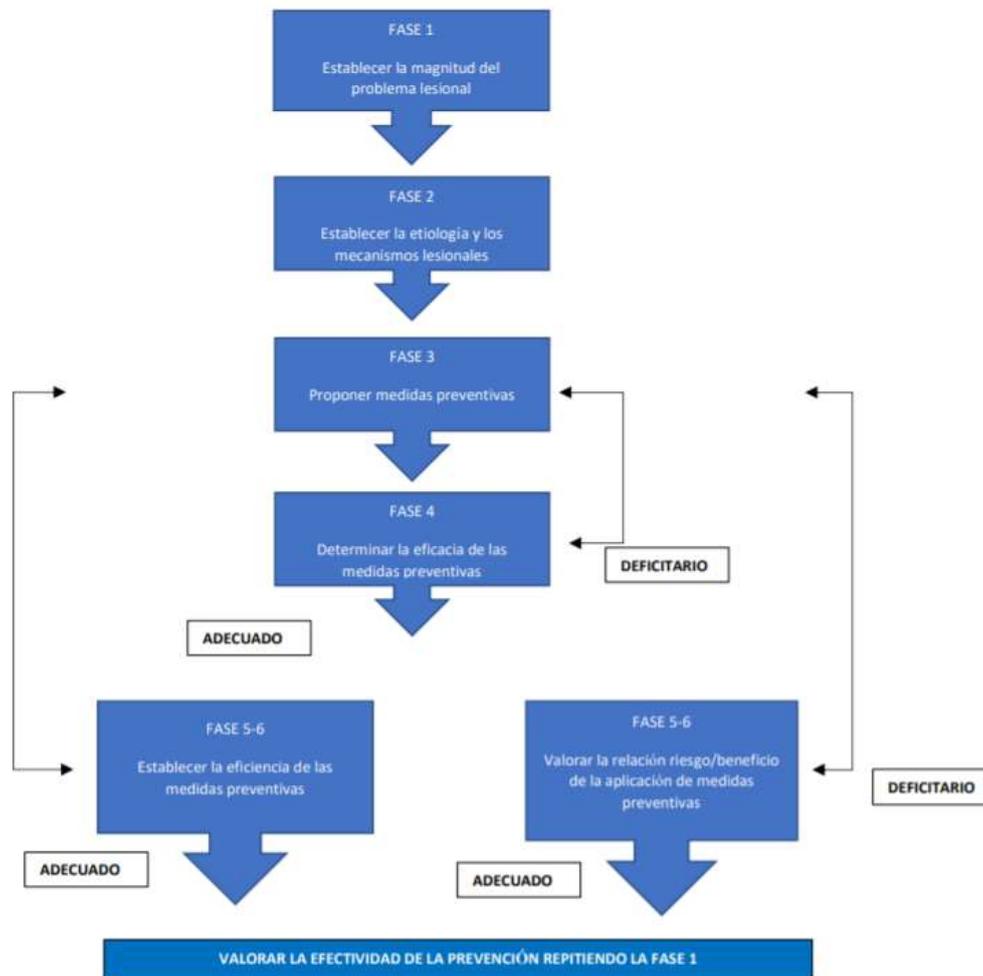


Figura 2. Secuencia de prevención de lesiones deportivas (Modificada por Finch et al., 2006 i adaptada de Van Tiggelen et al., 2008).

1.3. Epidemiología lesional en el deporte

Con los años se han publicado estudios epidemiológicos de la lesionabilidad en diferentes deportes, campeonatos y olimpiadas (Finch et al., 1999; Harrison y Price, 1992; Junge et al., 2006; Junge et al., 2008).

Un estudio epidemiológico realizado en España por García et al. (2015) incluyó un total de 1616 encuestas a sujetos que sufrieron una lesión en los últimos 12 meses practicando deporte a modo de ocio. Del total de la muestra, un 72,5 % fueron hombres y un 27,5 % mujeres; así como el 74,4 % fueron deportistas de hasta 35 años de edad y el 25,6 % restante, mayores de 35 años. Como resultados de este estudio se constató que el deporte que generó mayor número de lesiones fue el fútbol (27,6 % del total de accidentes); seguido por el atletismo (8,6 %), el fútbol sala (7,9 %) y el baloncesto (7,7 %). Atendiendo a las consecuencias de las lesiones, los deportes que manifestaron un mayor porcentaje de secuelas tras el accidente fueron: baloncesto (el 70,2 % de los

lesionados), fútbol (69,5 %) y ciclismo (66,7 %). Asimismo, los que más porcentaje de rehabilitación tras lesión requirieron fueron: atletismo (78,9 %), pádel (72,2 %) y tenis (71,7 %). Por último, los que más bajas laborales supusieron fueron: tenis (26,1 %), fútbol sala (26 %) y artes marciales (22,8 %) (García et al., 2015).

Wertman et al. (2016), realizaron un estudio observacional retrospectivo para investigar las lesiones de las extremidades superiores específicas de la posición de pilotaje de la NASCAR, así como de los miembros de los equipos de boxes. Analizaron los pacientes atendidos durante las carreras del julio del 2003 hasta el octubre del 2014, revisando el diagnóstico, mecanismo lesional y posición de cada lesionado. Un total de 226 miembros de la NASCAR fueron tratados de lesiones de extremidad superior. El 42% de las lesiones ocurrieron a mecánicos en los repostages y cambios de ruedas, seguidas del 16% a los pilotos, 14% a transportistas, 11% a elevadores de coche, 9% a repostadores y un 8% a hombres de servicios varios. El personal de boxes se halló que estaba más expuesto a las epicondilitis y los pilotos a las neuropatías (Wertman et al., 2016).

Recientemente, Patalak et al. (2020) procesaron y analizaron los registros de accidentes de 8 temporadas de la NASCAR, hallando 246 pilotos lesionados del 2011 al 2015, y encontrando que los impactos laterales derechos tenían un riesgo de lesión más bajo que los del lado izquierdo. Constataron que hay de promedio 258 choques por temporada; una mayor velocidad y la aceleración máxima aumentan el riesgo de lesiones del piloto (Patalak et al., 2020).

Existe el problema que la comparación de resultados entre estudios es difícil pues se utilizan metodologías diferentes para calcular y clasificar las lesiones en los distintos estudios (Kraus y Burg, 1970; Meeuwisse y Love, 1997; Walter et al., 1985). Esto genera variaciones en los resultados a partir de definiciones de lesión distintas, metodologías que alteran los resultados y conclusiones dispares en este tipo de estudios de lesiones deportivas. (Brooks y Fuller, 2006; Finch, 1997; Fuller et al., 2006; Fuller et al., 2007; Hagglund et al., 2005; Junge y Dvorak, 2000; Junge et al., 2004). Hay pocos estudios epidemiológicos sobre lesiones deportivas en campeonatos o torneos de un único deporte, excepto en el caso del fútbol y el rugby, al ser estos dos últimos deportes objeto de estudio de muchos equipos de investigación deportiva, con muchas instituciones federativas y sanitarias que aportan resultados de lesionabilidad en ambos deportes. (Best et al., 2005; Dick et al., 2007; Dvorak et al., 2007; Wekesa et al., 1996). Esto llevo a varios autores a proponer un consenso para facilitar un modelo de registro de datos vinculados a las lesiones de los deportistas (Andersen et al., 2004; Fuller et al., 2006;

Fuller et al., 2007; Goldberg et al., 2007; King et al., 2009; McManus, 2000). El Comité Olímpico Internacional (COI), creó una guía que se usó por primera vez en los Juegos Olímpicos de Pequín 2008, originaria de un modelo de registro de lesiones para torneos de fútbol y hándbol internacionales usada en los Juegos Olímpicos de Atenas 2004. Con gran aceptación, este sistema aportó resultados excelentes de alta calidad, permitiendo evolucionar el sistema de registro adaptándolo a los deportes individuales. Este mismo sistema aportó excelentes resultados y calidad de datos epidemiológicos en los Campeonatos Mundiales de la Federación Internacional de Atletismo en Osaka 2007 (Junge et al., 2008).

Todo sistema de registro y control de lesiones deportivas parte de la definición válida y fiable de la lesión, gravedad de la misma y de la incidencia de estas lesiones en base a la *"Injury Surveillance"* (vigilancia de lesiones). La selectiva recogida de estos datos se hace por parte de los clubs, equipos sanitarios e instituciones deportivas oficiales, como las federaciones, y sirve como referencia de las lesiones deportivas asociándolas a posibles factores de riesgo. Tener bien definida la población de riesgo y los tiempos de exposición donde posiblemente se puedan sufrir lesiones, permiten disponer de buenos sistemas de control de lesiones (Finch, 1997; Orchard y Hoskins, 2007; Thompson et al., 1988). Autores como Phillips (2000) proponen usar el mismo sistema de vigilancia y control de las lesiones deportivas para todos los deportes, con el objetivo de identificar la etiología lesional y la efectividad de los programas preventivos. Quienes lideran estos planteamientos de la epidemiología en lesiones deportivas se centran en los sistemas de control en el fútbol (Fuller et al., 2006) o en el rugby (Fuller et al., 2007). Asimismo, algunas organizaciones han desarrollado sus propios sistemas de gestiones de datos sobre lesiones deportivas. Hootman et al (2007) lo utilizó en quince deportes distintos, Orchard y Seward en fútbol i posteriormente se adaptaron sus modelos a todo tipo de deportes (Hootman et al., 2007; Orchard y Seward, 2002).

Los estudios de lesiones del fútbol en categorías superiores, definieron y dieron base a la definición más aceptada y usada del término lesión. Dichos estudios definen lesión como cualquier alteración muscular esquelética de nueva aparición que sucede en la competición y/o entrenamiento, y que recibe atención y control por parte de un equipo médico por las consecuencias que puede tener por dejar sin competir o entrenar al deportista afectado (Fuller et al., 2006). Orchard y Hoskins (2007) añaden a esta definición, el determinar la gravedad de la lesión y el periodo de tiempo que ésta ha dejado sin competir o entrenar al deportista. Kuhn et al. (1997) definen la incidencia de lesiones deportivas como aquellos nuevos casos que se suceden en un periodo de

tiempo determinado y que están relacionados con una población deportiva de riesgo y un tiempo de exposición (Orchard y Hoskins, 2007; Kuhn et al., 1997).

En los estudios de lesiones deportivas, la incidencia lesional se suele expresar como: a) número de lesiones por 100 o 1000 deportistas; b) número de lesiones por 100 o 1000 exposiciones del deportista, o c) número de lesiones por cada 1000 horas de entrenamiento y/o competición. Es importante que la incidencia lesional se calcule por separado en función de los entrenamientos y competiciones (Fuller et al., 2006; Junge y Dvorak, 2000). En relación al tipo de lesión y su gravedad, Van Mechelen et al. (1992) propusieron seis criterios de registro y estudio: a) naturaleza de la lesión deportiva; b) tiempo de tratamiento precisado; c) tiempo de ausencia deportiva; d) tiempo de trabajo laboral perdido; e) daños permanentes; y f) coste económico. En la epidemiología lesional deportiva, la definición de la lesión, qué lesiones debemos registrar, su severidad y la metodología a utilizar en los registros de la información de estas lesiones serán claves para poder realizar buenos diseños de los estudios, así como medir la eficacia de la intervención preventiva a posteriori (Van Mechelen et al., 1992).

Es importante estudiar la lesionabilidad en el deporte base, concretamente en niños y adolescentes, que en edades tempranas practican deporte. Conocer la epidemiología de las lesiones que sufren es clave, para poder prevenirlas y evitar problemas de salud al llegar a edades adultas. Dilip et al. (2017) recientemente constataron en su estudio que las lesiones sufridas durante la actividad física, el ejercicio y las actividades deportivas son comunes en niños y adolescentes en los Estados Unidos. En este grupo de edad, la mayoría de las lesiones musculoesqueléticas relacionadas con el deporte son causadas por una sobre práctica y repetitividad. Los patrones de lesión pueden ser modulados por el crecimiento y el desarrollo, haciendo que varíen según la edad, el sexo y el tipo de deporte o actividad física realizada. También evidenciaron que en general, los niños son más propensos que las niñas a sufrir lesiones durante la práctica del deporte. Estos estudios, en jóvenes atletas, demostraron que las lesiones en las extremidades inferiores son más comunes en general y las lesiones primarias son un factor de riesgo importante para futuras lesiones recidivas (Dilip et al., 2017).

Phillips (2000) detalló en su estudio centrado en la incidencia de lesiones deportivas las limitaciones de los estudios epidemiológicos, y propuso cómo debería presentarse un estudio de lesiones ideal. Estos estudios de lesionabilidad, que analizan las lesiones a 1000 horas de práctica deportiva suelen tener como limitaciones que se hacen con datos retrospectivos pudiendo conllevar sesgos; por ejemplo normalmente hay varios

registradores de las lesiones, y se suelen hacer con datos de una sola temporada deportiva de un solo equipo perdiéndose horas de entrenos en los registros habituales.

Además, por lo expuesto anteriormente tienden a compararse los datos con otros estudios del mismo deporte que se han codificado y diagnosticado de diferente manera. Por otra parte, Phillips (2000) determina que los estudios epidemiológicos de lesiones deben recoger datos de los deportistas lesionados y de los no lesionados (estudios de cohorte), incluyendo varios equipos y recogiendo datos en prospectiva longitudinal con un mismo sistema de clasificación y diagnóstico de las lesiones, y midiendo las horas de exposición utilizadas para expresar las tasas de incidencia reales (Phillips, 2000). Recientemente Lundbland et al. (2020), determinaron las tasas de lesiones de LCA y LCP durante 17 temporadas en jugadores profesionales de 68 equipos de la UEFA. La tasa se definió como el número de lesiones por 1000 horas-jugador. Registraron 128 lesiones de LCA y 28 de LCP que ocurrieron durante 2.554.686h de exposición, siendo lesiones asociadas a mecanismos de lesión por contacto (Lundblad et al., 2020).

1.3.1. Riesgo de lesión deportiva y factores vinculados

Las lesiones deportivas se entienden como fenómenos multifactoriales con múltiples factores de riesgo que interactuaran en un momento específico y que presentan mucha dificultad para identificarlos (Bahr y Holme, 2003). Estos factores de riesgo pueden ser extrínsecos e intrínsecos. En cuanto a los extrínsecos clasificamos: 1) exposición (tipo de deporte, tiempo de exposición, posición en el deporte de equipo, nivel de competición; 2) entrenamiento (tipo, cantidad, frecuencia, intensidad); 3) ambientales (tipo de superficie de juego, deportes en exteriores o *indoor*, condiciones meteorológicas, periodo de la temporada, factores humanos, rivales, árbitros, jueces, entrenadores, espectadores, etc.); y 4) equipamiento (protecciones del deportista, calzado, ropa, etc.). En cuanto a los factores intrínsecos: 1) características físicas (edad, género, somato tipo, lesiones previas, nivel físico, movilidad articular, rigidez, debilidad muscular, inestabilidad ligamentosa, alteraciones anatómicas, habilidades motoras, habilidades específicas necesarias para el deporte); y 2) perfil psicológico (motivación, riesgo asumido, adaptación al estrés, situación profesional, familiar, etc.). Los factores extrínsecos e intrínsecos favorecen que el deportista pueda sufrir lesiones. Muchos de estos factores no pueden ser modificados, por ejemplo, el género, o la edad que irá vinculada a la categoría del deportista dentro de una modalidad del deporte. Por ello, es clave el estudio de los factores potencialmente modificables como la condición física, la fuerza, el equilibrio y la flexibilidad. (Lysens et al., 1991; Meeuwisse, 1994; Taimela et al., 1990; Bahr y Holme, 2003). Prien et al. (2018) realizaron una revisión sistemática

centrada en las lesiones craneales traumáticas leves, comparando la incidencia de conmociones cerebrales y otras lesiones craneales del fútbol de elite, rugby, hockey sobre hielo y fútbol americano en deportistas mayores de 17 años. Se hallaron las mayores incidencias de conmociones cerebrales en partidos de rugby y las más bajas en el fútbol, dándose mayoritariamente en los partidos y no en los entrenamientos. Las jugadoras tenían mayor riesgo de conmociones cerebrales en el fútbol y el hockey sobre hielo en comparación a los jugadores masculinos (Prien et al., 2018).

No existe en la actualidad un consenso para determinar las edades en las que se producen más lesiones deportivas. Algunos autores concluyen que los deportistas de mayor edad acumulan incidencias más altas de lesiones (Knapik et al., 2001; Orchard, 2001; Ostenberg y Roos, 2000; Verrall et al., 2001). Otros demuestran que los deportistas más jóvenes son los que tienen más incidencia de lesiones, concretamente el 50% se lesionaron por contacto al practicar fútbol. Estas lesiones se concentraron en las extremidades inferiores (Peterson et al., 2000). También hay diversos estudios que no encuentran asociación entre la edad de los deportistas y las incidencias lesionales, (Chomiak et al., 2000; Soderman et al., 2001) afirmando que, de 389 jugadores de fútbol de 14 a 42 años que se lesionaron durante un año, sufriendo un total de 686 lesiones, el 81,5% de los orígenes lesionales fueron traumatismos y el 18,5% fueron de sobre carga. Esta franja de edad tan amplia y el tipo de lesiones, reflejan la citada falta de asociación entre variables.

En cuanto al factor de riesgo asociado al género, el género femenino registra una mayor incidencia lesional y se vincula a factores de carácter neuromuscular y hormonal en las lesiones de rodilla (Hosea et al., 2000; Knapik et al., 2001; Myklebust et al., 1998; Myklebust et al., 2003; Adachi et al., 2008; Hewett et al., 2007; Vescovi, 2011; Zazulak et al., 2006). Algunos autores no encuentran asociación entre el género y el riesgo de lesión (Beynnon et al., 2001) afirmando que las lesiones de Ligamento Cruzado Anterior (LCA) son más frecuentes en jugadoras de fútbol, siendo esta modalidad deportiva donde se han realizado más estudios. La variación de los receptores de hormonas sexuales en el sistema músculo esquelético puede tener un impacto en los efectos del entrenamiento muscular y las lesiones deportivas en las mujeres, no quedando claro si hay relación definitiva entre las fluctuaciones hormonales del ciclo menstrual con las lesiones de LCA sin contacto o con contacto con otros rivales (Vescovi, 2011).

Los deportistas pasan mucho tiempo entrenando, y este tiempo siempre es superior a las competiciones. Diferentes investigadores coinciden que la incidencia lesional es mayor en las competiciones que en los entrenamientos. Factores como la agresividad

en la competición hacen que haya más probabilidad de lesionarse compitiendo que entrenando (Ekstrand et al., 1983; Kujala et al., 1995; Murphy et al., 2003; Myklebust et al., 1998; Soderman et al., 2001; Snellman et al., 2001). Aun así, conocer la frecuencia, intensidad, duración de los entrenamientos es clave para la etiología de las lesiones, especialmente las sobrecargas musculares.

El peso, altura, debilidad muscular, pérdida de flexibilidad pueden ser factores que predispongan al deportista a sufrir sobrecargas (Parkkari et al., 2001). En relación al nivel técnico del deportista, hay estudios que demuestran que los deportistas con menor nivel técnico tienen más riesgo de sufrir lesiones, al generarse el 50 % de las lesiones por contacto con otros jugadores (Chomiak et al., 2000; Peterson et al., 2000). En contraposición, también encontramos que los deportistas de más nivel técnico al competir con más agresividad, aumentan el riesgo de lesionarse frente a los de menor nivel técnico (Murphy et al., 2003).

En relación a las superficies de juego, es en el del fútbol donde hay más estudios y estos demuestran que los campos de césped artificial son más lesivos que los de césped natural, por su variedad de posibilidades en su estado y mantenimiento (Arnason et al., 1996; Arnason et al., 2004; Inklaar, 1994). Encontramos consenso en relación a la condición física como factor importante para la reducción del riesgo de sufrir lesiones. Una mala condición física causa fatiga i comporta una reducción en la función protectora muscular, que implica menor dominio del gesto deportivo como factores detonantes a poder sufrir más lesiones (Chomiak et al., 2000; Knapik et al., 2001; Murphy et al., 2003).

Una mala recuperación en una lesión puede ser factor de riesgo para sufrir una lesión recidiva. A nivel muscular, el hecho de sufrir una lesión previa sin tratamiento de fisioterapia, constituye un factor de riesgo importante para sufrir una lesión recidiva en el mismo músculo (Chomiak et al., 2000; Heiderscheit et al., 2010; Murphy et al., 2003; Emery, 2012; Engebretsen et al., 2008; Engebretsen et al., 2010; Mendiguchia et al., 2012; Opar et al., 2012).

La flexibilidad, laxitud articular, el rango de movimiento, la fuerza muscular, la estabilidad postural y la morfología del pie, generan controversia en los estudios publicados a la hora de determinar qué modalidad deportiva puede provocar un mayor número de lesiones. Algunos estudios muestran factores de riesgo importantes y en otros no se les atribuye una importancia significativa. Estado y tipo del terreno de juego, horas de entrenamiento, así como las horas de competición son factores, donde los autores no presentan consenso a la hora de determinar, cuales de estos factores son los más

importantes (Arnason et al., 1996; Beynnon et al., 2001; Murphy et al., 2003; Ostenberg y Roos, 2000; Soderman et al., 2001).

Para desarrollar programas preventivos para lesiones vinculadas a la práctica deportiva, es clave conocer los mecanismos de lesión (Krosshaug et al., 2005). La descripción precisa del momento lesional permite entender el origen de las lesiones, y son varios los estudios que han fijado como su objetivo prioritario la descripción de tales mecanismos lesionales (Bahr y Krosshaug, 2005).

Los mecanismos de lesión no se pueden analizar con uso de técnicas experimentales directas. Los análisis se basan en las entrevistas a los deportistas, análisis de videos, registros gráficos, estudios clínicos, lesiones durante experimentación biomecánica, estudios en cadáver, modelos matemáticos o medidas de fuerza in situ (Krosshaug et al., 2005). Los factores que configuran el momento de una lesión, no son independientes unos de los otros, y constituyen situaciones únicas en cada lesión. La situación deportiva, el comportamiento del deportista y de su adversario pueden influir en la biomecánica corporal, así como en la carga en los tejidos y en las articulaciones. Estos distintos factores serán objetivo de los programas de prevención para la reducción del riesgo de lesiones deportivas (Krosshaug et al., 2005).

Las lesiones deportivas son fruto de complejas interacciones entre factores intrínsecos y extrínsecos (mencionados anteriormente), que harán del deportista un candidato a la lesión (Bahr y Krosshaug, 2005). La combinación de estos factores y su interacción, facilitarán que el deportista se lesione, dándose una cadena sumatoria de esos factores hasta la aparición de la lesión (Bahr y Krosshaug, 2005; McIntosh, 2005; Meeuwisse, 1994). Meeuwisse (1994) cita como factores de riesgo externos los equipamientos reglamentarios como equivocarse en la elección del calzado según la superficie de juego, evidenciándose que hay modalidades, donde los factores técnicos en los accesorios para esas modalidades, serán posibles factores vinculados a la lesionabilidad (Meeuwisse, 1994) (Figura 3).

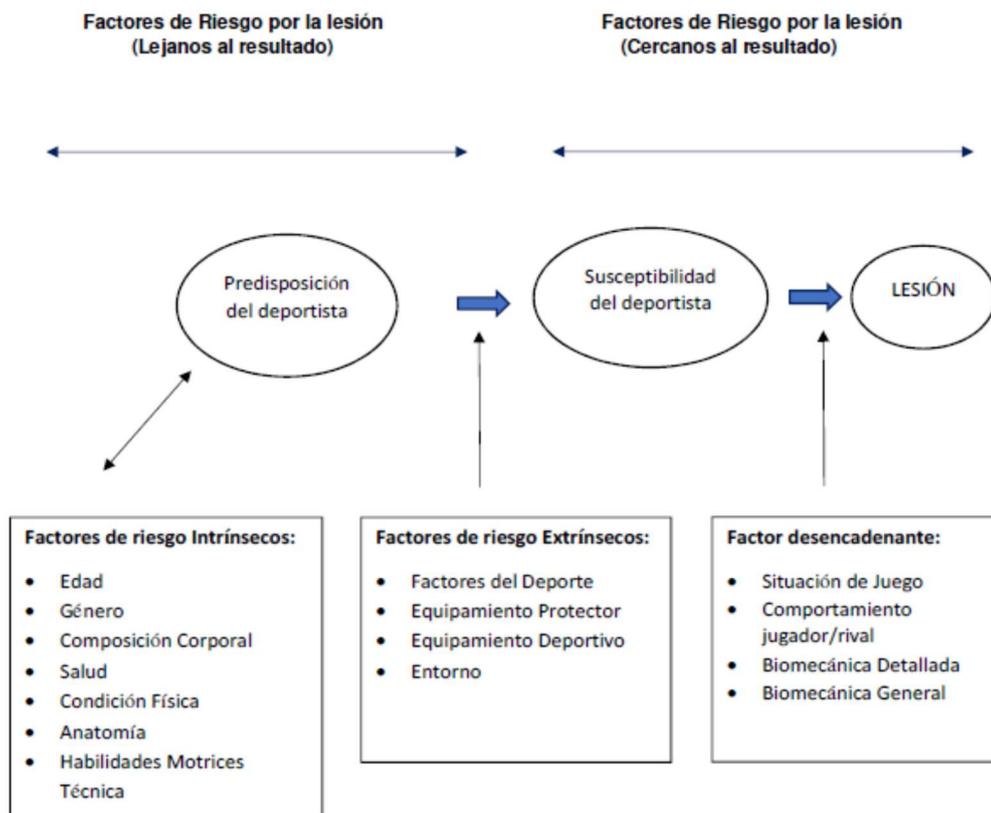


Figura 3. Modelo sobre las causas de lesión deportiva de Meeuwisse. (Fuente adaptada de Meeuwisse, 1994).

1.3.2. Prevención de las lesiones deportivas y reducción de riesgo

En todo deporte existe un riesgo de lesión. En unos será más elevado que en otros, en base a la ejecución de movimientos, sobrecargas y/o desequilibrios musculoesqueléticos (Dvorak y Junge, 2000). Las lesiones pueden afectar al rendimiento deportivo, contribuyendo a la aparición de patologías del aparato locomotor. Las consecuencias de las lesiones deportivas no afectarán solo al deportista, también lo harán a familiares, entrenadores, miembros del equipo, clubs, federaciones aseguradoras, patrocinadores, etc. además de suponer un coste sanitario importante (Berger-Vachon et al., 1986; Dvorak y Junge, 2000; Dvorak et al., 2000; Engebretsen et al., 2008; Forssblad et al., 2005; Hortobagyi et al., 1985). Es clave conocer la repercusión de las lesiones deportivas a todo nivel, sin olvidar la etapa en cuanto se ha recuperado el deportista, pudiéndose reincorporar a la práctica deportiva, sin haber logrado aún los niveles óptimos para competir (Solla, 2010). Las lesiones forman parte de la práctica deportiva, con orígenes multifactoriales debiendo de ser tratadas con enfoque preventivo a nivel de los equipos multidisciplinarios, analizando los factores de riesgo, aplicando protocolos preventivos para reducir el efecto de las lesiones y minimizar el riesgo de sufrirlas. De esa manera el deportista tendrá la opción de recuperarse mejor y volver a la práctica deportiva en todas sus condiciones. Por eso,

conocer los factores de riesgo, analizarlos, y profundizar en su posible aparición, es indispensable para realizar buenos programas y protocolos preventivos de máxima calidad. (Bahr y Kroosshaug, 2005). En resumen, estos programas preventivos, deben mantener la secuencia de los cuatro pasos propuestos por Van Mechelen (1992): (a) conocer la amplitud del problema, (b) identificar los factores y mecanismos lesionales, (c) introducir medidas de prevención y, por último, (d) evaluar su eficacia. Los estudios epidemiológicos, permiten trabajar los dos primeros aspectos (a y b), identificando la incidencia lesional en cada modalidad deportiva. El segundo paso, nos permite actuar desde el punto de vista preventivo. Cualquier intervención profesional orientada a prevenir lesiones deportivas, debe tener en cuenta este modelo multifactorial, con factores extrínsecos e intrínsecos propios de cada modalidad deportiva. Los programas preventivos que han demostrado mejores resultados son aquellos que combinan trabajos de fuerza, amplitud del rango articular y trabajo propioceptivo en sus sesiones de entrenamiento (Dvorak, 2011; Fuller et al., 2011; Solla, 2010).

En la actualidad queda en cuestión el termino prevención de lesiones, siendo varios autores los que proponen substituirlo por reducción de riesgo a sufrir lesiones (Howe et al., 2017).

1.3.3. Programas preventivos y rendimiento deportivo en el motorsport

Esta tesis doctoral se centra en conocer las lesiones en el karting de competición en niños. Esta es una modalidad del motorsport, donde se concentra el deporte base, para otras futuras modalidades del automovilismo, como las carreras con fórmulas, vehículos GT, etc. No existen estudios que acrediten programas preventivos basados en la evidencia para este tipo de deportistas. En este apartado se hace una revisión del estado actual de publicaciones científicas vinculadas a la prevención de lesiones y preparación física en diferentes especialidades del motorsport.

En base a las necesidades de los deportistas se diseñan y aplican distintos planes preventivos, que deben ser viables, motivadores, individualizados, y útiles. Se pueden organizar las sesiones de estos programas en dos formatos: (a) centrándose en los problemas de salud generados en ese deporte, y el segundo más específico, (b) atendiendo a las necesidades de cada deportista (Solla, 2010). Como ya hemos visto, los programas preventivos deben tener combinación de trabajos de fuerza, amplitud del rango articular y trabajo propioceptivo en sus sesiones de entrenamiento (Dvorak, 2011; Fuller et al., 2011; Solla, 2010). Un programa preventivo eficaz debe tener en cuenta la pretemporada, calentamiento, trabajo propioceptivo, entrenamientos de fuerza

muscular, estiramientos, uso de los equipos de protección, programas de rehabilitación, sesiones pedagógicas para el deportista, entre otras (Parkkari et al., 2001).

Existen estudios en modalidades del “motorsport” como en el motociclismo. Konttinen et al. (2007) realizaron un estudio para examinar las respuestas fisiológicas durante el motocross. Concretamente, nueve pilotos finlandeses de motocross realizaron un recorrido de 15 minutos en una pista de motocross y a continuación una prueba de consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{max}$) en el laboratorio. Se observó una reducción del 16% en la fuerza de empuje isométrica máxima. En conclusión, el motocross provoca un gran estrés físico en los corredores. Tanto el metabolismo aeróbico como el anaeróbico son necesarios para las acciones musculares isométricas y dinámicas que se experimentan durante la acción de pilotaje de la moto (Konttinen et al., 2007), y específicamente en automovilismo de competición. Christian et al. (2013) compararon los parámetros de aptitud física en pilotos jóvenes amateurs versus experimentados. En el estudio participaron cinco pilotos de Fórmula Uno, dos de Grand Prix 2 (GP2) y dos de Fórmula 3, y nueve pilotos júniores de las series de Fórmula Master, Koenig, BMW y Renault. Se analizaron los siguientes parámetros de condición física: reacciones múltiples, anticipación múltiple, estabilidad postural, fuerza isométrica de la parte superior del cuerpo, fuerza isométrica de extensión de la pierna, fuerza de agarre isométrica, velocidad del pie cíclico y altura del salto. En este estudio, se encontraron diferencias significativas entre los conductores experimentados y jóvenes amateurs, donde los experimentados tendieron a funcionar mejor en la fuerza de la pierna, la velocidad del pie cíclico y la fuerza de agarre. Ninguna de las otras variables difirió significativamente entre los grupos. Los resultados sugirieron que los conductores experimentados tendían a ser más rápidos y más fuertes (18% a 25%) pero sin significación estadística (Christian et al., 2013).

Eric Watkins, jefe médico de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) y máximo responsable médico de la F1, justificó que los pilotos de fórmulas pueden sufrir daños en los nervios periféricos causados por la vibración y el contacto con los lados del “*cockpit*” (habitáculo). La estrechez de estos habitáculos ha producido disfunciones de los nervios radiales en el surco radial del húmero de algunos pilotos, con el resultado de las muñecas caídas al final de la carrera (llamado síndrome de “*Saturday night palsy*”). La repetida compresión de los nervios poplíteos laterales contra el interior de la cabina provocó parálisis de los extensores en un piloto que tardó meses en recuperarse (Watkins, 2006). Todos estos factores pueden afectar el rendimiento muscular. La influencia del clima en las habilidades psicomotrices y el rendimiento físico son también de gran importancia (Watkins, 2006).

Existen estudios comparativos de las características de rendimiento neuromuscular de pilotos de fórmulas y pilotos de rallyes, como el realizado por Backman et al. (2005). Este estudio transversal con 18 pilotos profesionales, constató diferencias en el rendimiento neuromuscular y propone que los pilotos de rallyes deben realizar planes de entrenamiento específicos de músculos de la mano, tobillo y tronco. Para los pilotos de fórmulas, los autores aconsejan que entrenen la musculatura cervical de forma más analítica y específica, realizando planes de entreno más suaves en extremidades superiores e inferiores. Los grupos de pilotos tenían los mismos resultados en relación a la fuerza de agarre (Backman et al., 2005). En esta línea de conocimiento en base a las capacidades físicas de los pilotos para la mejora de la forma física y el rendimiento, Baur et al. (2006) compararon el tiempo de reacción, la capacidad de rendimiento deportivo y la capacidad de rendimiento en la fuerza de ocho pilotos profesionales en activo con edades similares y también similares medidas antropométricas con diez personas en el grupo control. La muestra realizó una prueba de reacción y determinación que solicitaba respuestas de extremidades superiores e inferiores a señales visuales y de audio. Los autores hallaron que el tiempo de reacción de los pilotos fue más rápido que los individuos del grupo control, con significancia estadística. No se hallaron diferencias significativas en el resto de tests que se realizaron. Los autores sugirieron que se deben desarrollar protocolos específicos para el “motorsport” para mejorar los requisitos de potencia, rendimiento sensorial y motor (Baur et al, 2006).

Ebben et al. (2011) realizaron un estudio mediante el uso de un test validado por instituciones oficiales con doce pilotos para conocer las demandas físicas y los acondicionamientos de estos pilotos profesionales de vehículos carrozados de competiciones en los Estados Unidos. Los resultados aportaron que la mayoría de los pilotos aprecian la importancia de salud para el éxito en su deporte, incluyendo en sus respuestas al test, aspectos en relación a las exigencias para la fuerza, la resistencia, la estabilización, la aclimatación de calor y el tiempo de reacción. La comprensión a estas demandas y las prácticas de acondicionamiento de los pilotos, pueden ayudar a diseñar programas específicos para estos pilotos según los autores (Ebben et al., 2011).

Recientemente, Hoyes y Collins (2018) demostraron la falta de evidencia en relación a los programas de preparación física y prevención de lesiones de los pilotos de competición de fórmulas y coches. Realizaron una encuesta a 161 pilotos y sus preparadores en relación a sus programas de preparación. Este estudio constató que en general el trabajo cardiovascular, la fuerza de la parte superior del cuerpo y la coordinación con la velocidad de reacción a nivel propioceptivo eran trabajos comunes en los programas de preparación física. En relación a las fuentes de difusión, se

confirmó que se basan en el “boca-oreja”, con altos niveles de confianza expresados por los pilotos y preparadores, pero sin referentes que aporten información contrastada y validada para tales programas de preparación (Hoyes & Collins, 2018).

En trabajos donde se realizan contracciones manuales reiteradas y con intensidades altas, suele aparecer fatiga muscular localizada y pérdidas de productividad (Silverstein et al., 1986). Sin estudios publicados en karting de competición ni en otras modalidades del motorsport, es posible que el agarre al volante mediante los flexores de dedos, nos puede dar idea de la elevada carga muscular a la que estará sometida la musculatura del antebrazo, sumada al “*chattering*” (temblores y vibraciones del volante según el relieve de la pista, trazadas por encima de los laterales del circuito, conocidos como pianos al disponer de dos colores con relieve entre los mismos), a los derrapes, deslizamientos del kart en las trazadas en el circuito, y a la suma de vueltas al mismo en entrenos libres, entrenos cronometrados o *qualifying session* y las dos mangas o *rounds* que forman las carreras habituales. En relación a todos estos aspectos, no hay estudios ni publicaciones que aporten datos.

El único estudio específico en karting de competición, encontrado en esa línea de investigación es el de Durand et al. (2015), concretamente realizado en las 24h de karting de *Le Mans* con el objetivo de evaluar el gasto de energía metabólico y la respuesta de la frecuencia cardíaca (FC) en ocho pilotos adultos con una media de edad de 22 años, que pilotaron karts de 390cm³ de competición, y que realizaron relevos de 45 minutos, con un total de cuatro relevos por piloto. Se demostró que pilotar un kart durante 45 minutos a una velocidad media de 62km/h, induce un gasto metabólico de 300kcal, correspondiente a unos 5,6 *Metabolic Equivalent to Task* (METs), llegando a un 82% de la frecuencia cardíaca máxima. Los autores concluyeron que estos resultados se justifican por el estrés emocional y las limitaciones medioambientales, como la configuración del circuito y las vibraciones mecánicas (Durand et al., 2015).

En los últimos años, el aumento de potencia y prestaciones de los karts, nos llevan a ver que muchos pilotos padecen patologías neuromusculares asociadas a la fatiga muscular. Algunos pilotos, llegan a necesitar intervenciones quirúrgicas al sufrir síndrome compartimental de la musculatura de los antebrazos. Esta patología se manifiesta sin opción a ser tratada en estadios iniciales, por permitir al piloto continuar compitiendo con dolor y fatiga muscular. Recurriendo a la técnica quirúrgica que es la más utilizada para resolver esta patología, aunque no es la más eficaz para erradicar su sintomatología, ni la reducción de rendimiento muscular asociado (Goubier y Saillant, 2003).

1.4. Historia y orígenes del karting

El primer kart comercial fue construido en agosto de 1956 por Arte Ingels en California con un motor de una cortacésped de la West Bend Company (1911-2003), una compañía establecida en West Bend en Wisconsin. Rápidamente se expandió en todos los Estados Unidos, realizándose las primeras competiciones. En solo tres años se contaba en los Estados Unidos, con más de 300 marcas diferentes que fabricaban este pequeño vehículo lúdico. También, de manera fulgurante, el karting se convirtió en una nueva disciplina deportiva del automovilismo, en la que comenzaban a participar miles de incondicionales (FIA Katering Competition, 2019).

En los años 60 este deporte se introdujo en Europa a través de Francia e Inglaterra, y se crearon numerosas federaciones nacionales por todo el mundo. Para aglutinar este proceso federativo, la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) decidía crear en 1962 la Comisión Internacional de Karting (CIK). Mientras que los 70 fueron primordiales para el nacimiento del karting en España, de la mano de Jorge Fuentes y de otros jóvenes apasionados, en el resto del mundo el karting se revelaba como una auténtica escuela base, para el deporte del automovilismo (FIA Katering Competition, 2019).

En 50 años, el karting ha obtenido el respeto y el reconocimiento como un deporte completo y se considera el deporte base para futuros pilotos de automovilismo. Pilotos como Michael Schumacher, Mika Häkkinen, Kimi Räikkönen, Fernando Alonso y otros muchos de la Fórmula Uno (F1), colaboraron en sus inicios deportivos para que el deporte del karting fuera uno de los más difundidos en todo el mundo, y, sobre todo, la base de iniciación más importante del deporte automovilístico o “motorsport” (Sanches, 2007).

1.4.1. Karting de competición versus Go Kart

El karting de competición es una modalidad del deporte de motor con cuatro ruedas, donde los niños compiten desde edades muy tempranas. Sirva como ejemplo que en la categoría de benjamines, se tiene como edad de inicio los siete años cumplidos (CIK-FIA). Los karts están equipados con motores de dos o cuatro tiempos de combustión, con el centro de gravedad muy bajo, de alta estabilidad a pesar de no disponer de suspensiones activas. Tienen de base un chasis con estructura tubular flexatoria y, permiten una amplia posibilidad de ajustes técnicos para la mejora de su rendimiento en pista (Sanches, 2007).

El karting de competición ha sido el deporte base y de formación de actuales pilotos españoles de la F1 como: Fernando Alonso, Pedro Martínez de la Rosa, Marc Gené, o

Jaume Alguersuari, y también de sus predecesores Luís Pérez Sala, Adrián Campos, o Emilio de Villota. El paso por esta modalidad y su inicio a tempranas edades, también ha sido clave en las trayectorias deportivas del resto de pilotos de la F1 de otros países (Figura 4).



Figura 4. Fernando Alonso con cinco años de edad (Izquierda, en sus inicios en karting; derecha, Lewis Hamilton con siete años, en los campeonatos de Inglaterra de karting).

La trayectorias deportivas de los pilotos, en especial la popularmente llamada “Alonsomania” y la repercusión mediática de los deportes de motor, junto con los altos índices de audiencia televisiva de la F1 y de las fórmulas de promoción para llegar a la F1 (GP2, World Series by Nissan,ect.), han llevado al karting a consolidarse como deporte base del “motorsport”, dando inicio a futuros pilotos de categorías superiores, iniciándose en los campeonatos autonómicos y estatales de karting (Informe RFEA).

En España se inició la construcción de circuitos de karting en los años setenta con dos líneas básicas de uso: karts de alquiler, para el ocio-lúdico (concepto conocido internacionalmente como “Go-Kart”) y posteriormente, para la competición. La diferencia más importante es que para competir en karting, los pilotos deben estar federados y cumplir con unos reglamentos específicos.

La Real Federación Española de Automovilismo (RFEA) y la “Federació catalana d’Automobilisme” (FCA) son las instituciones deportivas que dependen de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA). Concretamente será la Comisión Internacional de Karting (CIK) la que establece y aplica los reglamentos deportivos, concediendo las licencias federativas obligatorias para acceder a cualquier tipo de competición en karting y también en las otras modalidades de motor con cuatro ruedas. En España, hay una consolidada tradición de participación de pilotos en los circuitos de toda la península y se celebran carreras del campeonato del mundo de karting. En el caso concreto de Cataluña, existen un total de veinte circuitos de karting, ocho de ellos homologados para realizar competiciones del “Campionat de Catalunya de Karting”. Hoy por hoy, éste es el campeonato con mayor número de participantes de toda España, y el hecho de ganarlo otorga un alto prestigio deportivo, sea cual sea la categoría en la que se compite.

Las diferencias del karting de competición respecto el “Go-Kart” son muchas e importantes de cara a la comparación de lesionabilidad, así como la distribución corporal de lesiones. En el karting de competición los reglamentos obligan a los pilotos a utilizar elementos de seguridad como el collarín cervical, el protector torácico, la ropa ignífuga, los parachoques anteriores, posteriores y laterales antivuelco en los kart (CIK-FIA, Comissió Karting FCA) (Figura 5).

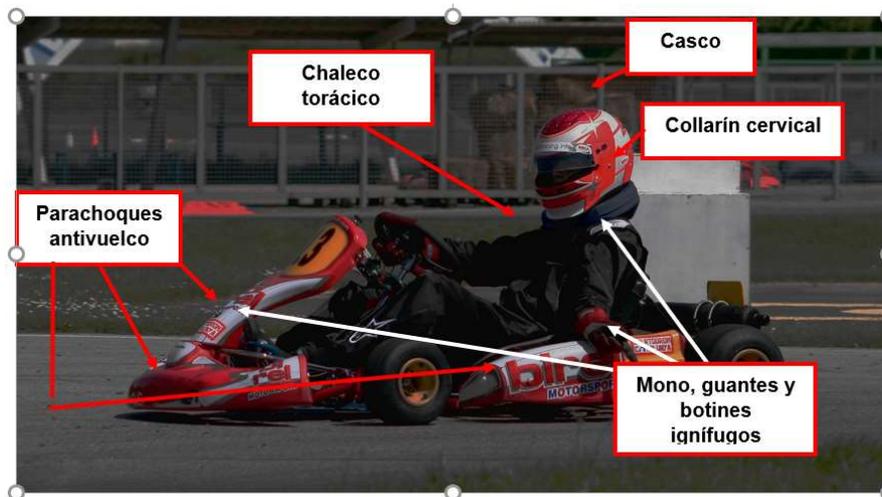


Figura 5. Equipos de seguridad pasiva de los pilotos en el karting de competición con homologación FIA.

Estos elementos que deben estar homologados por la FIA y técnicamente verificados por los comisarios de carrera son siempre de talla específica para el piloto y su

categoría. Además, el asiento y los pedales que ergonómicamente se ajustan y adaptan según la altura y posición de conducción del niño o adolescente que pilota el kart (CIK-FIA).

La normativa de seguridad en el *Campionat de Catalunya de Karting*, basada en la normativa internacional CIK, especifica que es obligatoria la presencia de un médico y dos ambulancias en cada circuito, que deben permanecer en el circuito durante los entrenamientos y la carrera. Además, los hospitales de referencia cercanos al circuito están alertados (o informados) de los días y horas de las competiciones, bajo un estricto protocolo de actuación. En pista, los pilotos son avisados con banderas de señalización que deben respetar para facilitar las actuaciones de los comisarios y equipos sanitarios, mientras evacúan a un piloto lesionado (Comissió Karting FCA).

El conjunto de elementos de seguridad pasiva tiene como objetivo atenuar, minimizar y anular las posibles lesiones fruto de los factores extrínsecos propios del karting de competición. Será la FIA quien se ocupe de la regulación y gestión de homologaciones (dimensiones, resistencias, materiales, diseños, etc.) que se coordina con los fabricantes de estos accesorios de seguridad pasiva para la competición (CIK-FIA, Institute For Motor Sport Safety). Estos reglamentos serán los referentes para aplicar en los campeonatos organizados por la RFEA y la FCA (Comissió Karting FCA).

Los controles de dopaje son frecuentes y objetivamente reglamentados, practicándose de forma aleatoria por dorsales y categorías. Además, habitualmente se realizan a los ocupantes de las tres plazas del pódium, al final de cada carrera (CIK-FIA, Anti-Doping Guide for Drivers, Guide to Doping Control).

En contra de las medidas de seguridad anteriormente expuestas, en el *Go-kart* sólo es obligatorio el uso del casco que, generalmente no es integral, y por las características de los alquileres, la medida del casco puede no coincidir con la talla del cliente. Muchos circuitos de alquiler de Karts han equipado sus vehículos con sistemas de limitación a distancia de las potencias de los karts para evitar accidentes por conductas temerarias indebidas. Para su práctica, no se requiere estar en posesión de ninguna licencia, ni superar ningún tipo de formación previa. Tampoco se utilizan sistemas de señalización o de aviso como las banderas y señales luminosas de propias del karting de competición, ni se aplican reglamentos, pues el objetivo prioritario es el ocio-lúdico. Cabe destacar que no se hacen controles de consumo de sustancias que pueden alterar el control de las reacciones en la conducción del kart.

Entendemos pues, por el *Go-kart* la modalidad popular lúdica que permite la conducción de un kart en un circuito, donde se puede rodar haciendo uso del casco prestado en las

mismas instalaciones y limitándose el tiempo en pista según cada instalación del circuito.

1.4.2. Categorías del karting de competición

Los reglamentos del karting de competición de la FIA, clasifican a los distintos participantes en las siguientes categorías internacionales, según sus edades (Comissió Karting FCA) (Tabla 1).

Tabla 1. *Categorías internacionales de Karting según las edades*

CATEGORIA	EDAD
Benjamín	7 - 8 años
Alevín	8- 11 años
Cadete	11- 13 años
Karts formula junior (KF3)	13- 15 años
Sénior (Inter A)	>15 años. Categoría Internacional
Intercontinental C (ICC) (Fórmula Libre)	>15 años. Categoría Autonómica

Siempre que el piloto cumpla los años límite para el cambio de categoría superior, durante el campeonato iniciado, se mantiene en la categoría inferior. Por lo tanto, no cambiará de categoría hasta el próximo año. Esto se aplica por reglamento en todas las categorías (Comissió Karting FCA).

1.5. Lesionabilidad y Go Karting

1.5.1. Revisión de la evidencia científica

Existen estudios epidemiológicos y de casos de las lesiones que se derivan del *Go-kart* pero, sin embargo, no los hay del karting de competición (Tabla 2). Eker et al. (2010) publicaron un estudio de los mecanismos lesionales y las lesiones que sufrieron 600 practicantes de karting que alquilaron karts en todos los circuitos de Holanda y que fueron atendidos en los hospitales del país en un sólo año (Eker et al., 2010). Los autores presentaron una clasificación de tres mecanismos lesionales. Primero, lesiones de extremidades y tronco por impacto directo en los laterales del Kart, siendo las lesiones más típicas los cortes, las abrasiones y las fracturas. El segundo, fueron los impactos de alta energía por choque frontal, donde aparecen las lesiones de la cavidad abdominal, la caja torácica, las fracturas por compresión y las fracturas de extremidades inferiores. Y tercero, las lesiones por aceleración y desaceleración, que producen

latigazos cervicales. De los practicantes del *Go-kart* atendidos en los hospitales holandeses, los autores generaron una clasificación de lesiones en base a las lesiones de cabeza y cervicales, de raquis y tórax, y de extremidades inferiores y extremidades superiores. Las zonas corporales que sufrieron un mayor número de lesiones fueron raquis y tórax (39%), extremidades inferiores (26%), extremidades superiores (22%) y, por último, cabeza y cuello (12%). Respecto la edad de los lesionados, el estudio sólo detalla que el 50% de los lesionados tenían menos de 24 años.

Ng y Chung (2005) realizaron un estudio de casos, que se centró en los 42 lesionados practicantes del *Go-kart* con una media de edad de 26 años (10 de ellos con edades inferiores a los 20 años) que fueron atendidos por los servicios de emergencias y hospitales de Hong Kong en el año 2002 (Ng y Chung, 2005). El estudio reportó que el 64,3% de los atendidos presentó una única lesión, siendo un 40,5% los que se lesionaron por colisionar con otro kart. Cabe destacar que los autores no hallaron ninguna relación entre las variables edad, sexo o experiencia de pilotaje y el riesgo de lesión, y no influyó el hecho de recibir una sesión informativa previa a la entrada en pista. Además, el 64,2% presentaron lesiones tales como abrasiones, laceraciones, contusiones y esguinces, el 31% fueron diagnosticados con fracturas y luxaciones, mientras que el 4,8% sufrieron lesiones en órganos internos.

Whitfield (1998) publicó en la *Consumer Product Safety Commision* de Washington, un estudio de casos que recoge las lesiones derivadas del *Go-kart* y el *Fun Kart* (Vehículos "Off-road", para pistas de tierra tipo "Buggies", con suspensiones y más potencia que los *Go-kart*), en los Estados Unidos, dentro del periodo que va del 1985 al 1996. De un total de 125.900 lesionados, el 65% eran menores de 15 años. Este estudio, registró un total de 231 muertes, de los cuales el 67% eran menores de 15 años. Sin embargo, este estudio no tuvo en consideración la diferencia entre los accidentados en karts de los *Fun karts*.

Adler, de la *Hazard Analysis Division*, dentro de la misma *Consumer Product Safety Commision* de Washington, realizó un estudio de los factores de riesgo y lesiones derivadas del *Go-kart* y del *Fun Kart*, específicamente de los 12.600 niños menores de 15 años, atendidos en los distintos hospitales de los Estados Unidos en 1999. El 39% de las lesiones fueron en extremidades superiores y tórax alto, el 31% de cabeza y cuello, un 28% fueron lesiones de extremidades inferiores, cavidad abdominal y región lumbar, quedando un 2% de practicantes con lesiones en varias zonas del cuerpo o no diagnosticadas. Este estudio también analizó las causas de las 113 muertes registradas entre los años 1990 y 1999, donde 77 de los niños fallecidos tenían entre 8 y 14 años,

36 tenían edades inferiores a los 8 años. El 87% de los niños fallecidos eran varones. Un total de 44 de las muertes, fueron por lesiones en la región cervical y cabeza siendo los impactos con objetos estáticos u otros vehículos en movimiento los mecanismos lesionales que causaron más muertes. El 3,1% de las muertes fueron en pistas de carreras, frente al 42,9% que se produjeron en patios y jardines. Este estudio, tampoco diferenció entre los accidentados en karts o *Fun Karts* (Adler, 2000). Existen varias publicaciones de lesiones practicando el *Go-kart* como los dos casos de fracturas de páncreas en dos mujeres de 18 y 20 años de edad. Se detalla en la publicación, que el impacto con el volante fue el elemento del kart que provocó las fracturas. Las lesiones traumáticas de páncreas, son muy excepcionales, con un 0'4 casos por cada 100.000 individuos (Govaert et al.,2001). Más recientemente, Linnaus et al. (2016), publicaron un estudio en base a una revisión retrospectiva de accidentes en traumatología pediátrica, con niños que usaban motos de cross, quads, todo terrenos, *karts*, carritos de golf y *buggies*. Este estudio se realizó con datos del enero del 2007 hasta el julio del 2015. De 528 pacientes que resultaron heridos, 34 los fueron utilizando karts. El 48% (n=253) de los pacientes requirió cirugía, realizándose 654 procedimientos quirúrgicos y solo el 22% (n=26) usó cinturones de seguridad en el momento del accidente. Este estudio promueve el estudio del uso de elementos y accesorios de protección para los niños en el momento de utilizar este tipo de vehículos. En el estudio no se diferencian, en relación a los 34 casos de accidentados con karts, si sucedieron en competiciones o en Go karting (Linnaus et al., 2016).

Otro estudio analizó las lesiones derivadas mientras practicaban *Go kart* en Hong Kong, de tres casos que se dieron del mayo de 2001 al febrero del 2004, con afectaciones intraabdominales, dos de ellas afectaron el peritoneo y una con ruptura del duodeno. Todas las lesiones fueron provocadas por el impacto del volante en la cavidad abdominal (Li & Leong, 2006).

Se publicó un estudio de tres casos con lesiones en el hombro cuando practicaban *Go karting indoor* en Inglaterra. Dos de los casos sufrieron una fractura de clavícula al impactar los *karts* que pilotaban con otros *karts* en pista y el tercero sufrió una fractura del cuello del húmero desplazada después de volcar el *kart*. Estos autores aconsejaron realizar estudios para equipar los *karts* con cinturones de seguridad y barras antivuelco (Freeman et al.,1994).

En 1974 se publicó a propósito de un caso, de un piloto que sufrió lesiones en la uretra, sin detalle de que objeto del *kart* le impacto para producir esta lesión renal (Hedde & Robb, 1974). En Alemania y concretamente en circuitos de *karting indoors*, se publicó

un artículo de cinco casos de lesiones graves, recogidas en un periodo de dieciséis meses. Las lesiones incluyeron hematomas de la parte inferior de la pierna, una contusión en el estómago con una lesión pancreática, una fractura inestable de la columna vertebral, una fractura de rodilla, otra fractura de la tibia y una quemadura de gran tamaño. El tiempo promedio de hospitalización fue de 32,5 días (17-54 días) y la edad promedio de los pacientes fue de 27,7 años (9-45 años). Estos autores describen el *karting* como una diversión peligrosa (Bley & Gahr, 2002).

Thomas et al. (2009), analizaron en Inglaterra, tres casos de rotura duodenal entre el octubre del 2007 y el febrero del 2008, de tres pilotos que practicaban *Go Kart* y sufrieron en los tres casos, un impacto con el volante compartiendo los tres casos, al llegar a urgencias, síntomas de dolor epigástrico focalizado en el cuadrante derecho abdominal. En los tres casos, se realizó el diagnóstico gracias a la detección en el Tomografía axial computerizada (TAC), de presencia de aire retroperitoneal alrededor del duodeno, requiriendo de laparotomías como técnica quirúrgica en los tres pilotos. Estos autores concluyen que la alta posición del volante y la falta de cinturones de seguridad ponen a los conductores de *Go-karts* en mayor riesgo para sufrir este tipo de lesiones (Thomas et al., 2009). Similar publicación es la de Yilmaz et al. (2012), en relación a dos pilotos que sufrieron diferentes accidentes chocando con otros *karts* y mediante el impacto con el volante del *kart*, se observó una hemorragia intraabdominal severa por laceración hepática en uno de ellos y avulsión intestinal mesentérica en el otro. Ambos pacientes fueron tratados quirúrgicamente y dados de alta sin problemas (Yilmaz et al., 2012).

Borschel (2010) publicó apropiado de un caso de un piloto de *Go-kart* de 10 años, en relación a una grave abrasión que le afectó el dorso de los dedos de la mano. El autor hace detalle de la técnica quirúrgica, usando un colgajo de músculo dorsal ancho para regenerar simultáneamente el dedo dorsal, el medio y el anular. El uso de esta estrategia minimizó la necesidad de una rehabilitación prolongada y el resultado fue la funcionalidad normal de los dedos y mano a los seis meses del accidente (Borschel, 2010).

Varios autores han publicado casos de lesiones graves a nivel del cuello en practicantes del *Go-kart*, con diferentes afectaciones de estructuras de la misma región. Ahmad et al. (2011), publicaron un caso del "Síndrome de Isadora", en el que un piloto sufrió traumatismo cervical, traqueal y esofágico al quedar enrollado su pañuelo del cuello en la rueda del kart, mientras rodaba en pista, siendo clave en este caso, la intervención de los servicios de emergencias y urgencias para salvar la vida del piloto (Ahmad et al., 2011). Con similares lesiones en el año 2013, se publicó otro artículo donde un piloto de

18 años de los Estados Unidos, sufrió también una rotura traqueal al quedarle enrollada la bufanda al motor del *kart*. Después del diagnóstico en urgencias, el paciente fue trasladado a un quirófano donde se le practicó una traqueotomía para asegurar la vía aérea, y a continuación la tráquea se reparó mediante una anastomosis primaria (Seims et al., 2013). Recientemente, Brimiouille et al. (2017), publicaron a propósito de un caso en relación a un piloto de karting que sufrió una estrangulación accidental con lesión por aplastamiento en la parte anterior del cuello del piloto, ocasionando traumatismo en la laringe. Este requirió de intervención quirúrgica reparatoria (Brimiouille et al., 2017).

Kurita et al. (2014) documentaron 20 casos de accidentes vascular cerebrales (AVC) en parques temáticos de tipo lúdico. Publicando el estudio a propósito de 3 casos que, por su diagnóstico y características clínicas al ser en jóvenes individuos, sin factores de riesgo arteriosclerótico y con lesiones graves. De los tres casos descritos, uno fue por rodar en un circuito de karting, sin detallarse el tipo de accidente, pero si el diagnóstico, con una disección aislada de la arteria cerebral media. Sus hallazgos sugieren que las direcciones variables de las fuerzas gravitatorias, por uso de un vehículo, pueden dañar la arteria cerebral media y provocar un AVC (Kurita et al., 2014).

Denes et al. (2013) publicaron a propósito de un caso, en relación a un varón diabético del tipo 2, hospitalizado a las dos semanas del accidente con un *kart*, por persistir el dolor lumbar, y presentando fiebre, escalofríos y rigidez cervical. Se le diagnosticó una retroversión de la primera vértebra lumbar y un absceso en el músculo psoas que se extendía a la duramadre, conllevando una meningitis con presencia de "Fusobacterium nucleatum" como bacteria generadora (Denes et al., 2013).

En relación a lesiones traumáticas oseas, Kamphuis et al. (2015) publicaron recientemente, un estudio de 4 pilotos de *Go-kart*, que sufrieron 6 fracturas de astrágalo fruto de sendos accidentes. Estos autores detallan que las altas velocidades de los *karts*, generan impactos de alta energía a través de los pedales del acelerador y freno del *kart*, llevando al tobillo a una dorsiflexión forzada, provocando estas fracturas Talares, y causando daños severos en las articulaciones tibioastragalina, astrágalo calcánea o subastragalina y también en la articulación astrágaloescafoidea. Este daño puede, a su vez, llevar a complicaciones tales como necrosis avascular, artritis, pseudoartrosis, unión retrasada y neuropraxia, que tienen el potencial de causar discapacidad a largo plazo en un niño. De los 4 pilotos afectados por estas fracturas, dos necesitaron intervenciones quirúrgicas (Kamphuis et al., 2015). También en el ámbito de las lesiones traumáticas, Güven et al. (2011) publicaron a propósito de un caso de avulsión del cuero cabelludo, en una niña de 9 años, que sufrió esta lesión al quedarle enganchada su

melena en la cadena del motor del kart. Una vez ingresada, procedieron a una intervención quirúrgica de 4 horas para reimplantarle el cuero cabelludo avulsionado (Güven et al., 2011).

En el marco de los circuitos de *karting indoor*, varios autores han realizado y publicado estudios analizando los daños al sistema respiratorio, derivados de las altas concentraciones de dióxido de carbono (CO). El primer estudio lo realizaron Lévesque et al., 2005 para verificar el nivel de exposición al monóxido de carbono (CO) en diez corredores hombres (edades entre 15 a 49 años) durante una tanda de 45 minutos. La concentración alveolar de CO para cada participante se midió antes y después de la tanda. El nivel de CO ambiental se determinó continuamente desde el inicio hasta el final de la tanda. El aumento promedio de CO para los diez sujetos fue de 16,2 ppm correspondiente a aproximadamente 3% de Anhidrido Carbonico Hemoglobina (COHb). Con base en estos resultados y en el modelo Coburn, este estudio facilitó a determinar un límite de referencia de 25 ppm para una exposición de 1 hora durante el *karting indoor*. A petición de las autoridades de salud pública, se hicieron algunas modificaciones a los karts, al sistema de vigilancia de monitoreo de CO y al sistema de ventilación del edificio. Las concentraciones de CO se controlaron a partir de entonces (Lévesque et al., 2005).

Kim et al. (2010) midieron los niveles promedio de CO y de seguimiento de CO durante el muestreo en un *karting indoor*. Estos fueron comparables a los estándares para las exposiciones de los trabajadores en situaciones laborales similares. Pero se observaron picos transitorios de impacto desconocido en la salud. Las exposiciones de los conductores se dividieron en tres componentes, que se atribuyen a (1) contaminantes externos que se extrajeron sin filtrar en la instalación, (2) la nube persistente de tandas anteriores y (3) la proximidad a los escapes de otros karts mientras se conduce una tanda. Dependiendo de cuántos *Go-karts* estaban en pista simultáneamente se detectaron valores más altos de CO. Los autores aconsejaron, que para disminuir el componente de la nube de CO se modificara y mejorara, el sistema de ventilación, así como los cronogramas de tandas y el número de karts en pista (Kim et al., 2010). Los estudios de Kim et al. (2010) así como los de Levesque et al. (2005), aportan datos en relación a circuitos *indoor*, destacando el hecho que las competiciones oficiales de karting, no se realizan en circuitos *indoor*. Recientemente, Wolf et al. (2018), realizaron un estudio de la calidad del aire en ocho instalaciones indoor donde se practicaba el Go-Kart, calculando las concentraciones de CO₂, Benceno con niveles máximos de 150mg/m³, evidenciando que las instalaciones indoor donde los karts eran eléctricos o funcionaban con gas líquido, estas concentraciones bajaron a valores de

20mg/m³. Estos autores, constataron, que los propietarios de pistas de karts indoor deben garantizar que la ventilación con respecto a los productos de combustión, adaptando de manera óptima los niveles de contaminantes del aire. (Levesque et al., 2005; Kim et al., 2010; Wolf et al., 2018). Este tipo de instalaciones, están descartadas por la mayoría de reglamentos federativos, no permitiéndose las competiciones, excepto en el caso de algunas federaciones en los países nórdicos.

Es importante resaltar, que ninguno de los artículos revisados, no diferencia si las lesiones se produjeron en la práctica del *karting* de competición o en *Go-Karts*, de ello la importancia de realizar estudios de lesiones en *karting* de competición para poder constatar en qué zonas del cuerpo se concentran las lesiones, el tipo de las mismas y su gravedad.

En el proceso de elaboración de esta tesis doctoral, se produjo la muerte de un piloto de 10 años en unos entrenos del campeonato de Asturias, después de impactar con otro kart, quedando el piloto debajo del kart volcado, sufriendo una parada cardiorrespiratoria.

Tabla 2. Resumen de la revisión de la literatura.

Autor	Año	Estudio	Edad	Pais	Lesiones	Tipo de lesión
Adler et al.	2000	Retrospective review	<15 años	EEUU	7.700	39% extremidades superiores y torax alto 31% cabeza y cuello 28% extremidades inferiores, cavidad abdominal 2% lesiones no diagnosticadas
Ahmad et al.	2011	Case report	21 años (mujer)	UK	1	Traumatismo cervical, de tráquea y esofágico
Bley et al.	2002	Case report		Alemania	5	Hematomas en pierna Contusión estómago Lesión pancreática Fractura en columna, rodilla y tibia Quemaduras
Borschel et al.	2010	Case report	10 años	EEUU	1	Abrasión dorso de los dedos de la mano
Brimioulle et al.	2017	Case report	41 años (hombre)	UK	1	Aplastamiento parte anterior del cuello
Cheng et al.	2005	Retrospective review	Media: 26 años	Hong Kong	42	64,3% única lesión 40,5% lesión por colisión 64,2% Abrasiones, laceraciones, contusiones, esguinces 31% fracturas y luxaciones 4,8% órganos internos
Denes et al.	2013	Case report	60 años (hombre)	France	1	Retroversión de la primera vertebra lumbar
Eker et al.	2010	Retrospective review	17-49	Netherlands	600	39% Raquis y torax 26% Extremidades inferiores 22% Extremidades superiores 12% Cabeza y cuello 50% de las lesiones eran <24 años
Freeman et al.	1994	Case report	42 años (hombre) 34 años (hombre) 44 años (hombre)	Inglaterra	3	2 fractura de clavícula 1 fractura de cuello

Tabla 2 (Continuación)

Govaert et al.	2001	Case report	20 años (mujer) 18 años (mujer)	Netherlands	2	2 fracturas de pancreas
Güven et al.	2011	Case report	9 años (mujer)	Turkish	1	Avulsión del cuero cabelludo
Heddle et al.	1974	Case report			1	Lesiones en uretra
Kamphuis et al.	2015	Case report	9 años (mujer) 14 años (hombre) 11 años (hombre) 12 años (hombre)	Netherlands	4	Fracturas de astragalo
Kim et al.	2010	Case report		EEUU	40	Alteraciones respiratorias por CO
Kurita et al.	2014	Case report	30 años (mujer) 40 años (mujer) 39 años (hombre)	Japan	3	Accidentes vascular cerebrales
Lévesque et al.	2005	Case report	15-49 anys	Francia	10	Promedio 16,2ppm de CO (3% de COHb)
Li et al.	2006	Case report	19 años (hombre) 25 años (hombre) 40 años (mujer)	Hong Kong	3	Todas lesiones intrabdominales
Linnaus et al.	2016	Retrospective review	<18 años	EEUU	528	253 (48%) requirien cirugía 204 (39%) lesiones traumáticas 116 (22%) lesiones neurológicas centrales
Thomas et al.	2009	Case report	29 años (mujer) 29 años (mujer) 29 años (hombre)	Inglaterra	3	Rotura duodenal
Whitfield et al.	1998	Observational		EEUU	125.900	65% <15 años 231 muertes < 15 años
Yilmaz et al.	2012	Case report	16 años (hombre) 32 años (hombre)	Turkey	2	Hemorragia intrabdominal severa Avulsión intestinal mesentérica
Seims et al.	2013	Case report	18 años (hombre)	EEUU	1	Rotura traqueal

1.5.2. Fatiga muscular

La concentración de lesiones, en dedos, manos y muñecas, en base a los resultados del estudio epidemiológico presentado en esta tesis, nos llevó a plantearnos la importancia de la fatiga muscular. El pilotaje de los karts de competición requiere de la actividad muscular de las extremidades superiores con alta tensión muscular. Existe evidencia muy limitada en este ámbito de conocimiento y se requieren estudios para profundizar en el conocimiento de la actividad muscular de los antebrazos con un protocolo específico.

Son muchos los equipos que ven que sus pilotos deben dejar de competir por lesiones neuromusculares de los antebrazos. También los hay que continúan compitiendo, bajando su rendimiento deportivo al pilotar con dolor y molestias.

El estudio neuromuscular mediante Electromiografía de Superficie (EMGS), nos permite conocer la actividad muscular específica y la posible aparición de fatiga muscular. Se entiende fatiga muscular como la reducción de la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza en contracciones voluntarias, pueda o no continuarse la actividad solicitada (Søgaard et al., 2006). La pérdida progresiva de la habilidad de generar la fuerza máxima cuando realizamos contracciones musculares repetidas o mantenidas, o perdiendo la generación de fuerza durante una acción, también se puede entender como fatiga muscular (Davis y Walsh, 2010). Las dos definiciones, coinciden en el mismo proceso fisiológico, entendiendo fatiga como una disminución de la fuerza. Esta disminución no es repentina, si no que aparecerá de forma progresiva desde la primera contracción, generando errores, agotamiento y llegando a provocar que se pare la tarea o actividad llevada a cabo. Gandevia, define la fatiga muscular como cualquier reducción inducida por el ejercicio de la capacidad máxima para generar fuerza o potencia, con independencia de si la tarea se pudo mantener o no (Gandevia, 2001).

Los estudios con humanos no permiten aun detallar cómo se origina la fatiga muscular. En la actualidad, no existen estudios que recojan todos los factores y posibles orígenes de la fatiga muscular. No podemos pensar en un único mecanismo pues es multifactorial y de mucha complejidad (McKenna y Hargreaves, 2008).

Distintos autores sugieren causas metabólicas como las acumulaciones de fosfato inorgánico, adenosín monofosfato, adenosín difosfato, inosín monofosfato, amoníaco, y/o un aumento de acidosis, sin dejar de lado los mecanismos del sistema nervioso central. (Green, 1997; Allen et al., 1995; Gardiner, 2011). Por todos estos factores, los estudios persiguen el objetivo de comprobar si los mecanismos responsables de la fatiga

se encuentran en el músculo o en el sistema nervioso que activa ese mismo músculo estudiado teniendo en cuenta que la contracción voluntaria i la fuerza se originan en el sistema nervioso central (SNC). Toda alteración, lesión o deterioro en la vía motora, puede acabar generando pérdida de fuerza y fatiga muscular. Así se define el “*task dependency*” o principio de la dependencia de tarea, donde no existe una única causa que justifique la fatiga muscular y el factor que más predomine irá vinculado aquellos procesos que se vean alterados por el ejercicio en cuestión. Si los mecanismos responsables de la fatiga se sitúan en el músculo, hablaremos de fatiga de origen periférico y si estos se sitúan en el sistema nervioso que activa el músculo, hablaremos de fatiga de origen central (Enoka y Stuart, 1992; Enoka, 1995).

1.5.3. Fatiga periférica

La fatiga periférica hace referencia a los procesos provocados por el ejercicio que se producen en la unión neuromuscular y que generan una pérdida o reducción de la fuerza muscular. En este tipo de fatiga, se encuentra la conducción del potencial de acción por el axón del nervio motor periférico y de sus terminales, la transmisión neuromuscular con la propagación de los impulsos a las fibras musculares y el acoplamiento excitación-contracción del proceso contráctil (Taylor y Gandevia, 2008).

Son varios los factores que afectarán a estos mecanismos: la intensidad de la carga, el volumen del tejido muscular durante la contracción muscular, así como el tipo de ejercicio y la duración de este, influirán en la contracción muscular y su posible fatiga. Estos serán factores propios que influirán en el medio interno.

En condiciones anaeróbicas, se descompone la glucosa y se genera ácido láctico. Este ácido láctico, se podría procesar en condiciones aeróbicas, generando ATP, CO₂ y H₂O. A más carga de trabajo, más difícil será este proceso, dándose un aumento de la concentración de lactato en los fluidos extracelulares y en torrente sanguíneo. Un incremento de ácido láctico supone un incremento de la concentración de iones de hidrógeno (H⁺) y una disminución del PH (Ament y Verkerke,2009). El lactato es producido por el glucolisis anaeróbico y las concentraciones en sangre se incrementarán en ejercicios progresivos. También aumentará la acumulación de calor en el medio interno, produciéndose un aumento de la sudoración con el consiguiente riesgo de sufrir una deshidratación. Durante las contracciones musculares se detectan incrementos de producción de adenosín difosfato (ADP) y de fosfato inorgánico (Pi). En contracciones de alta intensidad se acumulará Pi y se aumenta la producción de iones de hidrogeno bajando el PH celular. La liberación de Pi limitará la velocidad y reducirá la fuerza de

contracción isométrica por inhibición de las interacciones de los puentes cruzados. El incremento de H^+ también reduce la fuerza de contracción isométrica. El incremento de ADP incrementará la tensión isométrica. En el acoplamiento excitación-contracción donde se liberan iones de calcio y se produce la fuerza, será clave para la fatiga en la fibra muscular, pues produce una reducción o desaparición de la fuerza si su eficiencia se ve disminuida o afectada. Un incremento de potasio (K^+) puede provocar un bloqueo del potencial de acción y un descenso del acoplamiento excitación-contracción. Un aumento de la concentración de magnesio (Mg^{2+}) puede reducir el flujo de Ca^{2+} durante la activación muscular y disminuir la fuerza muscular (Bergström y Hultman, 1991; Taylor y Gandevia, 2008; MacIntosh et al., 2006; Ament y Verkerke, 2009) (Figura 6).

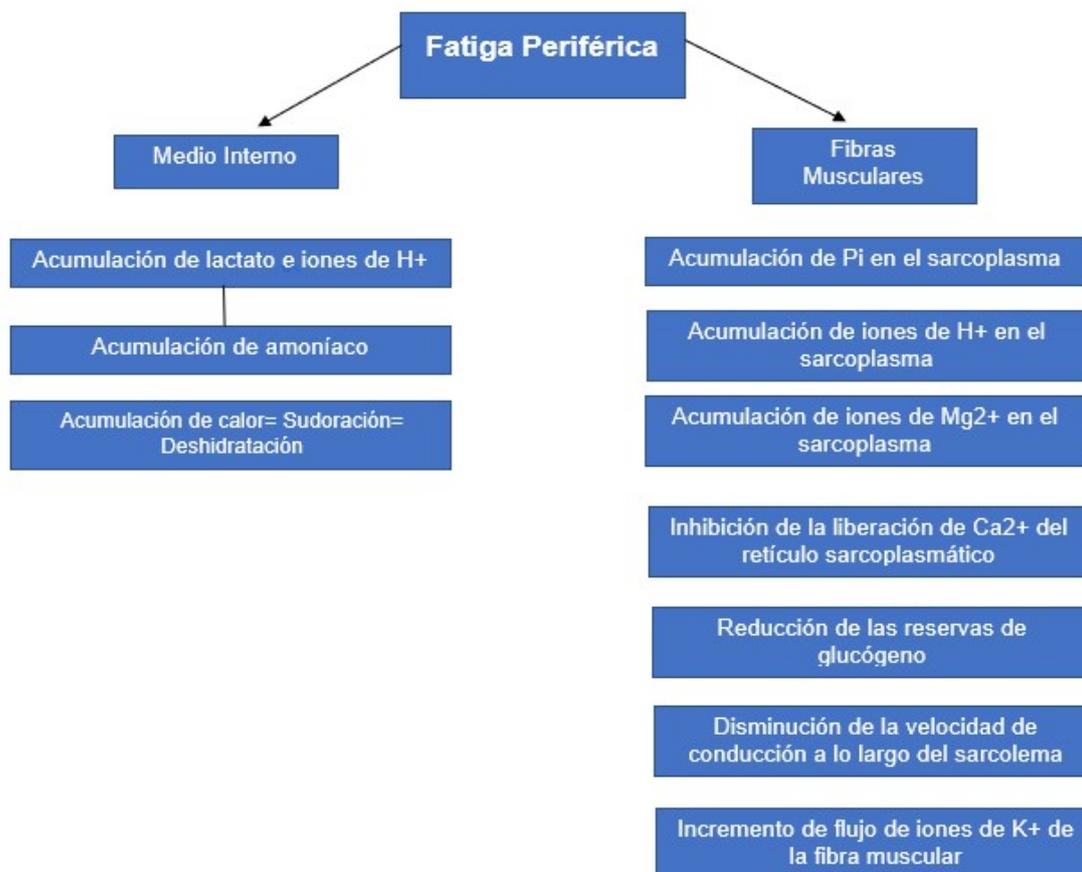


Figura 6. Relación de posibles factores fisiológicos de la fatiga periférica. (Fuente adaptada de Ament, 2009).

Existen factores de origen central, que pueden provocar fallos a nivel periférico como el fallo en la transmisión neuromuscular que puede llevar a una pérdida de fuerza. Los mecanismos que pueden verse involucrados en este tipo de fallo, son una depleción de

los neurotransmisores, un fallo de la membrana postsináptica y un fallo en la propagación del potencial de acción en las ramificaciones axonales (Enoka, 2008).

1.6. Electromiografía

La electromiografía (EMG) es la técnica que registra la actividad de las motoneuronas de forma directa, así como el potencial eléctrico generado por la despolarización de la membrana exterior de la fibra muscular (sarcolema) (Gandevia, 2001; Farina et al., 2004). En base al tipo de electrodo, actualmente existen dos tipos de registros electromiográficos: el de superficie y el intramuscular. El primero tiene la ventaja de que su fácil aplicación no invasiva, nos permite registrar los potenciales de acción de los músculos subyacentes al electrodo adherido en la piel del usuario. Este sistema es el más utilizado en estudios del deporte. Aún así, tiene como inconvenientes que solo nos permite el estudio de músculos superficiales y lo suficientemente grandes para albergar la totalidad de la superficie del electrodo. También es un inconveniente, que con esta técnica es muy difícil de aislar la actividad de un único músculo a estudiar. (Farina et al., 2004). Por proximidad, los músculos próximos al estudiado (diana), pueden dar señal de sus potenciales eléctricos y dar lugar al fenómeno conocido como “*cross-talk*”, que complicará la lectura EMG y los registros, especialmente en músculos de pequeño tamaño. La electromiografía de superficie (EMGS) es crecientemente usada para el registro de músculos superficiales en protocolos clínicos o de fisioterapia, mientras que los electrodos intramusculares son utilizados para investigar músculos profundos o actividad muscular localizada (Kamen y Gabriel, 2010; De Luca y Merletti, 1988).

El segundo tipo de registro es el EMG intramuscular. Este es el mejor cuando hay que analizar músculos muy pequeños y profundos, pero es invasivo, doloroso y requiere de un dominio con mucha experiencia en la ejecución de la técnica con un gran conocimiento de la anatomía musculo-esquelética (Kamen y Gabriel, 2010). Cabe añadir que el uso de las agujas puede suponer un problema para usuarios con belonefobia.

En los EMG, se analiza la amplitud y la frecuencia de contenido de la señal electromiográfica. Serán parámetros claves el valor medio rectificado (VMR), la raíz media cuadrática (RMS; *Root Mean Square*) y la frecuencia media (MF; *Mean Frequency o Median Frequency*).

La amplitud de las señales en EMG, refleja el número de potenciales de acción en el músculo diana y el tamaño de estos en un tiempo específico (Vøllestad, 1997). Este parámetro estará influenciado por el número de unidades motoras activas, por el tamaño

de las mismas, la frecuencia de descarga y la sincronización en su reclutamiento. También por la velocidad de propagación de los potenciales de acción intracelulares. La actividad electrofisiológica de las múltiples unidades motoras es la señal que normalmente se evalúa durante un EMG. La composición de la unidad motora, el número de fibras musculares por unidad motora, el tipo metabólico de las fibras musculares y muchos otros factores afectan la forma de los potenciales de unidad motora en el miograma (Moritani et al., 1986; Bigland-Ritchie et al., 1983; Dimitrova y Dimitrov, 2003). La amplitud EMG aumenta con la fatiga en contracciones submáximas y disminuye en contracciones máximas (Christensen y Fuglsangfrederiksen, 1988; Masuda et al., 1999; Bigland-Richie et al., 1983; Stephens y Taylor, 1972). En las contracciones isométricas máximas la amplitud electromiográfica disminuye progresivamente y ello se debe a una disminución gradual de la tasa de excitación de las unidades motoras, así como un posible fallo en la propagación neuromuscular o una velocidad de conducción más lenta. (Bigland-Ritchie et al., 1983; Kamen y Gabriel, 2010). En el inicio de las contracciones submáximas solo se reclutan fracciones de las fibras musculares y en esas fracciones irá aumentando la amplitud a medida que continua la contracción, pues para mantener la intensidad es necesario involucrar fibras musculares adicionales. Esto también puede darse por el incremento de la tasa de excitación (Vøllestad, 1997) (Figura 7).

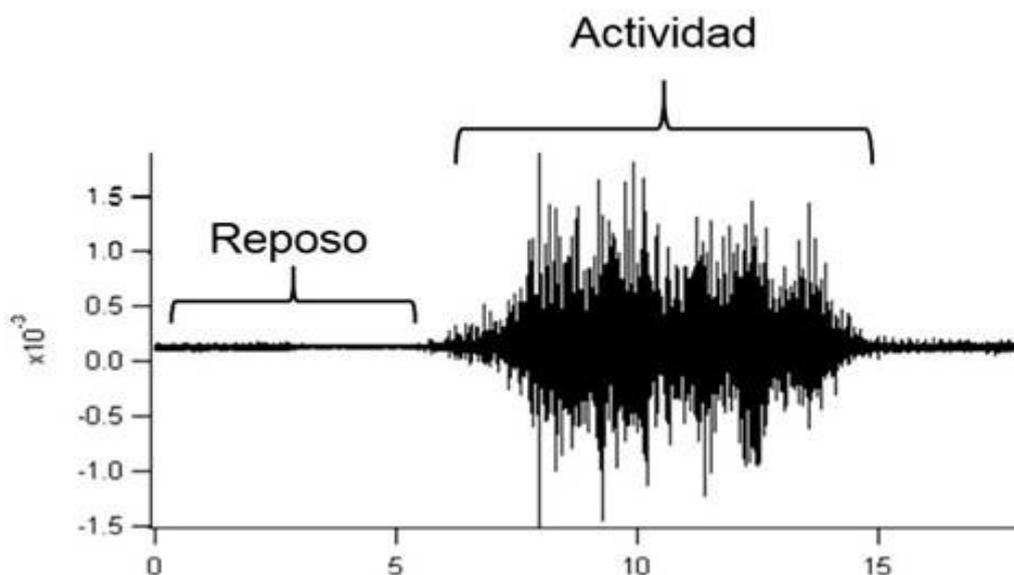


Figura 7. Variaciones de la amplitud de la señal EMG durante una contracción voluntaria isométrica mantenida (Fuente adaptada de Kamen y Gabriel, 2010).

En relación a la frecuencia de una señal EMG, puede verse influenciada por la tasa de descarga de las unidades motoras, la temporalización relativa de los potenciales de acción descargados por las unidades motoras y la forma de los potenciales de acción.

Cuando tenemos una señal estacionaria, se puede usar el análisis espectral para determinar su frecuencia. Existen dos técnicas para medir los cambios en el espectro de las frecuencias: la *Mean Frequency* o la *Median Frequency*. Las dos permiten descripciones de los cambios generados por la fatiga, específicamente, aquellos cambios que ocurren durante las contracciones isométricas, pudiendo ver como disminuye la frecuencia a medida que transcurre el tiempo de la contracción. También se ha demostrado, que la frecuencia irá a valores más bajos tanto en ejercicios prolongados como en contracciones máximas sostenidas (Kamen & Gabriel, 2010; Bigland-Ritchie et al., 1983; Merletti et al., 1990).

1.6.1. Equipo básico de electromiografía

Un equipo básico de electromiografía consta de los siguientes elementos:

Electrodos: Recogen la actividad eléctrica dentro del músculo, así sea por inserción en el mismo o a través de la piel que lo cubre.

- Electrodo superficial. Son pequeños discos de material altamente conductor que se adhieren a la piel. Para reducir la impedancia entre el electrodo y la piel, tienen una pasta conductora especial.
- Electrodo de inserción o profundo, con forma de aguja. Existen varios tipos.
 - Monopolar. Consiste en una aguja corriente que ha sido aislada en toda su longitud, excepto en la punta.
 - Coaxial. Consiste en una aguja en cuyo interior se han insertado conductores metálicos muy delgados, aislados entre sí y con respecto a la aguja. Sólo en la punta los conductores no presentan aislamiento y en ese punto se captura la señal procedente del tejido muscular.

Amplificador: Son necesarios para que las señales eléctricas analógicas provenientes del músculo puedan ser visualizadas en un monitor. La relación de amplificación puede superar los 60dB. El ancho de banda es de 40 a 10kHz. En general, las características electrónicas del amplificador varían según el tipo de estudio a realizar, siendo las principales: Número de canales: 2, 4, 8. Sensibilidad: 1 pV/div. a 10 mV/div. Impedancia de entrada: 100 M Ω // 47 pF. CMRR a 50 Hz > 100 dB. Filtro de paso alto: entre 0,5 Hz y 3 kHz (6 dB/octava). Filtro de paso bajo: entre 0,1 y 15 kHz (12 dB/octava). Ruido: 1 pV eficaz entre 2 Hz y 10 kHz con la entrada cortocircuitada.

Sistema de registro: Se pueden registrar las señales obtenidas del músculo en una pantalla de ordenador en forma visual, y en forma sonora a través de un auricular o altavoz. También se puede realizar un registro en un soporte permanente, como papel. (Cram et al.,1998) (Figura 8).

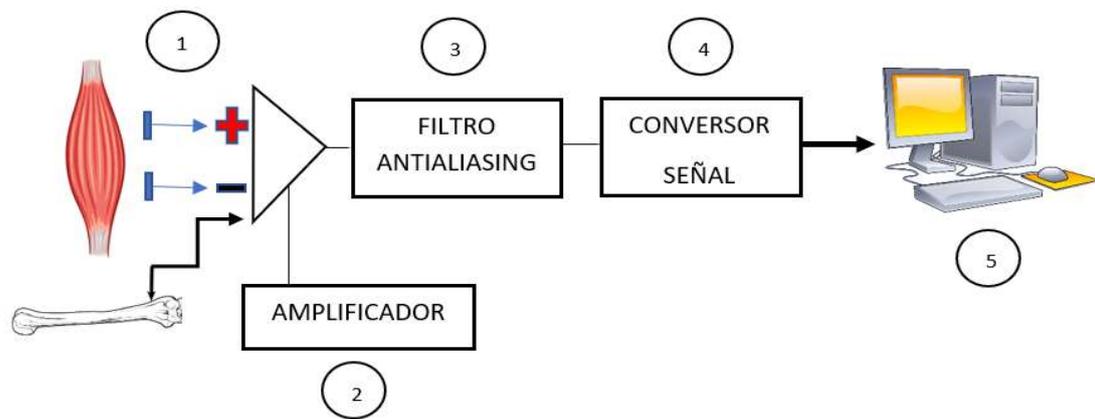


Figura 8. Diagrama de funcionamiento de adquisición de un EMGS

(1) la detección de potenciales mioeléctricos con electrodos de superficie y un electrodo de referencia en el epicóndilo lateral; (2) la amplificación de tales potenciales con amplificadores diferenciales; (3) filtrado analógico de los potenciales amplificados para evitar el aliasing y, finalmente; (4) el muestreo del electromiograma de superficie en valores de voltaje digital para ser almacenados en una computadora (5) (Cram et al.,1998).

1.6.2. Tecnología y aspectos prácticos de la Electromiografía de Superficie (EMGS)

La electromiografía permite comprender los comportamientos motores intencionales y automáticos. Los aparatos de EMGS con frecuencia transmiten información sobre la activación muscular como, por ejemplo, la intensidad de la contracción muscular, la manifestación mioeléctrica de la fatiga muscular y el reclutamiento de unidades motoras. Esto permite obtener informaciones anatómicas y fisiológicas complementarias. Mediante la descomposición de los potenciales de acción del registro de EMGS de las unidades motoras individuales, es posible la identificación de los compartimentos neuromusculares, la velocidad de conducción del potencial de acción de la unidad motora, el territorio de las unidades motoras y la contribución de los músculos sinergistas que actúan sobre las articulaciones del cuerpo, además de proporcionar un amplio repertorio de información. La actividad mioeléctrica aparece en la superficie de la piel como potenciales eléctricos con un ancho de banda limitado, de 15 a 400 Hz, y con una amplitud muy pequeña, de un micro a unos mil voltios pico a pico, dependiendo de la intensidad de la contracción muscular. Cuanto mayor es la fuerza objetivo, más se suman las unidades motoras y, por lo tanto, mayor es la amplitud de los EMG detectados

en la superficie de la piel. La ubicación de las zonas de inervación y las regiones tendinosas, la longitud de las fibras musculares, la velocidad de conducción de los potenciales de acción de la unidad motora individual, así como la velocidad de conducción «media» global, pueden estimarse a partir de los EMGS. (Cavalcanti y Vieira, 2011).

En relación a los electrodos de superficie usualmente están hechos de plata / cloruro de plata (Ag / AgCl), cloruro de plata (AgCl), plata (Ag) u oro (Au). Los electrodos hechos de Ag / AgCl a menudo se prefieren sobre los otros, ya que son electrodos casi no polarizables, lo que significa que la impedancia de la electrodo-piel es una resistencia y no una capacitancia. Por lo tanto, el potencial de superficie es menos sensible a los movimientos relativos entre la superficie del electrodo y la piel. Además, estos electrodos proporcionan una interfaz altamente estable con la piel cuando la solución electrolítica (por ejemplo, gel) se interpone entre la piel y el electrodo. En cuanto a la dimensión de los electrodos de superficie, varía en tamaño de algunos milímetros a unos pocos centímetros de diámetro o longitud, dependiendo de si los electrodos son circulares o rectangulares. Considerando un solo electrodo de superficie como una serie de electrodos puntuales dispersos a través de su área de contacto en la piel, el potencial detectado es el potencial promedio registrado por cada uno de estos electrodos puntuales. Por esta razón, cuanto más grande es un electrodo, más información se pierde de la superficie detectada. El tamaño de los electrodos también se relaciona con el tamaño del músculo. Los electrodos pequeños (~2 mm de diámetro) permiten la colocación de numerosos electrodos en el mismo músculo, lo que podría ser útil para el estudio de características musculares específicas no detectables con un solo par de electrodos. Para obtener EMGS representativos de la actividad de los músculos grandes, como el tríceps sural, se buscan electrodos con superficies de detección más grandes (~1 cm de diámetro o más). Entonces, la decisión de usar electrodos pequeños o grandes, con distancias de electrodos cortas o grandes, debe ajustarse al objetivo de cada estudio (Cavalcanti y Vieira, 2011).

La colocación de los electrodos es otro tema importante para la detección de EMGS. Normalmente, los EMGS se adquieren en configuración monopolar o bipolar. Los EMG monopolares corresponden al potencial eléctrico detectado en la superficie de la piel, inmediatamente por encima del tejido muscular, respecto con un electrodo de referencia ubicado en las regiones óseas de la piel. Existen guías y protocolos en relación al posicionamiento de electrodos de superficie. El proyecto SENIAM49 se realizó para establecer la unificación de criterios y bases para tal posicionamiento de electrodos en las EMGS. La limpieza de la piel es útil para proporcionar grabaciones EMGS con bajos

niveles de ruido (Interferencias). La preparación adecuada de la piel asegura la eliminación del vello corporal, aceites y capas de piel escamosas y, en consecuencia, reduce la impedancia en la interfaz electrodo-gel-piel. Afeitarse, humedecer y frotar con alcohol, acetona o éter, a menudo se consideran para la limpieza de la piel y conseguir que los electrodos aporten señal de alta calidad para las EMGS. Bottin y Rebecchi mostraron que el uso de solución abrasiva parece funcionar mejor que el alcohol, tanto para reducir la impedancia de la electrodo-piel como para minimizar las respuestas alérgicas. Algunos autores todavía están trabajando en la mejora del contacto electrodo-piel, ya que es imprescindible para los EMGS de alta calidad. Hay estudios que demuestran que existe una buena correlación entre los datos obtenidos con los dos tipos de electrodos. Por todo esto la EMG de superficie es la más indicada para los estudios del análisis de movimiento por su carácter no invasivo y por no influir en el gesto que ejecuta el deportista durante la recogida de datos (Cavalcanti y Vieira, 2011).

1.6.3. EMGS en el deporte

La finalidad principal de este tipo de medida es conocer la actividad de uno o varios músculos en una acción concreta. La EMGS en deporte permite determinar en cada instante si el músculo está activo o inactivo, conocer qué grado de actividad muestra durante los períodos en que se halla activo, y saber qué tipo de relación o interacción mantiene con el resto de músculos implicados en la acción que se va a estudiar, entendido como concepto de coordinación intermuscular. Concretamente las aplicaciones de la EMGS dentro del ámbito del deporte son análisis de un gesto, análisis de la marcha, evaluar la fatiga, valorar la actividad muscular durante un proceso diagnóstico o terapéutico, facilitar técnicas de miofeedback, evaluación del rendimiento deportivo, valoración de trastornos de carácter neuromuscular y coactivación (Massó et al., 2010). Según Clarys et al (1993), está demostrado que la señal electromiográfica guarda una relación directa con la fuerza que ejerce el músculo ya que su actividad eléctrica está determinada por el número de fibras y su frecuencia de excitación, estos mismos factores son los que determinan la fuerza muscular (Clarys et al., 1993).

Específicamente para el gesto deportivo, la EMGS nos permite el registro de la actividad muscular. Así, se pueden contrastar los dos tipos de datos y conocer:

- El tiempo de activación del músculo, su inicio y final en relación a la posición articular del deportista.
- El grado de actividad muscular, que refleja el nivel de esfuerzo muscular, pero no debe confundirse con el nivel de fuerza muscular que pueda lograr el deportista, ya que la

señal eléctrica detectada está en función de la concentración iónica existente en el músculo.

La EMGS nos facilita tareas como la de conocer la participación muscular en un determinado gesto u observar la activación de la musculatura de un segmento en respuesta a la movilización de otros segmentos. Estos aspectos son claves en especialidades como la medicina del deporte, la medicina laboral y, cada vez más, en los estudios ergonómicos.

En la evaluación del rendimiento deportivo, el hecho de que la EMGS pueda analizar situaciones dinámicas le aporta especial interés en el campo del deporte. El conocimiento y la mejora en la eficacia de un gesto implica la utilización correcta del trabajo muscular, tanto en términos de economía del esfuerzo como de rentabilidad y de prevención de lesiones. En un proceso de entrenamiento, pueden buscarse mejoras en estos parámetros, realizar un seguimiento y determinar aspectos para corregir o mejorar. En especial, se puede mejorar la ejecución de una tarea en términos de activación muscular y/o en términos de fatiga muscular, basándonos en el análisis de frecuencias de los trazados electromiográficos. Hay que tener presente que la EMGS nos puede aportar datos sobre el esfuerzo muscular realizado en una determinada acción. En este sentido, es importante remarcar que la relación existente entre la actividad EMGS y la fuerza es únicamente una apreciación cualitativa (Massó et al., 2010).

II. JUSTIFICACIÓN

Una vez llevada a cabo una extensa revisión de la bibliografía, se ha evidenciado una falta de estudios que analicen las lesiones específicas del karting de competición, a diferencia de las lesiones derivadas del “Go Kart” con más estudios publicados. Delante las dudas sobre las lesiones derivadas del karting de competición, deporte base del “motorsport”, se considera relevante desarrollar la presenta tesis doctoral que incluye un estudio epidemiológico de las lesiones en karting de competición en Cataluña para poder constatar en qué zonas del cuerpo se concentran las lesiones, el tipo y gravedad de las mismas.

Conocer esta lesionabilidad, nos puede facilitar la elaboración de planes de prevención de lesiones, así como diseñar protocolos de preparación física más específicos. Hemos constatado que no existen planes específicos de preparación física de los pilotos, aun que se dispone de los contenidos esenciales que se deben tener en cuenta para mejorar el rendimiento deportivo de los pilotos.

Con el objetivo de conocer la “lesionabilidad” específica del karting de competición, se diseñó y realizó un estudio epidemiológico en base a los pilotos lesionados en el “*Campionat de Catalunya de karting*” para determinar el tipo de lesiones, la gravedad de las mismas y en qué regiones corporales se concentraron. Los resultados de este estudio fueron publicados en la revista “*Community Medicine & Health Education*” el 30 de julio del 2014, siendo el primer estudio de la tesis (Delmuns, S., et al., 2014).

Siendo las extremidades superiores las que tienen más solicitud de actividad muscular en el pilotaje, y siendo el foco de mayor lesionabilidad no se encontraron estudios que detallen de las cargas y solicitudes de las estructuras musculares implicadas en la acción de pilotaje en relación al agarre y uso del volante. Los estudios con EMGS que detallen esas solicitudes musculares, pueden servir de guía y complemento para realizar programas preventivos y de preparación física con más especificidad y adaptándolos a las diferentes edades y categorías de los pilotos. Si los niños que practican el karting de competición realizan buenos programas de preparación física en edades tempranas, se podrían prevenir lesiones y mejorar su rendimiento deportivo gracias a la especificidad de los citados programas y protocolos.

Con el objetivo de conocer, las solicitudes y cargas musculares de los brazos de los pilotos de karting de competición, el segundo capítulo de esta tesis recoge los resultados del estudio EMGS realizado a trece niños pilotos de karting de competición. Aportando el detalle del comportamiento y carga muscular de estas estructuras, para que puedanser usadas en futuros programas de reducción del riesgo de lesiones y preparación física.

III. MÉTODO

3.1. Estudio 1. Estudio epidemiológico de las lesiones derivadas del karting de competición en niños

3.1.1. Objetivos

Objetivo principal

- Determinar la incidencia y tipología de las lesiones derivadas de la práctica del karting de competición en niños de entre 7 y 15 años, en Cataluña, en el periodo 2005-2009.

Objetivos secundarios

- Analizar las posibles diferencias de “lesionabilidad” según los años de competición, categoría, número de participantes y circuitos.
- Explorar los posibles factores de riesgo de lesión y plantear posibles medidas correctoras para reducir su número y gravedad.

3.1.2. Hipótesis

Los pilotos de karting de competición tienen una lesionabilidad de poca gravedad localizada sobretodo en las extremidades superiores.

3.1.3. Material y métodos

Descripción de la población de estudio

Se realizó un estudio epidemiológico retrospectivo de las lesiones traumáticas registradas en los partes médicos y documentos oficiales de la FCA. El periodo de estudio es de los últimos cinco años, en todas sus participaciones en el “Campionat de Catalunya” de karting de las temporadas 2005-2009.

La muestra se originó en base al número de pilotos federados con licencia del año a competir (previo requisito federativo de superar una revisión médica y la autorización firmada por los padres o tutores de los menores); y que participaron en el “Campionat de Catalunya” de Karting en los años 2005-2009.

Específicamente, se incluyeron en el estudio, las categorías en las que los niños y adolescentes estaban en franjas de edad entre los 7 años y hasta los 15 años incluidos. Por lo tanto, las categorías incluidas en el estudio son:

Benjamín, Alevín, Cadete y Júnior (“KF3”). Los pilotos de la categoría benjamín, sólo compitieron en el año 2009, al generarse oficialmente esta categoría en esa temporada.

Ni los registros médicos, ni los informes del director de carrera, no diferenciaron en ningún caso, si el piloto se accidentó en una de las dos tandas, ni el número de vuelta en la que tuvo lugar el accidente. Tampoco las circunstancias del accidente (en grupo, solo, colisión con otro piloto, puntos negros de un circuito, etc.).

Proceso de atención al piloto accidentado y registros

Cuando un piloto sufre un accidente se activa un protocolo de atención, el médico del circuito le visita, estabiliza y atiende. El facultativo decide si el piloto es evacuado al hospital de referencia de la prueba, para ser diagnosticado y tratado. Paralelamente el director de carrera hace un informe en el que se constan los datos del piloto-ficha federativa-categoría y dorsal.

Estos registros deben enviarse a la FCA, que activa las vías administrativas para la cobertura de los costes de estas atenciones en relación a la licencia federativa y se archivan en los registros federativos de pilotos accidentados. La FCA, deriva las gestiones administrativas con la mutua y la RFEA, es la que gestiona y hace el seguimiento del piloto lesionado.

Grupo de estudio, por categorías federativas y edades. Benjamín (7-8 años), Alevín (8-11 años), Cadete (11-13 años), Karts formula junior (KF3) (13-15 años), Sénior (Inter A) i Intercontinental C (ICC) de más de 15 años en ambos.

3.1.4. Muestra

Criterios de inclusión

- Pilotos con licencia federativa de la FCA, participantes en el “Campionat de Catalunya de Karting”, en las categorías Benjamín, Alevín, Cadete y Júnior (KF3).

Criterios de exclusión

- Pilotos federados en las categorías con pilotos de más de 15 años de edad. (Sénior (Inter A), ICC (Fórmula Libre)).
- Las afectaciones no traumáticas (p.ej.: lipotimia, deshidratación...) no fueron consideradas para el estudio.

Pilotos que registraron un kilometraje igual a 0 Km. en competición. (P.ej.: pilotos que sólo participaron en los entrenamientos).

3.1.5. Circuitos y carreras de los campeonatos

El total de carreras de un año en el campeonato de Cataluña, varían según los calendarios aprobados por la FCA, en base a los clubes organizadores.

El número de vueltas al circuito, de una carrera, es menor para las categorías con menor edad y mayor para las categorías con pilotos con más edad, como los júnior. Este número de vueltas, también depende de la distancia por vuelta de cada circuito.

Los circuitos homologados en base a las normativas FIA-CIK y sus distancias por vuelta, en los que se celebraron los campeonatos del 2005 al 2009 se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. *Circuitos de karting de competición y sus distancias en metros.*

CIRCUITO	DISTANCIA POR VUELTA (m)
JUNEDA	1000
MORA	1400
OSONA	940
SALLENT	1450
SILS	650
VENDRELL	1310

El circuito de Juneda, fue inaugurado en el 2009, siendo el primer año en el que se participó para el “Campionat de Catalunya”.

3.1.6. Diseño del estudio epidemiológico

El estudio se diseñó en base a los registros oficiales de la FCA, en carácter retrospectivo de las temporadas de los Campeonatos de Catalunya de Karting 2005-2009.

Recogida de datos

Conjuntamente con el equipo administrativo de la FCA. Se revisaron todas las actas de los resultados de todas las carreras de los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009, para extraer el número exacto de participantes en cada carrera del campeonato por año. Con esta información se generó una base de datos codificada de los cinco campeonatos.

Con estos datos, se procedió a calcular una media de participantes por cada categoría, circuito y año. También se calcularon el número de vueltas y kilometraje total hecho cada piloto en cada carrera y de cada campeonato.

Se recogieron, al mismo tiempo, las lesiones a partir de los partes médicos de cada piloto accidentado, junto con los informes de los directores de carrera en los que quedó registrado el circuito donde se produjo el accidente, así como la categoría, dorsal y número de licencia federativa del año de competición. Estos informes, se mandan a la RFEA, dónde se realizan las gestiones administrativas y trámites de atención al piloto lesionado (Anexo 1).

Posteriormente, éstas fueron clasificadas según la guía validada OSICS-10 (Orchard Sports Injury Classification System) (Rae, K., & Orchard, J., 2007) Esta clasificación utiliza una codificación de cuatro letras por lesión, la primera marca la región corporal lesionada, la segunda especifica el tipo de daño a los tejidos y la tercera junto con la cuarta determinan la especificidad de la articulación u órganos lesionados (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación OSICS-10 (Orchard Sports Injury Classification System). Localización de la región corporal lesionada en base a la primera letra.

OSICS	Lesiones
W	Muñeca y mano.
C	Tórax
E	Codo
S	Hombro
K	Rodilla
N	Cuello
F	Pie
U	Brazo (entre hombro y codo)
A	Tobillo
H	Traumatismo Cráneo Encefálico (TCE)
L	Columna lumbar
R	Antebrazo (entre codo y muñeca)
B	Lesiones de pelvis/nalga (excluye ingle)
T	Muslo
D	Columna torácica
G	Cadera e ingle
Q	Pierna
O	Otros

3.1.7. Análisi de los datos

Se generó una base de datos con las siguientes variables:

- Años de competición
- Participaciones: se definió como la suma de las veces que cada piloto sale a la pista a competir
- Circuitos,
- Número de carreras,
- Categorías,
- Pilotos: el número de pilotos fue la suma de los pilotos que participaron en una o más carreras
- Kilómetros recorridos,
- Lesiones (pilotos lesionados)
- Distribución de las lesiones por zona corporal.

En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo general de la muestra, teniendo en cuenta la distribución de participaciones y los pilotos por año de competición, categorías y circuitos en los cinco años. Los resultados de este análisis se presentaron en forma frecuencia relativa, frecuencia absoluta medias y desviaciones estándar (DE).

La ratio de incidencia de lesión (“lesionabilidad”), se calculó por cada año de competición, a partir del número de lesionados, dividido por el número total de pilotos-carreras.

Para explorar posibles diferencias en la distribución general de pilotos lesionados por año, categoría y circuitos, se utilizó el test Chi-cuadrado de Pearson, que permite analizar diferencias entre distintas variables categóricas.

Dado que la mayoría de pilotos, cambiaron de categoría cada dos años de competición; se realizó un análisis estadístico anual estratificado. En este caso, primero se presentó un análisis descriptivo por año de competición, similar al descrito anteriormente, con las siguientes variables: número de pilotos, participaciones, kilómetros realizados y pilotos lesionados. También se incluyó el número de participaciones en diferentes circuitos.

Posteriormente, se realizó un análisis descriptivo estratificado, teniendo en cuenta el número de pilotos y participaciones, así como la media de kilómetros, número de carreras, lesionados por categoría y circuito. Los resultados del análisis descriptivo fueron presentados en números absolutos, porcentajes o medias con desviación estándar (DE). Para explorar posibles asociaciones entre las diferentes variables y el riesgo de lesión, en cada año de competición, se generó un modelo de regresión binario,

con lesionado y no lesionado, como variable binaria dependiente. Los resultados de este análisis estratificado son presentados con medidas de riesgo relativo (RR), con intervalos de confianza del 95% (IC95%).

Para determinar diferencias anuales, en el número de kilómetros y carreras realizados entre pilotos lesionados y no lesionados se utilizó el test de U de Mann Whitney. Previamente, se exploró gráficamente la distribución de estas dos variables a través de histogramas y gráficos de normalidad. La no normalidad de la distribución se confirmó mediante el test “Shapiro-Wilks”. El test U de Mann Whitney, homólogo no paramétrico del test de la t de Student, permite comparar datos entre dos grupos (en este caso lesionados y no lesionados) cuando la distribución de la muestra se desvía de la normalidad. Los resultados de las diferencias entre grupos se presentaron como medias y DE, con diferencias de las medias entre grupos y IC 95%. En todos los análisis, la significación estadística se estableció en un valor mínimo de $p < 0.05$.

3.1.9. Publicación

Delmuns, S., Roig, M., Javierre, C., Mans, C., Giné-Garriga, M. (2014). Epidemiological Study of Injuries Arising from Karting Competition in Children. Journal of Community Medicine and Health Education. 4 (301). doi:10.4172/2161-0711.1000301



Epidemiological Study of Injuries Arising from Karting Competition in Children

Deimuns Salvi¹, Roig Marc², Javierre Casimiro³, Mans Cristina⁴ and Giné-Garriga Maria^{1,5*}

¹Faculty of Health Sciences Blanquerna, Ramon Llull University, Barcelona, Spain

²Department of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen, Denmark

³Faculty of Medicine, Universitat de Barcelona, Spain

⁴Roca / FI Legacy Foundation, Barcelona, Spain

⁵Faculty of Psychology, Education and Sport Sciences Blanquerna, Ramon Llull University, Barcelona, Spain

Abstract

Objective: The main aim was to define the impact and type of injuries in children aged from 7 to 15 years old competing in karting competition in Catalonia during the 2005-2009 periods. Secondary aims were to analyze the differences in injuries according to year of competition, category, number of participants and circuit. We also explored risk factors for injury and suggest possible corrective measures to reduce its number and severity.

Design: Longitudinal epidemiological study with retrospective data. The study period was the 5-year period from 2005 to 2009.

Setting: The study took part in 6 karting circuits in Catalonia.

Patients and methods: A total of 334 licensed drivers who participated in the Catalan Karting Championship. The subjects were in the age range from 7 to (and including) 15 years old with an average drive age of 11 years old.

Results: Three hundred and thirty four drivers completed a total No. of 445590.8 km of competition and 38 of them sustained injuries during the 5 years of the study. Corporal injuries were mainly, located in hands and wrists (42.1%) followed of injuries in thorax and elbow (13.1%). In the years 2005 and 2007, as well as in circuits located in Sals, Mora and Juneda, significant differences were found in the number of drivers injured in relation to the number of participations.

Conclusions: The low injury incidence suggests that Karting is a relatively safe sport. The fact that injuries were mainly produced in specific bodily regions emphasizes the importance of protecting them to reduce the risk of injury. A more in depth analysis is required to explain why injuries occurred preferentially in some circuits and in some specific competition years.

Keywords: Injuries; Karting; Competition; Epidemiology; Risk of injury; Children

Introduction

Competition karting is a type of four-wheel motorsport where children compete from a very early age [1]. Competition karting has been the initial training sport for many current F1 Spanish drivers.

In Spain construction of karting circuits started in the 1950s, with basically two types of use: for rent (internationally known as 'Go-Kart') and for competition. A very important difference between the two is that in order to compete in karting, drivers need to be federated.

Competition regulations require drivers to use safety equipment such as a cervical collar, a chest protector, fire retardant clothing, and roll bars on the karts [2-7]. These items, which must be officially approved and technically verified by race marshals, are always suited to the specific size of each driver. The seat and pedals also adjust ergonomically and may be adapted according to the height and driving position of the child or adolescent driver [7]. The objective of these passive safety elements is to prevent injuries and minimise their extent in the event of an accident.

Epidemiological studies of injuries from Go-Kart have been conducted, but there are no known studies on competition karting. Eker et al. published a study detailing the injury mechanisms suffered by 600 karting practitioners in The Netherlands during a specific year [8]. In 2002 a study of cases that needed emergency care in Hong Kong showed that accidents on outdoor tracks appeared to be more serious and more likely to occur than those on indoor circuits [9].

Whitfield et al. published a case study that gathered information

about injuries derived from 'Go-Kart' and 'Fun Kart' [10]. In the same year of publication, Adler et al. conducted a study into the risk factors involved in 'Go-Kart' and 'Fun Kart' concluding that hitting a stationary object or a moving vehicle was the most frequent hazard pattern followed by tip-over incidents. The analysis of injury and death data showed that a majority of injured children were between the ages of 8 and 14 years old [11].

Various publications exist on the injuries sustained in 'Go-Karting' [12-17]. Kim et al. and Levesque et al. analysed respiratory injuries caused by the high concentration of carbon dioxide in indoor karting circuits [18,19].

It is important to note that none of the studies differentiates between competitive karting and 'Go-Kart'. It also needs to be stressed that no official competitions take place in indoor circuits, except in some federations in Scandinavian countries [18-25].

Taking into account the scant evidence specific to competition

*Corresponding author: Maria GinéGarriga (PhD, PT), Faculty of Psychology, Education and Sport Sciences Blanquerna, Ramon Llull University, Barcelona, Spain, Tel: 0034629589215; E-mail: mariagg@blanquerna.urj.edu

Received June 05, 2014; Accepted July 25, 2014; Published July 30, 2014

Citation: Deimuns S, Roig M, Javierre C, Mans C, Maria GG (2014) Epidemiological Study of Injuries Arising from Karting Competition in Children. J Community Med Health Educ 4: 301. doi:10.4172/2161-0711.1000301

Copyright: © 2014 Deimuns S, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

karting on the basis of federative regulations, the main objective of this study is to understand the type and severity of injuries sustained in competition karting during the 2005-2009 period in Catalonia. The secondary objective is to disseminate results about the circuits and categories in which most injuries were sustained.

Materials and Methods

Study population

A longitudinal epidemiological study with retrospective data was carried out on drivers and traumatic injuries recorded in medical reports and official documentation of the Catalan Automobile Federation (FCA).

The sample was based on the population of yearly licensed, federated drivers who competed and participated in the Karting Championship of Catalonia between 2005 and 2009. The sample consisted of 334 drivers ranging from 7 up to and including 15 years of age (with an average driver age of 11). It was calculated that an average of 179.3 km was covered per driver. Drivers, who raced in the youngest category start at age 7 to 8, only competed in the 2009 season.

The study was approved by the ethics committee of the FCA, as well as by the ethical committee of the Universitat Internacional de Catalunya. The parents or legal guardians of the drivers signed an informed consent form that included all of the pertinent information on the study.

Procedure

The administrative team of the FCA, who was not involved in the study, revised the written records of all the races from the last five years in order to obtain the exact number of participants in each championship race per year. Using this information, an average number of participants for each category, circuit and year was calculated. The number of laps and total kilometres driven by each driver for each race and each championship was also calculated.

Information about the injuries for each driver involved in an accident was collected from the medical records, as well as from the reports from the race directors, which recorded the following information: circuit where the accident happened, category, kart number and federation licence number of the year of competition.

Injuries were later classified according to the validated guidelines provided by the Orchard Sports Injury Classification System (OSICS-10) [26]. This classification uses a four-character code assigned to each injury. The first character relates to the anatomical location of the injury. The second character, to the specific type of injured tissue, and the third and the fourth characters determine the exact joint or organs affected.

Statistical Analysis

The number of races that drivers participated in was the total of the times that each driver competed on the track, and the number of drivers was the total number of drivers who participated in one or more races. Firstly, a general descriptive analysis was carried out on the sample, taking into account the distribution of the participants and

the drivers per competition year, categories and circuits in the 5-year period of the study. The results of the general descriptive analysis were presented in absolute numbers, percentages or averages and standard deviations (SD).

The ratio of incidence of injuries (injury risk) was calculated for each year of competition, based on the number of injuries divided by the total number of drivers/races.

In order to explore possible differences in the general distribution of injured drivers per year, categories and circuits, the Chi-squared test was used.

Given that the majority of drivers changed their category every two years, an annual stratified statistical analysis was used. First a descriptive analysis per year of competition was shown, similar to that described earlier, with the following variables: number of drivers, number of times drivers participated in races, kilometres covered and number of injured drivers. The number of times drivers raced on different circuits was also included.

Subsequently a stratified descriptive analysis was conducted, taking into account the number of drivers and number of times they participated, as well as the average kilometres driven, number of races and the drivers injured in each category and at each circuit. In order to explore possible relationships between the variables and the risk of injury in each year of competition, a binary regression model was generated with those injured and uninjured, as a binary dependent variable. The results of this stratified analysis are presented with measurements of relative risk (RR), with confidence intervals of 95% (CI 95%).

In order to determine the annual differences in the number of kilometres and races completed between injured drivers and uninjured drivers, the Mann-Whitney U test was used. In all of the analyses, statistical significance was established at $p < 0.05$.

Results

A total of 334 subjects completed a total of 445590.8 kilometres of competition and 38 drivers were injured during the five years of the study. The injury risk rates found in Catalonia were lower in relation to the RR (CI 95%) found ranging from 0.001 to 0.02.

A greater distribution of injuries to hands and wrists (42.1%) was found, followed by injuries to the chest and elbow (13.1%). In terms of the types of injuries, 43.7% of the injuries to the wrist and hand were wrist sprains, whilst 40% of the injuries to the chest were ecchymosis over sternum. This meant that the driver was able to quickly join the next competition, as noted in the FCA's results reports. The most serious injuries were fractures suffered by drivers in the junior category (the oldest group).

According to the secondary objectives, Tables 1, 2 and 3 show the average number of races participated in, number of races and kilometres by year, by category and by circuit, respectively. Table 4 shows the differences between injured and uninjured drivers by number of races and kilometres completed.

Significant differences were found for 2005 and 2007 and for the

Year	2005	2006	2007	2008	2009
Average number of races participated in	32.3(20.3)	50.1(33.7)	55(34.3)	56.3(36.3)	44.5(31.3)
Average number of races	7.3(2.4)	6.9(2.5)	4.9(1.5)	4.5(1.5)	5.7(2.2)
Average number of kilometres	225.9(79.8)	208.2(83.8)	140.7(56.7)	162.6(274.1)	150.7(59.4)

Table 1: Average number of races participated in, number of races and kilometres by year. Data presented in absolute numbers and (SD).

Category	Child (benjamin)	Juvenile (alevin)	Cadet (cadete)	Junior (junior)
Average number of races participated in	47.3 (32.3)	27.9 (33.9)	49.4 (29.9)	67.3 (21.1)
Average number of races	5.8 (1)	6.1 (2.3)	5.6 (2.4)	5.9 (2.4)
Average number of kilometres	149.9(33.8)	167(69.8)	170.7(164)	204.2(158.3)

Table 2: Average number of races participated in, number of races and kilometres by category. Data presented in absolute numbers and (SD).

Circuit	Vendrell	Mora	Osona	Sils	Sallent	Juneda
Average number of races participated in	39.4(23.4)	49.2(34.1)	48(31.6)	50.2(33.8)	51.57(36.1)	48.3(36.2)
Average number of races	5.2(2.5)	5.8 (2.2)	6 (2.4)	5.8 (2.6)	6.2 (2.4)	6.2 (2)
Average number of kilometres	154.4(80.8)	174(73.4)	178.8(80)	174.8(83.3)	220(294.8)	163.4(53.5)

Table 3: Average number of races participated in, number of races and kilometres by circuit. Data presented in absolute numbers and (SD).

Variables	Injured	Uninjured	Difference in averages (CI95%)	p
Km	197.8(86.4)	153.8(107.4)	44.1 (-20.7, 108.9)	0.19
Races	6.5(2.5)	4.9(3.4)	1.5(-0.38, 3.4)	0.19

Table 4: Differences between injured and uninjured drivers by number of races and km completed. The results are presented as an average, (SD) and differences of the averages with CI 95%.

Sils, Móra and Juneda circuits in the number of drivers injured in relation to the number of times they participated in races.

It was found that in 2006 the number of injuries did not increase in relation to the increase in participants. In 2005 and 2007 the Chi-squared test results showed a significant difference ($p=0.026$) in the distribution of injured drivers per competition year, and these two years were the ones in which, proportionally, more drivers suffered an injury in relation to the number of races participated in.

Regarding the total number of races participated in per category in the five years of the study; the cadets' category participated in the highest number of races and also had the largest number of injured drivers. The 6 drivers who had a multiple accident in 2007 were 37.5% of the total cadets injured in the five years of the study. The junior category start at age 13 to 15, with 725 numbers of races participated in and 16 injured drivers, was the second most-injured category. 2005 was the year in which 7 juniors were injured, that is, 43.7% of the total juniors injured in the 5-year period. The youngest category start at age 7 to 8, registered a total of 12 number of races participated in, with no injured drivers. This category started to operate in 2009. Significant results were found that related a higher number of injuries in older categories ($p=0.013$).

Regarding the circuits, the results of the Chi-squared test showed a significant difference ($p=0.015$) in the distribution of injured drivers by circuit in relation to the number of participants. The sils circuit had the highest number of injured drivers, and 481 races participated in. Six of those injured sustained their injuries in the multiple cadet accident in 2007. The Mora circuit recorded the second highest number of injured drivers. This circuit held the highest numbers of races during the period of the study, as two races a year were held, except in 2009. This circuit also had the highest number of races participated in. The circuit that recorded the lowest number of races participated in was the Juneda circuit, with 98. It held races only in 2009, with 5 injured, and had the lowest prevalence of injuries in the study (5.1%).

Discussion

The main findings of the study are: (a) the 334 drivers completed a total of 445590.8 kilometres of competition and 38 drivers were injured during the five years of the study; (b) the average incidence of injury risk in the five years showed that a driver had to participate in 50 races before injuring themselves 0.7 times; (c) the greatest distribution of injuries were found in hands and wrists; and (d) the highest incidence of injury found in relation to years, drivers and races was in 2007, with

1.4 injuries every 50 races, on the assumption that the driver had a constant trajectory.

This study provides the first distribution of injuries by body area specific to competition karting. Of a total of 38 injured drivers, 42.1% sustained injuries to the wrist and hand (W). This was the part of the body with the highest injury rate, specifically wrist strains, with 7 injured drivers. Impacts from the steering wheel of the kart were likely to have caused these injuries. Karts do not have power steering, and the steering wheels are often designed with a central blade that connects the outer circle with the steering axle. This piece of information could be useful for the manufacturers in order to improve passive safety items.

Injuries to the chest (C) were rated as the second most common injury (13.1%), with the steering wheel being possibly the device that caused the injury to this part of the body, as karts have no means of fastening the body to the seat. Drivers are obliged by the rules to wear chest protectors. These protectors possibly minimised injuries to the chest, as ecchymosis and hematomas were the injuries classified in our study. No fractures to the ribs or sternum were recorded.

The same number of drivers (13.1%) had injuries relating to the elbow (E). This joint is the most exposed in the driving position, as it is at the driver's sides and injuries are caused by impacts with other karts. The use of elbow protectors (not compulsory under the applicable regulations) and reinforcement to this area in the racing overalls could be the reason for elbow injuries having been minimised. 80% of the injuries were hematomas to soft tissue and 20% cuts or injuries. Previous studies have analysed the injury mechanisms and types of injuries from the practice of 'Go-Kart' (9-11), but none of them analysed injuries from competition, and all of their samples included population of varying ages.

The studies published (9-18) found that injuries sustained in 'Go-Kart' are more serious than those found in the present study focused in competition karting. Further studies are needed, on the same age groups and the same vehicles, to confirm these differences. The use of officially approved passive safety materials, obligatory for competition drivers, is likely to change the body regions injured and minimise injuries in cases of accident, unlike for those who practice 'Go-Kart'.

It was found that injured drivers drove more kilometres and averaged more races than those who were uninjured. Based on the results of the Mann-Whitney U test, no statistically significant results were found. This tendency can probably be explained by considering that the risk of injury is greater the more competition kilometres are

completed due to driver-fatigue, which thus increases the possibility of an accident. However, once injured, these injuries are not serious and allow the driver to return to competition in the short term. The differences in the distribution of injuries, in relation to the different categories, were not statistically significant ($p=0.133$).

The fact that those in the junior category had a higher number of injuries could be due to the higher level of competition, using faster karts and competing at higher speeds.

The circuit that recorded the lowest number of races participated in was the Juneda circuit, with 98. It held races only in 2009, with 5 injured, and had the lowest prevalence of injuries in the study. After reviewing the reports from the race director, the medical records and the timing sheet, no reasons were found to justify the number of injured drivers in the two races of the first year of Juneda being included in the championship.

The difficulty in measuring accidents in competition is one of the important limitations of this type of study, as it can be affected by various factors (e.g., weather conditions, situations in which the drivers are more likely to have an accident, such as track exits, or conflict points in the circuits).

In the specific case of epidemiological studies in other sports, injury risk is related to 1000 hours of driving. This is the limitation of this study, as it was not possible to measure the number of hours spent by each driver in private practice, free training and the specific number of kilometres covered in these. The results of this study are based on the total kilometres covered in competition of a number of laps in each Catalan Championship race.

Another limitation is the lack of records of detailed information about each accident in which a driver is injured (part of circuit, in a group, alone, lap number, etc.). The improvement of the recording-keeping systems and the standardisation of those systems would enable researchers to carry out studies to obtain additional key data and findings that would provide information to improve safety issues.

On the basis of this limitation, race record-keeping templates are being developed jointly with the FCA. This is one of the study's contributions in order to generate more thorough databases in the short term.

Conclusion

The greater distribution of body injuries was found to hands and wrists, followed by injuries to the chest and elbow. This new distribution could be a useful point of reference for manufacturers to develop and improve passive safety elements.

Injury risk rates in Catalonia have been found to be low based on the RR (CI 95%) found. These results should be compared with future studies in order to determine whether they are high or low with participants of the same ages and similar number of kilometres driven in competitions.

References

1. Sanches JD (2007) The karting manual: the complete beginner's guide to competitive kart racing. Sparkford: Haynes 2.
2. Comissió Karting (2005) ReglamentEsportiu i Tècnic del Campionat de Catalunya de Karting.
3. Comissió Karting (2006) ReglamentEsportiu i Tècnic del Campionat de Catalunya de Karting.
4. Comissió Karting (2007) ReglamentEsportiu i Tècnic del Campionat de Catalunya de Karting.

5. Comissió Karting (2008) ReglamentEsportiu i Tècnic del Campionat de Catalunya de Karting.
6. Comissió Karting (2009) ReglamentEsportiu i Tècnic del Campionat de Catalunya de Karting.
7. CIK-FIA (ComissionInternationale de Karting) (2009) Homologations Regulations.
8. Eker HH, Van Lieshout EM, Den Hartog D, Schipper IB (2010) Trauma mechanisms and injuries associated with go-karting. *Open Orthop J* 4: 107-110.
9. CP Ng, CH Chung (2005) Go-kart related injuries: a local scene. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine* 12: 1.
10. Whitfield TW (1998) Go-Kart/Fun-Kart Related Injuries and Deaths, 1985-1996. Consumer Product Safety Commission.
11. Adler P (2000) Go-kart related injuries and deaths to children. Consumer Product Safety Commission.
12. Govaert MJ, Ponsen KJ, de Jonge L, de Wit LT, Oberlof H (2001) Fracture of the pancreas in two patients after a go-kart accident. *HPB (Oxford)* 3: 3-6.
13. Li JCM, Leong HT (2006) Go-kart injuries of the abdominal cavity. *Surgical Practice* 10: 41-44.
14. Freeman BJ, Feldman A, Mackinnon J (1994) Go-kart injuries of the shoulder region. *Injury* 25: 555-557.
15. Heddie RM, Robb WA (1974) Go-kart injuries of the urethra. *J R Coll Surg Ednb* 19: 310-312.
16. Bley T, Gahr RH (2002) [Risks and injuries of go-karting]. *Zentralbl Chir* 127: 523-526.
17. Ahmad M, Sinha P, Al-Tamimi YZ, Sylvester D, Dezzo A, et al. (2011) The Isadora syndrome: a case report of cervical, oesophageal and tracheal transection in a go-karting accident. *Br J Neurosurg* 25: 310-312.
18. Kim T, Wagner J (2010) PM2.5 and CO concentrations inside an indoor go-kart facility. *J Occup Environ Hyg* 7: 397-406.
19. Lévesque B, Bellemare D, Sanjaçon G, Duchesne JF, Gauvin D, et al. (2005) Exposure to carbon monoxide during indoor karting. *Int J Environ Health Res* 15: 41-44.
20. Federación Española de Automovilismo (FEA) (2009) Informe FEA Karting.
21. Federación Española de Automovilismo (FEA) (2008) Informe FEA Karting.
22. Federación Española de Automovilismo (FEA) (2007) Informe FEA Karting.
23. Institute For Motor Sport Safety (2005) A Driver's Guide to Safe Motor Sport. FIA.
24. FIA (2009) The Guide' Anti-Doping Guide for Drivers.
25. Comissió Karting FCA editor (2012) ReglamentEsportiu i Tècnic del Campionat de Catalunya de Karting.
26. Rae K, Orchard J (2007) The Orchard Sports Injury Classification System (OSICS) version 10. *Clin J Sport Med* 17: 201-204.

3.2. Estudio 2. Estudio electromiográfico de superficie de la actividad muscular de los brazos en pilotos de karting de competición

3.2.1. Objetivos

Objetivo principal

- Analizar la actividad muscular de los brazos en los pilotos de karting de competición de la categoría senior en su acción de pilotaje, valorada por medio de electromiografía de superficie.

Objetivos secundarios

- Evaluar las diferencias de actividad muscular en base al número de vueltas realizadas.
- Evaluar las diferencias de actividad muscular entre pilotos que utilizan un kart con marchas respecto a un kart sin marchas.
- Comparar las diferencias e relaciones entre ambos brazos del patrón de actividad muscular según el pilotaje y su solicitud en el tipo de trazado.

3.2.2. Hipótesis

El pilotaje de un kart de competición con marchas requiere de mayor actividad muscular en los brazos que el pilotaje de un kart sin marchas.

Aparece un aumento de la actividad muscular en las últimas vueltas a causa de la aparición de fatiga.

El sentido del trazado del circuito implica la activación de la musculatura del mismo sentido de la curva per delante de la activación de la musculatura del brazo dominante.

3.2.3. Material y métodos

Descripción de la muestra del estudio

En este estudio participaron voluntariamente trece pilotos de karting de competición de la provincia de Barcelona, todos de la categoría Senior (> 15 años). Se informó previamente a todos los pilotos voluntarios y a sus familias sobre los objetivos del estudio, las pruebas que deberían realizar y los datos que se obtendrían en las mismas. También fueron informados de los derechos que otorga la ley de protección de datos y los pilotos y sus padres/madres firmaron el correspondiente documento de

consentimiento informado avalado por el Comité de Ética de la Facultad de Psicología, Ciencias de la Educación y del Deporte Blanquerna (FPCEE) – Universidad Ramon Llull.

Estos pilotos disponían de karts de competición en propiedad, siendo los pilotos con karts con marchas cuatro del total de la muestra. Estos 4 participantes realizaron primero la lectura EMG con el kart sin marchas y posteriormente la lectura con el kart con marchas, dejando 90 minutos de reposo entre las dos lecturas EMG. El resto de pilotos (n=9), tenían en propiedad karts sin marchas, siendo estos los más habituales en los campeonatos de promoción por ser más económicos y con menos costos de mantenimiento.

3.2.4. Muestra

Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión para la selección de la muestra fueron:

1. Pertenecer a la categoría Senior de Karting en base a la normativa vigente de categorías de karting de competición de la CIK aplicada en el *Campionat de Catalunya de Karting*.
2. No estar recibiendo tratamiento de alguna lesión de brazos.
3. No haber sufrido con anterioridad ninguna lesión en los brazos.
4. Conocer el trazado el *Circuit de karting de Sallent*.

Criterios de exclusión

El único criterio de exclusión que se aplicó fue que los pilotos no podían cometer salidas de pista y/o trompos durante las tres vueltas de lectura EMGS. Este no se tuvo que aplicar para desechar lecturas del estudio EMGS en ningún piloto.

Las características de la muestra obtenida se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Característica de la muestra de pilotos.

PILOTO	CATEGORIA (CIK)	EDAD	LADO DOMINANTE	KART	KART
			EES	CON MARCHAS	SIN MARCHAS
PILOTO 1	Senior	17	DIESTRO	SI	SI
PILOTO 2	Senior	14	DIESTRO	SI	SI
PILOTO 3	Senior	17	ZURDO	SI	SI
PILOTO 4	Senior	18	DIESTRO	SI	SI
PILOTO 5	Senior	17	ZURDO	NO	SI
PILOTO 6	Senior	17	DIESTRO	NO	SI
PILOTO 7	Senior	17	DIESTRO	NO	SI
PILOTO 8	Senior	15	DIESTRO	NO	SI
PILOTO 9	Senior	17	DIESTRO	NO	SI
PILOTO 10	Senior	17	DIESTRO	NO	SI
PILOTO 11	Senior	17	DIESTRO	NO	SI
PILOTO 12	Senior	18	DIESTRO	NO	SI
PILOTO 13	Senior	16	DIESTRO	NO	SI

3.2.5. Temporalización del estudio

El protocolo del estudio se diseñó y aprobó con el equipo del laboratorio de biomecánica de la *Facultat de Ciències de la Salut Blanquerna*. La selección de los músculos que se estudiaron se hizo después de una revisión de la literatura i en base a la revisión de videos de pilotaje de competición con cámaras *on board*. Se hizo una revisión visual de las acciones de los brazos en pilotos rodando, en circuitos “in situ” y se analizaron los problemas de fijación de los electrodos y equipos emisores. Un experto en biomecánica acudió al circuito con su equipo de recepción y procesó las señales de EMGS en el mismo momento que los pilotos rodaban con sus karts por el circuito.

Se procedió a la captación de pilotos junior voluntarios, que cumplieran los criterios de inclusión, una vez obtenida la autorización firmada del propietario y director del *Circuit de Karting de Sallent*, y revisadas las medidas de seguridad con su equipo humano de pista. Una vez obtenido el consentimiento informado de los pilotos y sus tutores legales, se iniciaron los registros a los pilotos, que facilitaron sus karts de competición con y sin marchas (Anexo 2).

La fase de experimentación en pista se inició el 27 de octubre del 2017 y la última sesión de captación de datos EMGS finalizó el 16 de febrero del 2018.

Posteriormente junto con el equipo del Laboratorio de Biomecánica de la *Facultat de Ciències de la Salut* se limpiaron los datos para su posterior análisis estadístico.

3.2.6. Material utilizado

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones del *Circuit de Karting de Sallent*. Cada piloto de la categoría Junior facilitó su kart con o sin marchas que utiliza habitualmente para el Campeonato de Cataluña de Karting. Los pilotos usaron los mismos equipos de seguridad personal y vestimenta reglamentaria homologada bajo las normativas CIK vigentes.

Para la recogida de datos electromiográficos, se utilizaron vendas de fijación para los electrodos y equipos de emisión de señal EMG, un ordenador portátil HP para la captación de señal en el circuito de karting, una cámara GoPro 7 Black con equipo de fijación en el casco del piloto (grabación en HD con resolución de 1080p a 30 fotogramas por segundo), electrodos de EMGS Ag-AgCl modelo EL503 de Biopac, y un electromiógrafo de superficie MP150 con el software AcqKnowledge 4 de Biopac Systems, California. La frecuencia de grabación fue de 1000 Hz. La señal recogida de cada canal en cualquier caso se filtró con una banda de paso de 10Hz -500Hz y un algoritmo de suavizado basado en el cuadrado medio de la raíz Root Mean Square (RMS), que se aplicó con una ventana de 50 ms. Se recogió la media en la amplitud de la señal EMGS procesando intervalos marcados en el trazado del circuito de karting marcados del 1 al 10 (Figura 9).



Figura 9. Vista aérea del Circuito de karting de Sallent con la sectorización por intervalos del trazado para las lecturas y registros EMGS.

3.2.7. Elección de los músculos

El pilotaje de karts requiere la actividad muscular de las extremidades superiores y tal y como se ha indicado anteriormente, la elección de los músculos que se analizaron se hizo en base a la necesidad del agarre al volante y a su rotacionalidad para realizar los giros, en función del trazado. Se seleccionaron los músculos más significativos, siendo evaluados en ambas extremidades superiores, teniendo en cuenta los siguientes criterios: (a) Priorizar los músculos grandes que presenten más actividad en el movimiento; (b) utilizar el total de canales que disponía el electromiógrafo, concretamente dos músculos por emisor disponiendo de cuatro emisores siendo ocho los músculos analizados a la vez (cuatro músculos por brazo); (c) seleccionar músculos que mantuvieran relación agonista y antagonista para disponer de sus actividades musculares más significativas sobre sus secuencias en la actuación requerida en el pilotaje; y (d) que la selección de estos músculos y la ubicación de los electrodos para la EMGS, así como la disposición de los emisores inalámbricos de señal fuera compatible y no alterara en absoluto la acción de pilotar el kart.

Los músculos seleccionados fueron:

- Haz flexor del antebrazo: músculo flexor común superficial de los dedos y flexor común profundo de los dedos. Flexor del carpo (ulnaris y radialis) y flexor largo del pulgar. Se abreviaron como FCRS (del brazo derecho) y FCLS (del brazo izquierdo).
- Haz extensor del antebrazo: extensor digital, braquioradial, extensor radial del carpo (longus y brevis). Se abreviaron como ECRS (del brazo derecho) y ECLS (del brazo izquierdo).
- Biceps braquial. Se abrevió como BBRS (del brazo derecho) y BBLS (del brazo izquierdo).
- Pronador redondo (Teres). Se abrevió como PRS (del brazo derecho) y PLS (del brazo izquierdo).

El equipo de EMGS dispone de cuatro emisores y permite evaluar un total de ocho músculos, lo que nos permitió analizar esta relación de músculos en ambos brazos a la vez en cada piloto.

3.2.8. Protocolo de las pruebas

Se detallaron los objetivos del estudio a todos los pilotos y a sus tutores legales. Se obtuvieron los documentos de consentimiento informado y se revisaron todas las medidas de seguridad del circuito.

Se rellenó la hoja de datos personales, detallándose el tipo de kart de cada piloto. Se procedió a la colocación de los electrodos para los EMGS en ambos brazos, mediante un orden establecido en la misma hoja de datos personales (Anex 4). Previa rasuración y desengrasado de la piel con alcohol, para evitar errores en la lectura de la señal, se situaron los electrodos en las ubicaciones anatómicas de referencia descritas por Eleanor Criswell (Criswell, 2011) de los vientres musculares descritos en el apartado anterior. Posteriormente, se protegieron los electrodos con una venda elástica no adhesiva para evitar ser arrancados durante la acción de pilotaje del kart. Estas tareas siempre las realizó el mismo investigador (Figura 10).

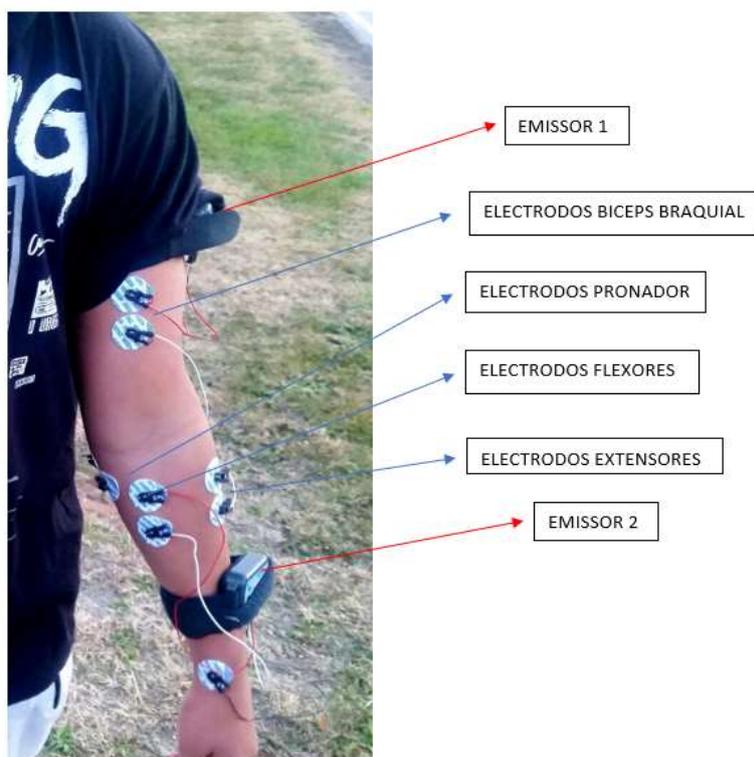


Figura 10. Detalle del brazo izquierdo de un piloto, con los electrodos en los vientres musculares en base a las ubicaciones anatómicas de referencia, descritas por Eleanor Criswell. (Criswell, 2011).

Se provó el equipo de registro EMGS en el circuito, para garantizar la mejor captación de señal y asegurar las medidas de seguridad requeridas. Se explicó a cada piloto que debería realizar 4 vueltas seguidas en el mismo trazado del circuito. La toma de datos se realizó piloto a piloto en condiciones de pista iguales, con el asfalto seco y siempre con sus respectivos karts de competición.

Para constatar la correcta colocación de los electrodos en cada estructura muscular y verificar el correcto funcionamiento del equipo de EMGS, cada piloto, antes de subirse al kart, realizó un registro EMGS con la Contracción Voluntaria Máxima (CVM) de cada músculo analizar, de forma bilateral. Primero, se enseñó con retroalimentación visual, el

tipo de contracción necesaria para cada músculo y posteriormente se pidió la realización de una única CVM de 10 segundos. Se seleccionaron los 3 segundos de mayor actividad eléctrica. Este valor se registró para disponer del valor máximo de señal muscular siendo clave para el posterior análisis de la actividad muscular en la acción de pilotaje, ya en pista. Dicha acción fue llevada a cabo por los mismos investigadores del estudio: uno llevó a cabo las resistencias manuales de las estructuras musculares analizar, y el segundo registró y verificó la correcta señal EMG durante la CVM, usando también un protocolo específico para la misma de cada uno de los músculos a objeto del estudio (Anexo 5). Una vez finalizados estos registros, el piloto se equipaba y salía a la pista con su kart de competición y con las cámaras grabando on board (Figura 11).



Figura 11. Detalle del análisis de flexores de codo en contracción isométrica máxima, en uno de los pilotos de karting, con su registro EMG previo a subir al kart de competición para realizar el siguiente análisis en pista

La primera de las vueltas se realizó como calentamiento y reconocimiento del estado del trazado para el piloto. También se utilizó para verificar la correcta emisión y recepción de señal del equipo de EMGS. El registro de las tres vueltas posteriores se utilizó para el estudio al máximo rendimiento de pilotaje, simulando competir en cada una de las tres vueltas.

Este protocolo se complementó con el registro de videos con las cámaras GoPro *on board*, fijada en el casco de cada piloto, y enfocando específicamente los brazos del piloto y quedando registrados todos los movimientos realizados en las tres vueltas al circuito, tramo a tramo, curva a curva.

Toda la comunicación una vez los pilotos se hallaban en la pista, se realizó con uso de pizarras de competición desde pie de muro, siendo este sistema el usado por reglamento y en base a la seguridad del personal de pista.

3.2.9. Realización de las pruebas

Los movimientos analizados fueron los realizados en el pilotaje de un kart de competición: acciones en el volante y acciones de cambio de marchas. Se analizaron ambos brazos del piloto.

El estudio se realizó respetando el sentido habitual de competición del mismo, usando el trazado homologado para las competiciones.

La sectorización del circuito en 11 tramos (Figura 12) facilitó el análisis EMG y la selección de imágenes *on board*, sabiendo en todo momento por donde pasaba el kart y la información registrada desde el “set” de registro EMG (Figura 13). Cada sector tenía solicitudes de pilotaje para seguir el trazado de competición.



Figura 12. Detalle de los diferentes sectores del circuito de Sallent.

La descripción de cada sector y emplazamiento del “set” de registros EMG y coordinación en pista, fue la siguiente:

Sector 1-2: Recta de principal de salida con curva de derechas cerrada después de la frenada de final de recta.

Sector 2.3: Curva de izquierdas larga e abierta.

Sector 3-4: Curva de izquierdas cerrada.

Sector 4-5: Curva de derechas cerrada.

Sector 5-6: Curva de derechas abierta.

Sector 6-7: Segunda Recta larga del circuito.

Sector 7a-7b: Chicane (eses rápidas después de la recta).

Sector 7b-8: Doble curva de derechas hasta una ligera curva de izquierdas.

Sector 8-9: Curva cerrada de izquierdas.

Sector 9-10: Curva cerrada de derechas para enlazar con sector 1 (10).

Meta: Recta, detalle del emplazamiento del “set” de registros EMG y coordinación en pista del kart.



Figura 13. Detalle del set de captación y lectura EMG a pie del circuito.

3.2.10. Sincronización de los datos obtenidos

Una vez completada la fase de registro EMG en pista de los trece pilotos, se pasó a trabajar con los datos obtenidos. Estos datos se trasladaron a una hoja de cálculo Excel,

diseñada por el investigador que realizó los registros en pista. Se dividieron los datos de cada piloto en base a los músculos analizados de cada brazo y en cada sector del circuito, y en cada una de las tres vueltas. Posteriormente se analizó la sincronización con los videos de las cámaras *on board* de los pilotos (Figura 13). De esta forma se podían seleccionar las gráficas de la actividad eléctrica de los músculos de forma aislada por brazo o conjuntamente y observar en qué momento exacto del movimiento correspondía cada valor de la actividad muscular.

3.2.11. Análisis de datos

Se ha llevado a cabo un análisis descriptivo para todos los datos recogidos en los registros de datos EMG. En el caso de la variable respuesta muscular EMG, se comprobó si los datos seguían una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilk, juntamente con los gráficos de normalidad (Q-Q plot) y los estadísticos de asimetría y curtosis. La variable EMG mostró importantes vulneraciones de los principios de normalidad, con fuertes asimetrías y curtosis positivas, siguiendo una distribución gamma. Para minimizar estas asimetrías se probaron algunas transformaciones como: raíz cuadrada, logaritmo en base 10 (Log_{10}) y logaritmo neperiano (Ln) pero no se consiguieron minimizar por completo estas asimetrías. Por eso, todas las variables descriptivas se han descrito mediante mediana (M_d), rango intercuartílico (RIQ), valor máximo y el mínimo. Las variables categóricas, se han descrito mediante las frecuencias y los porcentajes.

Dadas las características de los datos, para realizar los análisis estadísticos se han utilizado modelos lineales mixtos generalizados (glmm), ajustados a una distribución gamma. Los modelos lineales mixtos tienen la ventaja de que además de declarar factores fijos (variables explicativas) que modelan la media, permiten declarar factores aleatorios, que modelan la covarianza. El factor aleatorio declarado ha sido el piloto, de esta manera se normalizan los datos entre individuos, eliminando del modelo las diferencias individuales como el valor de referencia. Para analizar las diferencias entre los factores de cada variable explicativa y las interacciones entre variables, se han utilizado test de Tukey.

El primer modelo se ha utilizado para analizar si existen diferencias significativas en la actividad muscular en relación al tipo de kart (con marchas y sin marchas), el número de vueltas y las características del piloto (brazo dominante, diestro o zurdo). Las mediciones de cada piloto se han declarado como factor anidado dentro del factor aleatorio piloto, para que el modelo estadístico interprete que cada muestra (vuelta) está asociada a una unidad muestra (piloto) y no son medidas independientes.

Con el objetivo de realizar un análisis más específico, se ha utilizado un segundo modelo para analizar si existen interacciones y diferencias significativas en la actividad muscular EMG de cada uno de los grupos musculares estudiados en ambos brazos y en relación al tipo de tramo (categorizando en 4 categorías: Curva de izquierda (CI)= (Sector 3-4), Curva de derecha (CD)= (Sector 4-5), Recta (RE)= (Sector 1-2) y Chicane (CH)= (Sector 7a-7b).

Después, ambos modelos se han combinado con el objetivo de ver el efecto del tipo de kart (con o sin marchas) sobre la actividad muscular de cada grupo muscular en ambos brazos para cada tipo de tramo.

Por último, se han seleccionado dos curvas cerradas, una de izquierdas (CI)= (Sector 3-4) y otra de derechas (CD)= (Sector 4-5) para analizar si existen interacciones y diferencias significativas en la actividad muscular de cada uno de los grupos musculares del brazo correspondiente al sentido de la curva, en relación al brazo dominante del piloto (zurdo o diestro) en karts sin marchas.

En todas las pruebas estadísticas realizadas se han utilizado un nivel de significación de 5% ($\alpha= 0,05$). Para el análisis estadístico de los datos se ha utilizado el programa estadístico R-Studio versión 1.1.383 (RStudio, Inc. con los paquetes lme4 y emmeans).

3.2.12. Publicación

Delmuns, S., Fernández-Prieto, I., Vidal García, E., Milà-Villaruel, R., Rey Abella, F., González-Crespo, C., Giné-Garriga, M. Electromyographic study of arm muscle activity in kart drivers competing in the senior category. Journal of Electromyography and Kinesiology [submitted].

Artículo enviado a la revista *Journal of Electromyography and Kinesiology*.

Electromyographic study of arm muscle activity in kart drivers competing in the senior category

^{1,2}Salvi Delmuns Carvajal, P.T., M.S.; ²Isabel Fernández-Prieto, Ph.D; ^{2,3}Eulàlia Vidal García, Ph.D; ¹Raimon Milà-Villarroel, Ph.D; ¹Fernando Rey Abella, Ph.D; ⁴Carlos González-Crespo, Ph.D; ^{1,2,5}Maria Giné-Garriga, Ph.D

1. Blanquerna Faculty of Health Sciences (Universitat Ramon Llull), Department of Physical Therapy. Barcelona, Spain. E-mail address: salvidc@blanquerna.edu; raimonmv@blanquerna.url.edu; ferranra@blanquerna.url.edu
2. Researcher of the Health, Physical Activity and Sport Research Group (SAFE). E-mail address: isabelfp.fcsb@gmail.com
3. Blanquerna Faculty of Health Sciences (Universitat Ramon Llull), Department of Pharmacy. Barcelona, Spain. E-mail address: eulaliavg@blanquerna.edu
4. Wildlife Ecology & Health Group and Wildlife Ecopathology Service (SEFaS), Veterinary Faculty, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Department of Medicine and Animal Surgery. Bellaterra, Barcelona, Spain. E-mail address: carlosgonzocrespo@gmail.com
5. Blanquerna Faculty of Psychology, Education and Sport Sciences (Universitat Ramon Llull), Department of Sport Sciences. Barcelona, Spain. E-mail address: mariagg@blanquerna.edu

Corresponding author:

Salvi Delmuns Carvajal. Blanquerna Faculty of Health Sciences (Universitat Ramon Llull), Department of Physical Therapy. Padilla, 326-332. 08025 Barcelona, Spain. E-mail address: salvidc@blanquerna.url.edu. Telephone number: 003493253 31 10; Fax number: 0034932533086.

Keywords: Competitive karting; electromyography; muscular activity; risk of injury; adolescents

ABSTRACT

We aimed to assess the muscular activity of the upper limbs in competitive kart drivers, using surface electromyography (SEMG). Thirteen senior category drivers from Barcelona (Spain) voluntarily participated in this cross-sectional study. The most significant muscles of the upper limbs while driving were selected, and their muscular activity was assessed in a closed circuit. Linear mixed models, adjusted to a gamma distribution, were used to determine differences in muscle activity based on: (a) number of laps; (b) arm; (c) characteristics of the racing circuit; and (d) type of kart (with/without gears). Significant differences were found between muscle activity depending on the kart type ($p < 0.0001$). Although changes were observed in the mean SEMG values, there were no significant differences between the laps of the circuit or the dominant arm. However, the results showed that there was a significant interaction between the kart type and the dominant arm ($p = 0.021$), indicating significant differences between the two kart types for the dominant arms ($p < 0.0001$). There were differences in muscle activity in the drivers' upper limbs assessed with SEMG, while driving karts with or without gears. Muscle activity increased more significantly when the curves were traced on the drivers' dominant sides.

INTRODUCTION

A competition kart is a type of four-wheeled motor sport, in which users begin to compete at a very young age. This sport modality has been the initial training of many current Formula1 drivers (Sanches, J.D, 2007). A kart is a land vehicle with or without bodywork, with four non-aligned wheels that are in contact with the ground (track). Two wheels ensure driving and the other two the locomotion (Federatiu et al. 2019).

Karting has been endowed with safety-related strict rules to compete. Riders should wear safety equipment (cervical collar, chest protector, flame-retardant and non-slip coveralls, high-top shoes, and roll bars in karts) that should be officially approved, technically checked, and adjusted to each driver, as well as the seat and pedals (Reglament 2018). The aim of these passive safety elements is to prevent injuries and minimise their severity in the event of accidents. Even though its competitive practice poses several risks (Muñiz Fontán et al. 2010), there are few studies addressing the incidence, the cause and severity of injuries in this modality.

A study conducted with drivers aged between seven and fifteen years assessed the type and severity of injuries suffered in competitive karting in Catalonia, Spain, and concluded that the incidence of injuries was relatively low, and mostly located in the upper limbs (Salvi 2014). More studies had been conducted in leisure karting which report a higher incidence of injuries, some of which were considered serious (Ahmad et al. 2011) (Bley & Gahr 2002) (Adler P. 2000).

Surface electromyography (SEMG) has been widely used in clinical practice to assess and record the electrical activity produced by skeletal muscles (Ariot 2010) (Ahmad et al. 2011) (Bley & Gahr 2002). SEMG is performed using an instrument called 'electromyograph' that detects the electric potential generated by muscle cells when these cells are electrically or neurologically activated. The signals can be analysed to detect medical abnormalities, activation level, or recruitment order, and to analyse the biomechanics of sports performance (Kamen & Gabriel 2010) (De Luca & Merletti 1988) (Balestra et al. 2001). Specifically, the applications of SEMG within the field of sport are assessment of gestures, gait, fatigue, and muscle activity during a diagnostic or therapeutic process, and has acquired increasing importance in sports medicine and in ergonomic studies (Cavalcanti Garcia & Vieira 2011). It thus facilitates myofeedback techniques, evaluation of sports performance, assessment of neuromuscular disorders and co-activation (Gandevia 2001) (Farina 2006).

Based on the lack of related studies, the main goal of our study was to assess muscular activity in the upper limbs of adolescent drivers performing in karting competitions (senior

category) during their driving action, assessed using SEMG. Specifically, we intended to: (a) assess muscle activity differentials based on the number of laps performed, noting possible evidence of muscle fatigue; (b) assess the differences in SEMG values of the drivers' arms according to the different driving tasks in the circuit; (c) determine the interrelationships between the different muscles of the arms when driving competition karts; (d) compare the differences between muscular activity patterns of the arms, according to the driving tasks and actions depending on the type of kart layout; and (e) observe the effect of the type of kart (with or without gears) on the muscular activity of each muscle group in both arms considering each type of circuit sector.

METHODS

Participants

Thirteen competitive karting drivers from the province of Barcelona (Spain) volunteered to participate in the present cross-sectional study. These drivers competed in the senior category. The objectives and characteristics of the study were previously reported to the Sallent Karting Circuit Drivers Association, which was in charge of inviting all the drivers who met the inclusion criteria. The participants were informed about the rights granted by the data protection law and signed the corresponding informed consent forms. In the case of underage participants, the forms were also signed by their parents or legal guardians. The study was approved by the Research Ethics Committee of the Blanquerna Faculty of Psychology, Education and Sports Sciences (Ramon Llull University).

The inclusion criteria for the selection of the participants were: (a) belonging to the Karting senior category based on the competition regulations of the International Karting Committee, and in force in the Catalan Karting Championship; (b) not receiving treatment for injuries of the upper limbs; (c) not having previously suffered any injury in the upper limbs; (d) participants should know the layout of the Sallent Karting Circuit.

Choice of muscles

Karting requires the activity and participation of the upper limb muscles, according to the driver grip on the steering wheel, and the rotation into the curves that each driver performs, in addition to the layout (curves) of the circuit. Based on these parameters, the most significant muscles were selected for assessing both arms, taking into account the following criteria: (1) prioritising large muscles (which are the most active); (2) use the total available channels of the electromyograph, specifically two muscles per emitter, having four emitters, with eight muscles being analysed at the same time (4 muscles per arm); (3) selection of muscles that maintain an agonist/antagonist relationship to have

their most significant muscular activities on the sequences in the performance required for driving; (4) that the selection of these muscles and the location of the electrodes for SEMG, as well as the arrangement of the wireless signal transmitters, should be compatible without altering the driving action of the kart.

The selected muscles were: a) Forearm flexor muscle: superficial and deep finger flexors, flexor carpi (ulnaris and radialis), and long flexor muscle of the thumb, abbreviated as FCRS (for the right arm) and FCLS (for the left arm); b) Forearm extensor muscle: extensor digitorum, brachioradialis, extensor carpi radialis (longus and brevis), abbreviated as ECRS (for the right arm) and ECLS (for the left arm); c) Biceps brachii abbreviated as BBRS (for the right arm) and BBLS (for the left arm); d) Round pronator muscle (teres minor) abbreviated as PRS (for the right arm) and PLS (for the left arm).

Circuit

The division of the circuit in 11 sectors (Figure 1) facilitated the analysis of EMG and images 'on board'. The locations of the karts during the test were obtained using the information from the 'set' of EMG records. Each sector had driving demands to follow the competition layout. The description of each sector and location of the 'set' of EMG records, and track coordination is detailed in Figure 1.

Figure 1

Procedure

Once the study protocol was approved, we selected the muscles in which the EMG readings would be collected. The choice of muscles was determined based on previous competition videos from on-board cameras, which offered visual review of the most common actions of the upper limbs of the drivers. Electrode placement and emitting equipment were also analysed, as well as the location in the circuit and processing of the EMGS signals, following the recommendations of the biomechanics expert with the reception team at the time the participants were driving their karts.

With the signed authorisation of the owner and director of the Sallent Karting Circuit, the security measures of the drivers, circuit and karts were reviewed together with the track team members. A document specifically designed was used to collect the data. Karts without and with gears were used for the senior category of the Catalan Karting Championship. All drivers used the same personal safety equipment, and wore regulatory clothing approved under the current International Karting Committee regulations. Bandages for electrode placement and MP150 surface electromyograph with AcqKnowledge 4 software from Biopac Systems, (California, USA) were used, along

with HP laptop for signal reception in the karting circuit, GoPro 7 Black camera fixed on the drivers' helmets, with HD recording, 1080p resolution, and 60 frames per second. The recording frequency was 1000 Hz. The signal collected from each channel was filtered with a 10Hz-500Hz pass-band and a smoothing algorithm, based on the root mean square (RMS), which was applied with a window length of 50 ms. the mean amplitude of the SEMG signal was collected by processing marked intervals on the karting circuit layout from one to ten.

The electrodes were placed on the muscle bellies, choosing the reference anatomical locations described by Eleanor Criswell (Criswell 2011). The placement of the electrodes was performed by the same researcher in order to avoid possible modifications in the placement and collection of the SEMG signal.

To verify the correct placement of the electrodes in each muscular structure and the correct functioning of the SEMG equipment, each driver was asked to perform an SMGS recording before getting into the karts. A maximal isometric contraction of all target muscle structures was requested to the drivers. This previous measurement of the isometric contraction record was performed to have the reference of maximum muscle activity, this value being a key for the subsequent recording and analysis of muscle activity when driving in the circuit. This verification and registration process was always carried out by the same two researchers. Then, each driver received the specific details related to the test: the first lap was used as a warm-up and recognition of the circuit layout, as well as to check the correct emission and reception of the signal from the SEMG team. Subsequently, the drivers were asked to attempt the maximum driving performance during the next three laps of the circuit, pretending they were competing in each one of them.

This protocol was complemented with the recording of videos by the GoPro on-board cameras, fixed on the helmet of each driver, focusing specifically on the drivers' arms, and recording all the movements made in the three laps of the circuit.

Once the drivers were in the circuit, communication was done through the use of competition boards at the trackside. The on-track experimentation phase began on 27th October 2017, and the last SEMG data collection session ended on 16th February 2018.

Data analysis

A descriptive analysis was used for all the data collected in the EMG data records. In the case of the variable 'EMG muscle response', it was determined whether the data followed a normal distribution using the Shapiro-Wilk test, together with the normality

graphs (Q-Q plot) and the asymmetry and kurtosis statistics. The variable 'EMG' showed significant violations of the principles of normality, with strong asymmetries and positive kurtosis, following a gamma distribution. In order to minimise these asymmetries, some transformations were tested, such as square root, base-10 logarithm (Log10) and Nepierian logarithm (ln), but these asymmetries were not completely minimised. Therefore, all the descriptive variables were explained by median (Md), interquartile range (IQR), and maximum and minimum value. The categorical variables were described by frequencies and percentages.

We used generalised linear mixed models (GLMM) fitted to a gamma distribution. Tukey test was used to assess the differences between the factors of each explanatory variable and the interactions between variables.

The first model was used to assess whether there were significant differences in muscle activity relating to the type of kart (with gears and without gears), the number of laps, and the characteristics of the drivers (dominant arm, right-handed or left-handed). The measurements of each driver were considered as a nested factor within the random factor 'driver', so that the statistical model could interpret that each sample (lap) was associated with a sample unit (driver) and were not independent measures.

In order to perform a more specific analysis, a second model was used to assess whether there were significant interactions and differences in EMG muscle activity of each of the muscle groups studied in both arms, and related to the type of circuit sector (categorised into four categories: (1) Left curve (LC) = (Sector 3-4); Right curve (RC) = (Sector 4-5); Straight (ST) = (Sector 1-2); and Chicane (CH) = (Sector 7a-7b).

Then, both models were combined in order to determine the effect, according to the type of kart (with or without gears), on the muscular activity of each muscle group, in both arms for each type of circuit sector.

Finally, two sharp curves were selected, one on the left (LC) (Sector 3-4) and the other on the right (RC) (Sector 4-5) to analyse whether there were significant interactions and differences in muscle activity of each muscle group of the arms that corresponded to the direction of the curves, with respect to the drivers' dominant arm (left-handed or right-handed) in karts without gears.

A significance level of 5% ($\alpha = 0.05$) was used in all the statistical tests performed. The statistical programme R-Studio version 1.1.383 (RStudio, Inc. with the lme4 and emmeans packages) was used for the statistical analysis of the data.

RESULTS

Thirteen drivers participated in the present study (mean = 16.7 years old; range = 14-18). Four of them drove the two types of karts (with and without gears), and the rest of the drivers drove karts without gears. Two drivers were left-handed and eleven right-handed.

General muscular activity in piloting technique

The results obtained in the analysis of the first model (Table 1; Figure 2) indicated that there was statistical significance in the comparison of muscle activity with respect to the type of kart ($p < 0.0001$). Even though changes were observed in the mean EMG values, there were no significant differences between the laps of the circuit ($p = 0.647$), nor the dominant arm ($p = 0.431$). However, the results indicated that there was a statistically significant interaction between the type of kart (with and without gears) and the dominant arm ($p = 0.021$), showing significant differences between the two types of karts for each dominant arm ($p < 0.0001$). Based on the results of this interaction, a left-handed driver using a kart with gears reached almost twice the performance in muscular work ($p = 0.076$) than a right-handed driver with the same type of kart ($p = 0.043$).

Table 1

Figure 2

Specific muscle activity in driving technique

The analysis of the second model indicated statistical significance in the results obtained (Table 2; Figure 3) by the comparison of muscle activity in each muscle group assessed in both arms ($p < 0.0001$) and with respect to the type of circuit sector (4 categories: left curve, right curve, straight and chicane) ($p < 0.0001$).

Table 2

The results obtained in the comparison of the mean values of EMG activity in the muscle groups assessed in both arms (Table 2) indicated significant differences between the right and left arms for the same muscle group. In the left arm, there were significant differences between all the muscle groups, except between ECLS-PLS and FCLS-PLS. In the right arm, the highest value belonged to PRS and the lowest to FCSR, with significant differences between BBRS-FCRS, ECRS-PRS and FCRS-PRS. The results indicated significant differences between the mean values of EMG activity in each type of sector except between CD-CH, being classified into three levels based on the EMG values (from highest to lowest): a) CI; b) RE; c) CD & CH.

The results obtained show that, in the second model, there were statistically significant interactions (Figure 3) between the muscle groups in both arms of each pilot and the type of circuit sector ($p < 0.0001$), which indicated significant differences between the muscles in each type of sector, and in each muscle group between sector types.

Figure 3

The comparison of the mean values of EMG activity in the muscle groups between both arms, for each type of circuit sector, indicated significant differences between the same muscle group of the left and right arms, in each type of circuit sector (RC, CH, ST; $p < 0.0001$), except for all muscle groups driving into the left curves (LC), with mean EMG values higher in the left arm than in the right one.

Differences and interactions between muscle groups depending on the circuit sector

We compared the mean values of the EMG activity in each muscle between the different types of circuit sector (Table 3) and found that there were significant differences for all the muscles of the left arm ($p < 0.0001$ in all the muscles), but there were no significant differences in none of the muscles of the right arm. When we compared the mean values of the EMG activity between the different muscles for the same type of circuit sector, we found that there were significant differences in the activity of the muscle groups in each type of sector.

Table 3

Differences depending on the type of kart in each type of circuit sector

The results obtained by the analysis of the third model (Table 4) indicated that there was statistical significance when comparing the muscle activity of each muscle group assessed in both arms ($p < 0.0001$) with respect to the type of circuit sector ($p < 0.0001$) and the type of kart ($p = 0.002$). There were statistically significant interactions between the muscle groups in both arms of each driver and the type of circuit sector ($p < 0.0001$), between the muscle groups in both arms of each driver and the type of kart ($p < 0.0001$), between the type of kart (with or without gears) and the type of circuit sector ($p < 0.0001$), and between the muscle groups, the type of kart, and the type of circuit sector ($p < 0.0001$). The analysis of the effect of kart type on the EMG activity of the muscle groups in each type of circuit sector indicated that the type of kart had a significant effect on all muscles and in all types of sectors, except ECRS in LC, FCRS in CH and FCLS in ST.

Table 4

Differences and interactions between muscle groups in the arms corresponding to the direction of the curves

Finally, in the fourth model, in which two sharp curves were selected, one on the left (LC; sectors 3-4) and the other on the right (RC; sectors 4-5), for karts without gears, the analysis of the differences in the muscle activity of each muscle group in the arms corresponding to the direction of the curves, with respect to the drivers' dominant arm, indicated that, in both analyses, there was statistical significance in the muscle group (LC, $p < 0.0001$; RC, $p = 0.000$); however, there were no differences with respect to the dominant arm (LC, $p = 0.293$; RC, $p = 0.971$).

The results indicated that there were significant differences in muscle activity when comparing the EMG activity of BBLS-ECLS, BBLS-FCLS, ECLS-PLS, FCLS-PLS driving into the LC, and BBRS-FCRS and FCRS -PRS into the RC. There were no significant differences in the muscular activity of the rest of the muscle groups, nor when comparing left-handed and right-handed drivers (Table 5).

Table 5

DISCUSSION

The results obtained in the present study indicated differences in muscle activity assessed with EMG of the muscles selected in the upper limbs for driving karts with and without gears. Muscle activity increased most significantly when the curves were traced on the drivers' dominant sides.

No muscle fatigue markers were found. A specific study on competition karting that assessed metabolic energy expenditure and heart rate response found that at least a 45-minute ride was required to reach 82% of the maximum heart rate (Durand et al. 2015), suggesting the need for a greater number of laps.

Our results indicated that the dominant side of the drivers did not prevail over the voluntary motor activity of the arm on the same side as the direction of the curve (Criswell 2011)(Durand et al. 2015). This fact was possibly due to a process of anticipation, which is defined as the ability to predict behaviours thanks to the perception and synchronisation of synaptic interconnections that give rise to movements (Hernández et al. 2011). This ability to anticipate has been established as one of the greatest skills that athletes acquire due to the sensitivity of perception and the ability to capture and process information in a limited time. (Abernethy et al. 2012). The results obtained allowed us to

consider the automated system described as a useful tool for sports research and future applications in training programmes and injury prevention (Hernández et al. 2011).

In karts with gears, the muscles of the left arm follow the layout of the circuit and positioning of the kart, while the right arm selects the gears using the gear lever and punctually grasping the steering wheel. The results of the SEMG signals indicated greater muscle activity when driving karts with gears than that applied in karts without gears, including their technical and mechanical performance differentials. In karts without gears, both hands grip on the steering wheel permanently, symmetrically performing the same muscular work in both arms. The results of this study can facilitate more specificity in the training and physical preparation of the drivers according to the type of kart they use. In addition, they indicate the need to design specific training programmes, as suggested in previous studies (Backman et al. 2005) (Hoyes & Collins 2018).

The results of the present study confirm the importance of the biceps brachii muscle for driving karts. This muscle is biarticular and its action is related to elbow flexion, shoulder flexion, and supination, which allows alternating asymmetric movement when both hands are gripping the wheel. This is a key action when driving karts without gears, given that both hands grip on the wheel throughout the circuit, unlike karts with gears (Irvine & Neumann 1993).

This greater activity of the muscle groups of the right arm may have its origin in the use of the gear lever of karts. The need for pronation in the release and grip of the gear lever of this type of karts provided results that show key differences for driving the two types of competition karts. The results of the present study indicated voluntary muscle activation of the same arm on the side of the curves traced on the drivers' dominant side, for all types of curves. This fact was possibly due to the same anticipation process described above (Hernández et al. 2011). Simon et al. (2019) recently published a study conducted in a simulator with four formula drivers. They found changes in visual behaviour or cervical mobility and anticipation in drivers without vehicles ahead of them (free track) or with them (pursuit). Our study found a reduction in fatigue rates in the neck muscles when drivers followed another vehicle, suggesting a reduction in head movements when taking that vehicle as reference/anticipation (Rosalie & Malone 2019).

With respect to the left arm, in LC, increased activity was observed in the BLS and ECLS muscles with the PLS of the same left arm, and also the PRS of the right arm. Based on these results, the aforementioned finding was also repeated and ratified with respect to muscle activation on the same side of the direction of the curve (Criswell 2011)

(Durand et al. 2015). Outstandingly, the PRS of the right arm seemed to assist steering wheel motion in LC (Pick & Cole 2008).

The muscular activity of all muscles of the right arm in ST was higher than in RC for the same arm, without significant differences. This finding can be explained by the aforementioned due to neurological anticipation, and because it is in the straights where there is maximum power delivery and maximum speed with maximum deceleration due to final braking (Criswell 2011) (Durand et al. 2015).

A major limitation of the present study was that the limited sample size. Karting is one of the grassroots sports with the highest economic costs, which implies a reduced number of participants in comparison to other sports modalities. Another limitation was the number of laps assessed, which was insufficient to detect symptoms of fatigue.

The selection of the muscles studied with EMG in the present study can be useful for further studies addressing different modalities of motor racing. Anticipation relating to the type of curve, which prevails over the dominant arm of the drivers, is an important finding. The muscular activity of both arms in the karts without gears did not exhibit significant differences. In karts with gears, the left arm controls the vehicle through the steering wheel, while the right arm controls the gear lever. In the left-handed drivers, a greater electromyographic activity was detected in the right arm (non-dominant arm), indicating a possible ergonomic alternative in the design of karts for left-handed drivers with the gear lever on the left side. Further studies should expand the number of laps, in order to assess muscular activity at the moment of the onset of fatigue in the studied muscles. Results from this study may allow designing better preventive programmes to reduce injuries and improve performance, with greater specificity for kart drivers.

ETHICS APPROVAL AND CONSENT TO PARTICIPATE

The study was approved by the Ethics Committee of Blanquerna Faculty of Psychology, Education and Sport Sciences (Universitat Ramon Llull). The present study fulfilled the ethical guidelines for research according to the declaration of Helsinki. Adolescents participating in the study and their parents were informed about the study procedures before signing an informed consent form. The participants had the option to withdraw from the study at any time and without consequences.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are thankful to the voluntary participants for their support and collaboration.

REFERENCES

- Abernethy, B. et al., 2012. Perceptual training methods compared: The relative efficacy of different approaches to enhancing sport-specific anticipation. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 18(2), pp.143–153.
- Ahmad, M. et al., 2011. The Isadora syndrome: A case report of cervical, oesophageal and tracheal transection in a go-karting accident. *British Journal of Neurosurgery*, 25(2), pp.310–312.
- Adler P., 2000. Go-kart related injuries and deaths to children..
<https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/go-kart.pdf>.
- Ariot, J.E.A.N.I.M., 2010. O -w r c d : e c p . , 24(11), pp.2927–2932.
- Backman, J. et al., 2005. Neuromuscular performance characteristics of open-wheel and rally drivers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), pp.777–784.
- Balestra, G. et al., 2001. Time-frequency analysis of surface myoelectric signals during athletic movement. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 20(6), pp.106–115.
- Bley, T. & Gahr, R.H., 2002. Risks and injuries of go-karting. *Zentralblatt für Chirurgie*, 127(6), pp.523–526.
- Cavalcanti Garcia, M.A. & Vieira, T.M.M., 2011. Surface electromyography: Why, when and how to use it. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 4(1), pp.17–28.
- Criswell, E., 2011. Cram's Introduction to Surface Electromyography. *Jones and Bartlett Publishers*, pp.338–371.
- Durand, S. et al., 2015. Bioenergetical and cardiac adaptations of pilots to a 24-hour team kart race. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), pp.3234–3239.
- Farina, D., 2006. Interpretation of the surface electromyogram in dynamic contractions. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 34(3), pp.121–127.
- Federatiu, D. et al., 2019. Campionats, copes, trofeus i challenges de Catalunya de kàrting reglament esportiu 1.1. , pp.1–31.
- Gandevia, S.C., 2001. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), pp.1725–1789.
- Hernández, E. et al., 2011. Efecto de la aplicación de un sistema automatizado de proyección de preíndices para la mejora de la capacidad de anticipación en jugadoras de voleibol. *Revista de Psicología del Deporte*, 20(2), pp.551–571.
- Hoyes, K. & Collins, D., 2018. Fit to race: Identifying the balance, type and sources of knowledge in fitness for Motorsport. *International Journal of Sports Science and*

- Coaching*, 13(5), pp.751–760.
- Irvine, U.C. & Neumann, D.A., 1993. *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation*, Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-03989-5.00015-8>.
- Kamen, G. & Gabriel, D.A., 2010. Essentials of Electromyography. *Essentials of Electromyography*, pp.1–15, 155–167.
- De Luca, C.J. & Merletti, R., 1988. Surface myoelectric signal cross-talk among muscles of the leg. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69(6), pp.568–575.
- Muñiz Fontán, M., Martín Torres, N. & Rodríguez Núñez, A., 2010. ¿Son seguros los karts? *Anales de Pediatría*, 72(1), pp.91–92.
- Pick, A.J. & Cole, D.J., 2008. A mathematical model of driver steering control including neuromuscular dynamics. *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME*, 130(3).
- Reglament, E.D.E.L., 2018. Reglament tècnic karting 2018.
- Rosalie, S.M. & Malone, J.M., 2019. Do Racing Drivers Practice Racing? The Effect of Intentional Following on Formula Car Drivers' Steering Behavior. , pp.164–183. Available at: https://www.journalofexpertise.org/articles/volume2_issue3/JoE_2019_2_3_Rosalie_et al.html.
- Salvi, D., 2014. Epidemiological Study of Injuries Arising from Karting Competition in Children. *Journal of Community Medicine & Health Education*, 4(4).
- Sanches J.D., 2007. *The karting manual: the complete beginner's guide to competitive kart racing*. Sparkford: Haynes.

Las figuras y tablas del artículo no siguen el orden numérico de las tablas y figuras de la tesis.



Figure 1. Detail of the different sectors of the Sallent Karting Circuit. The study was conducted respecting the usual sense of competition, using the approved layout for competitions.

Note. Sector 1-2: Main exit straight with a sharp right curve after braking at the end of the straight; Sector 2-3: Long and open left curve; Sector 3-4: Sharp left curve; Sector 4-5: Sharp right curve; Sector 5-6: Open right curve; Sector 6-7: Second long straight of the circuit; Sector 7a-7b: Chicane (fast turns after the straight); Sector 7b-8: Double curve to the right until a slight curve to the left; Sector 8-9: Sharp curve to the left; Sector 9-10: Sharp curve to the right to link with sector 1; Goal: Straight-Detail of the location of the EMG records set and coordination of the karting circuit. Figure 4 shows the circuit and its different sectors.

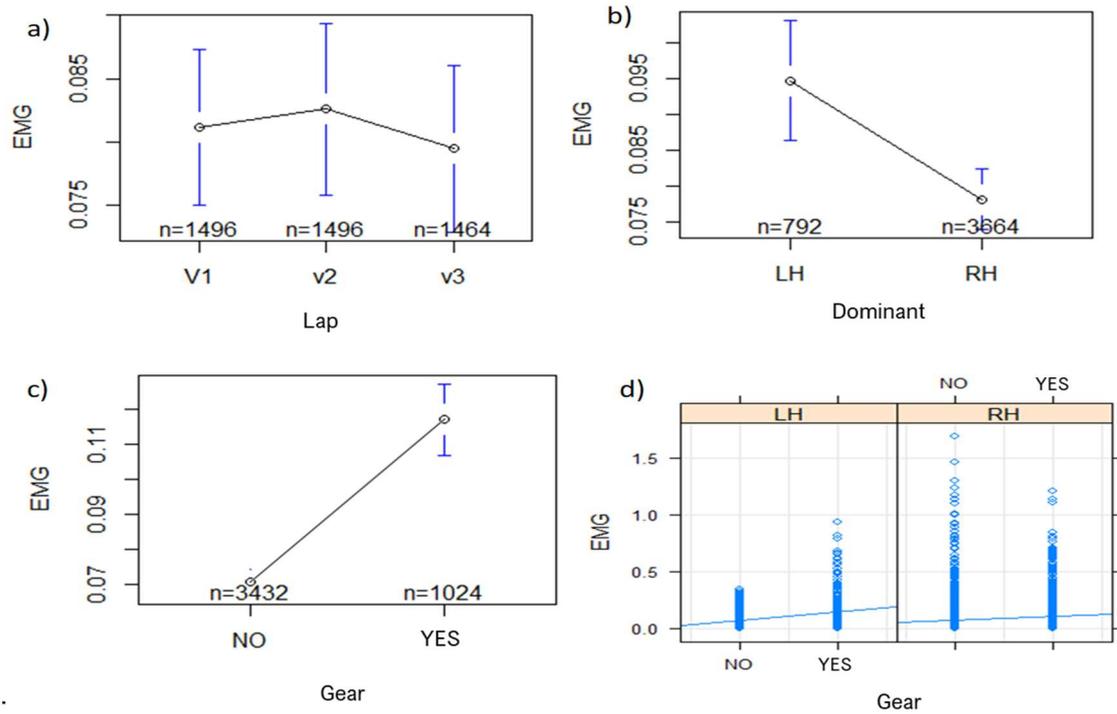


Figure 2. Mean values of EMG activity for (a) lap; (b) dominant arm; (c) type of kart (with or without gears); and (d) interaction of the factors of the variables 'dominant arm' and 'type of kart'.

Note. Blue line indicates the trend and the mean at the intersection.

L1 = lap 1; L2 = lap 2; L3 = lap 3; LA = left arm; RA = right arm.

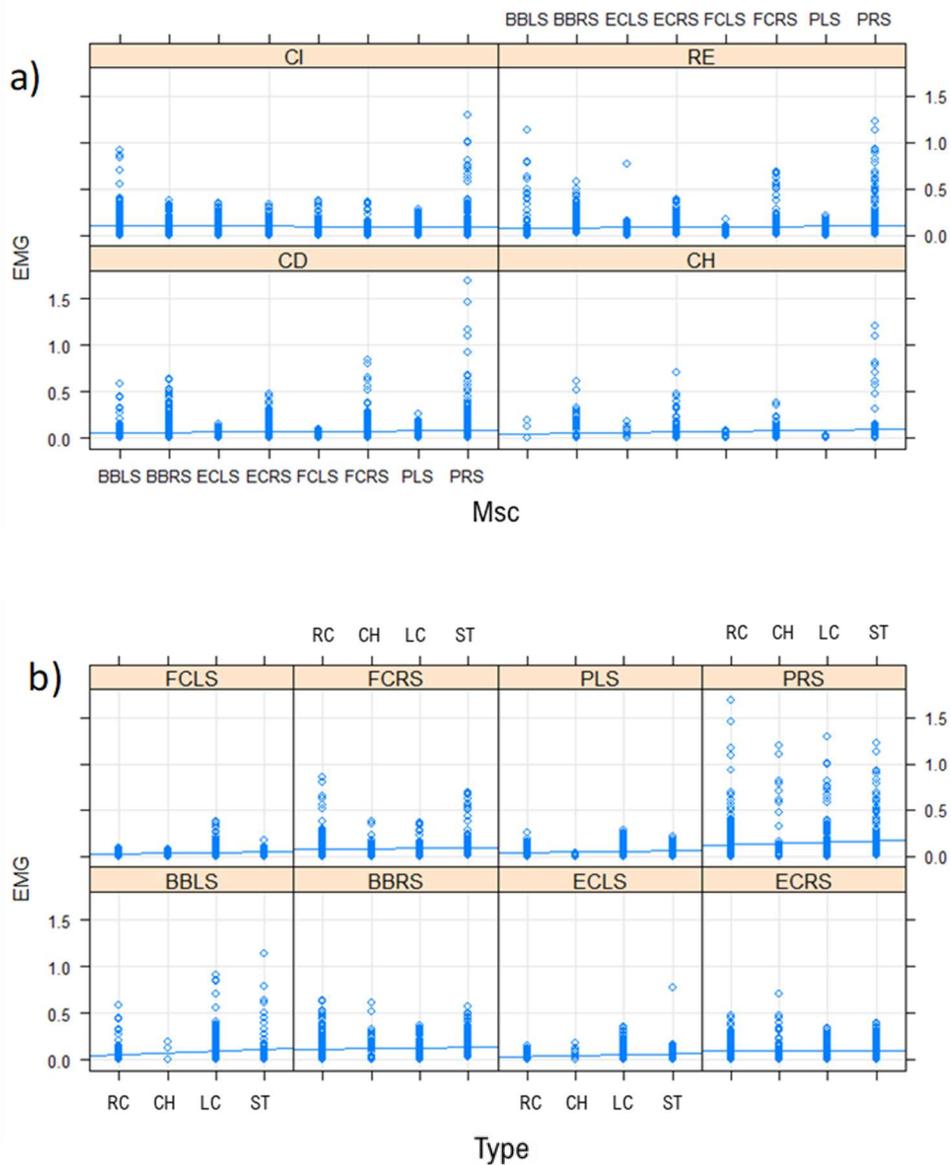


Figure 3. Mean values of EMG activity of the muscles of the right and left arms of each driver, for each type of sector

Note. (a) EMG activity of all muscle groups in each type of circuit sector; (b) EMG activity of each muscle group in all types of circuit sectors. Blue line indicates the trend and the mean at the intersection.

Msc = muscle; BB = biceps; EC = extensor; FC = flexor, P = pronator; LS = left side; RS = right side; RC = right curve; LC = left curve; CH = chicane; ST = straight.

Table 1. Differences between mean values of EMG activity with respect to (a) lap, (b) dominant arm, (c) type of kart (with or without gears), and (d) interaction of the factors of the variables 'dominant arm' and 'type of kart'.

Variable	Contrast	Difference	z. ratio	p value
Lap ($p = 0.647$)	L1-L2	0.001	0.011	0.999
	L1-L3	0.043	0.815	0.694
	L2-L3	0.042	0.805	0.699
Dominant arm	LA - RA	0.239	0.788	0.431
Type of kart	Yes - No	0.599	8.378	<0.0001
Interaction between dominant arm and gears ($p = 0.021$)	LA, Yes	0.765	6.218	<0.0001
	LA, No			
	RA, Yes	0.433	5.941	<0.0001
	RA, No			
<i>Note.</i> L1 = lap 1; L2 = lap 2; L3 = lap 3; LA = left arm; RA = right arm.				

Table 2. Differences between mean values of (a) EMG activity of the muscles of the right and left arms of each driver, and (b) type of circuit sector.

Variable	Contrast	Difference	z. ratio	p value		
Muscle ($p < 0.0001$)	Between arms	BBLS- BBRS	-0.798	-9.329	<0.0001	
		ECLS- ECRS	-0.859	-10.228	<0.0001	
		FCLS- FCRS	-0.994	-11.624	<0.0001	
		PLS-PRS	-1.257	-14.748	<0.0001	
	Left arm	BBLS-ECLS	0.290	3.431	0,014	
	BBLS ^a	BBLS-FCLS	0.538	6.37	<0,0001	
		BBLS-PLS	0.351	4.173	0.001	
		ECLS ^b	ECLS-FCLS	0.251	3.042	0.048
	FCLS ^c	ECLS-PLS	0.064	0.769	0.995	
		PLS ^{b-c}	FCLS-PLS	-0.187	-2.253	0.320
	Right arm	BBRS- ECRS	0.226	2.731	0.113	
		BBRS ^a	BBRS- FCRS	0.342	4.137	0.001
			ECRS ^{a-b}	BBRS-PRS	-0.108	-1.299
		FCRS ^b	ECRS- FCRS	0.116	1.391	0.862
			PRS ^a	ECRS-PRS	-0.335	-4.012
			FCRS-PRS	-0.451	-5.367	<0.0001
	Type of circuit sector ($p < 0.0001$)	RC-CH	0.080	0.987	0.757	
		RC ^c -LC ^a -CH ^c -ST ^b	RC-LC	-0.366	-6.743	<0.0001
			RC-ST	-0.167	-3.065	0.012
CH-LC			-0.445	-5.356	<0.0001	
CH-ST			-0.250	-2.985	0.015	
LC-ST			0.198	3.417	0.004	

Note. a, b, c = Factors with different superscripts are statistically different ($p < 0.05$).
BB = biceps; EC = extensor; FC = flexor, P = pronator; LS = left side; RS = right side;
RC = right curve; LC = left curve; CH = chicane; ST = straight.

Table 3. Mean values of EMG activity and differences between the muscle groups of the right and left arms of each driver, for each type of sector.

Muscles	Right curve	Left curve	Chicane	Straight	Differences in EMG activity of the same muscle between types of circuit sectors
BBLS	0.042 ^(b, 2)	0.149 ^(a, 1)	0.010 ^(c, 3)	0.070 ^(b, 2)	0.076 ($p < 0.0001$)
ECLS	0.032 ^(b, 2)	0.095 ^(a, 1)	0.017 ^(c, 2)	0.033 ^(b, 2-3)	0.048 ($p = 0.0011$)
FCLS	0.022 ^(b, 2)	0.081 ^(a, 1-2)	0.010 ^(c, 2-3)	0.022 ^(b, 3)	0.037 ($p < 0.0001$)
PLS	0.032 ^(b, 2)	0.095 ^(a, 1)	0.001 ^(c, 4)	0.030 ^(b, 3)	0.046 ($p < 0.0001$)
BBRS	0.117 ^(a, 1)	0.095 ^(a, 2)	0.120 ^(a, 1)	0.148 ^(a, 1)	0.120 ($p = 0.5057$)
ECRS	0.090 ^(a, 1)	0.080 ^(a, 1-2)	0.126 ^(a, 1)	0.105 ^(a, 1)	0.094 ($p = 0.918$)
FCRS	0.087 ^(a, 1)	0.051 ^(b, 2)	0.076 ^(a-b, 1)	0.106 ^(a, 1)	0.081 ($p = 0.9212$)
PRS	0.124 ^(a, 1)	0.139 ^(a, 1)	0.170 ^(a, 1)	0.176 ^(a, 1)	0.146 ($p = 0.1167$)
Differences in EMG activity between muscles (same type of circuit sector)		0.068 ($p < 0.0001$)	0.098 ($p < 0.0016$)	0.066 ($p < 0.0001$)	0.086 ($p < 0.0035$)

Note. a, b, c, 1, 2, 3, 4 = values in cells with different superscripts are statistically different ($p < 0.05$). Letters indicate differences between values in the same row. Numbers indicate differences between values in the same column.

BB = biceps; EC = extensor; FC = flexor; P = pronator; LS = left side; RS = right side.

Table 4. Differences between mean values of EMG activity in the muscle groups of the right and left arms of each driver, for each type of kart (with or without gears).

Contrast/gears (No-Yes)	Right curve	Left curve	Chicane	Straight
BBLS	0.435 ($p < 0.0001$)	0.116 ($p = 0.009$)	-3.577 ($p < 0.0001$)	0.950 ($p < 0.0001$)
ECLS	-0.360 ($p < 0.0001$)	-0,399 ($p < 0.0001$)	-0,739 ($p < 0.0001$)	0.320 ($p < 0.0001$)
FCLS	-0.417 ($p < 0.0001$)	-0.340 ($p < 0.0001$)	-0,459 ($p < 0.0001$)	-0.020 ($p = 0.768$)
PLS	-0.156 ($p = 0.0013$)	-0.358 ($p < 0.0001$)	-1.760 ($p < 0.0001$)	0.490 ($p < 0.0001$)
BBRS	0.118 ($p = 0.008$)	0.619 ($p < 0,0001$)	1.228 ($p < 0,0001$)	0.594 ($p < 0,0001$)
ECRS	-0.323 ($p < 0.0001$)	0.099 ($p = 0.666$)	0.267 ($p = 0.0001$)	0.593 ($p < 0.0001$)
FCRS	0.729 ($p < 0.0001$)	0.678 ($p < 0.0001$)	0.106 ($p = 0.124$)	1.294 ($p < 0.0001$)
PRS	0.509 ($p < 0.0001$)	0.521 ($p < 0.0001$)	1.999 ($p < 0.0001$)	0.797 ($p < 0.0001$)

Note. BB = biceps; EC = extensor; FC = flexor; P = pronator; LS = left side; RS = right side.

Table 5. Differences between EMG activity values of the muscle groups in the arms corresponding to the directions of the curves and the dominant arms. Only meaningful comparisons are included.

Arm-Curves Muscles	Contrast	Difference	z. ratio	p value
Left arm - Left curves BBLS ^a -ECLS ^b - FCLS ^b -PLS ^a	BBLS- ECLS	1.423	3.646	0.002
	BBLS- FCLS	1.512	4.079	0.000
	BBLS-PLS	0,1.2	0.498	0.960
	ECLS- FCLS	0.089	0.242	0.995
	ECLS-PLS	-1.241	-3.257	0.006
	FCLS-PLS	-1.330	-3.685	0.001
Right arm - Right curves BBRS ^a -ECRS ^{a-b} - FCRS ^b -PRS ^a	BBRS- ECRS	0.291	2.078	0.160
	BBRS- FCRS	0.493	3.514	0.003
	BBRS-PRS	-0.052	-0.368	0.983
	ECRS- FCRS	0.202	1.458	0.463
	ECRS- PRS	-0.343	-2.400	0.077
	FCRS-PRS	-0.545	-3.800	0.001

Note. a, b = factors with different superscripts are statistically different ($p < 0.05$).

BB = biceps; EC = extensor; FC = flexor; P = pronator; LS = left side; RS = right side.

IV. CONSIDERACIONES ÉTICAS

A continuación, se detallan las consideraciones éticas que se han tenido en cuenta en la presente tesis:

- Los estudios de la tesis han sido aprobados por el Comité de Ética e Investigación de la FPCEE Blanquerna (Universidad Ramon Llull).
- Los estudios han respetado todas las consideraciones éticas, incluidas las reflejadas en la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea y el Convenio Europeo de Derechos Humanos y sus Protocolos Complementarios.
- Los estudios cumplen con los códigos internacionales de conducta (Declaración de Helsinki y la Convención de Bioética de Oviedo) y con los códigos internacionales de investigación que involucra a seres humanos (Directiva de ensayos clínicos de la UE 2001/20/CE de 4 de abril de 2001), el Reglamento general de protección de datos la UE 2016/679 y las directrices nacionales aplicables.
- Se ha obtenido el consentimiento informado de todos los participantes menores de edad y del tutor/a legal. Todos los participantes y tutores legales recibieron información oral y escrita sobre los procedimientos del estudio antes de dar su consentimiento informado (Anexo 3).
- Confidencialidad: la recopilación de datos ha sido utilizada exclusivamente por miembros de la investigación para el desarrollo y análisis de los estudios. No se ha revelado ni se revelará ninguna información de identificación. Además, en el material audiovisual, las caras de los participantes y/o cualquier tipo de elemento distintivo (tatuaje, piercing, etc.) se ha mantenido oculto para proteger su identidad.
- Todo el proceso de extracción de datos del primer estudio fue anónimo y disociado, realizado por el equipo administrativo de la FCA en presencia del equipo investigador y con el consentimiento y supervisión del presidente de la misma (Anexo 2).
- Participación voluntaria: los sujetos de estudio han participado voluntariamente y se les informó de su derecho a retirarse del estudio en cualquier momento sin ninguna consecuencia, como se describe en el documento de consentimiento informado.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados del estudio 1

Resultados descriptivos generales

Participaciones

Teniendo en cuenta todas las carreras de todos los años del estudio, se determinó que un total de 334 pilotos realizaron 2485 participaciones, resultando un total acumulativo de 445591 Km, con una media de 179.3 Km por piloto y un rango de 6.5 a 3763.4 Km. Se muestran en las tablas 6, 7 y 8, la distribución total de pilotos, participaciones por año de competición, categorías y circuitos en relación al número de pilotos lesionados, respectivamente.

Tabla 6. *Medias de las participaciones, carreras y Km por año. Datos presentados en números absolutos y (DE).*

AÑO	2005	2006	2007	2008	2009
Participaciones	32.3(20.3)	50.1(33.7)	55 (34.3)	56.3(35.3)	44.5(31.3)
Carreras	7.3 (2.4)	6.9 (2.5)	4.5(1.5)	4.5(1.5)	5.7(2.2)
Kilómetros	225.9 (79.8)	208.2 (83.8)	140.7 (56.7)	162.6 (274.1)	150.7 (59.4)

Tabla 7. *Medias de las participaciones, carreras y Km por categoría. Datos presentados en números absolutos y (DE).*

CATEGORIA	Benjamín	Alevín	Cadete	Júnior
Participaciones	47.3 (32.3)	27.9 (33.9)	49.4 (29.9)	67.3 (21.1)
Carreras	5.8 (1)	6.1 (2.3)	5.6 (2.4)	5.9 (2.4)
Kilómetros	149.9(33.8)	167(69.8)	170.7(164)	204.2(158.3)

Tabla 8. *Medias de las participaciones, carreras y Km por circuito. Datos presentados en números absolutos y (DE).*

CIRCUITO	Vendrell	Mora	Osona	Sils	Sallent	Juneda
Participaciones	39.4(23.4)	49.2(34.1)	48(31.6)	50.2(33.8)	51.57(36.1)	48.3(36.2)
Carreras	5.2(2.5)	5.8 (2.2)	6 (2.4)	5.8 (2.6)	6.2 (2.4)	6.2 (2)
Kilómetros	154.4(80.8)	174(73.4)	178.8(80)	174.8(83.3)	220(294.8)	163.4(53.5)

Pilotos

La muestra total del estudio incluye 334 pilotos que participaron en uno o varios de los cinco años de competición que cubre el estudio. Dado que algunos de estos pilotos participaron en años consecutivos, la suma de pilotos registrados en todas las carreras, fue mayor, con 593 pilotos en los cinco años de competición. Esto se debe a que algunos pilotos, repitieron participación en diferentes años de competición. En los gráficos 8 y 9 se muestra la distribución total de pilotos, lesionados y sus prevalencias en relación a los años y categorías. La Figura 14 muestra el número total de participaciones, lesionados y su prevalencia en base a los circuitos.

Los resultados del test Chi-cuadrado, demostraron una diferencia significativa ($p=0.026$) en la distribución de lesionados por año de competición, siendo el año 2005 ($RR=1.05$; $IC\ 95\%= 0.49, 2.26$) y sobre todo el 2007 ($RR=3.06$; $IC\ 95\%=1.45, 6.43$) los años en que proporcionalmente, más pilotos sufrieron una lesión en relación al número de participantes.

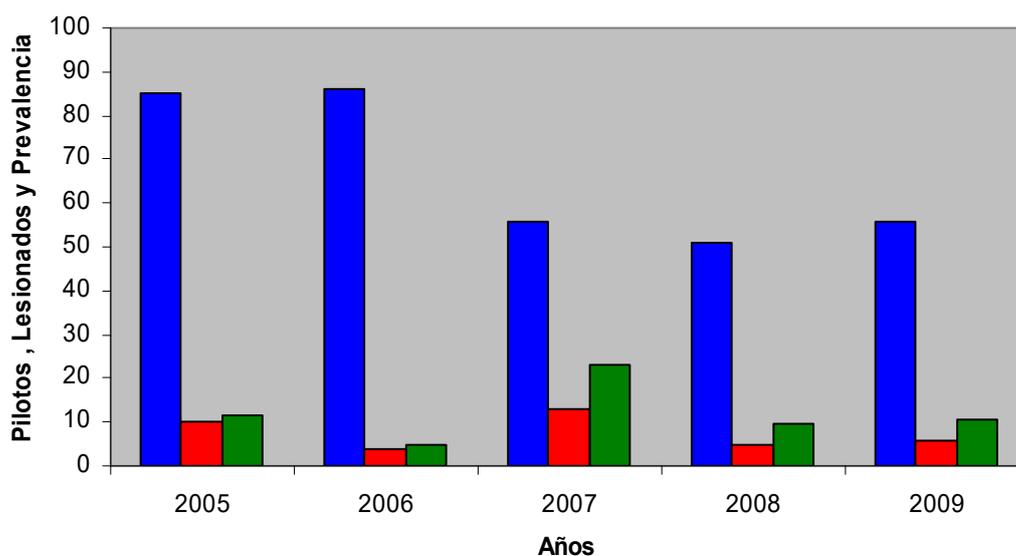


Figura 14. Número de pilotos, lesionados y prevalencia por año. Se muestra en azul el número de pilotos, en rojo el número de lesionados y en verde la prevalencia entre pilotos y lesionados.

En relación a las participaciones totales por categoría, los cadetes resultaron con mayor número de participaciones, 989 (39.8%), registrando el mayor número de lesionados por categorías ($n=17$). Seguidos por los alevines con 759 (30.5%) y los júnior con 725 (29.2%) con 16 lesionados. Los benjamines registraron un total de 12 (0.5%) participaciones, al iniciarse esta categoría en el año 2009. Del total de lesionados ($n=38$), quedaron distribuidos por categorías, 17 (44.7%) en cadete y 16 (42.1%) en la júnior, en los alevines 5 (13.2%) y sin lesionados la benjamin. Las diferencias de

distribución de lesionados, en relación a las diferentes categorías, no fueron estadísticamente significativas ($p=0.133$) (Figura 15).

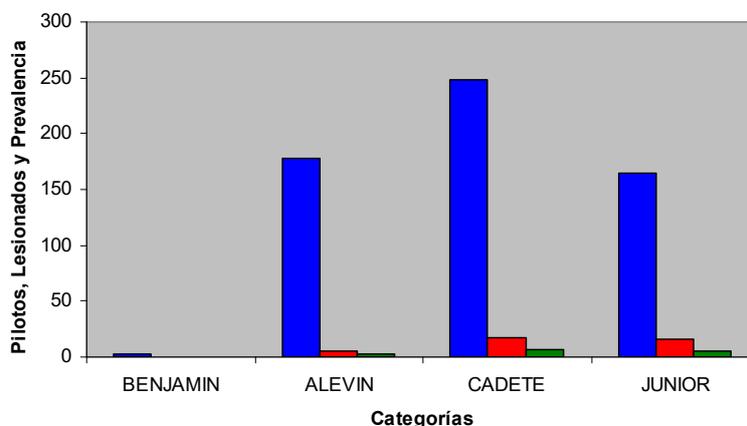


Figura 15. Número de pilotos, lesionados y prevalencia por categoría, durante el periodo 2005-2009. Se muestra en azul el número de pilotos por categoría, en rojo el número de lesionados y en verde la prevalencia entre pilotos y lesionados.

Los resultados del test Chi-cuadrado, demostraron una diferencia significativa ($p=0.015$) en la distribución de lesionados por circuito en relación al número de participantes, acumulando el circuito de Sils el mayor número de lesionados ($n=12$) seguido del circuito de Mora ($n=8$) y Juneda ($n=5$). En el circuito de Sils, se calculó una prevalencia del 2.4% con 481 participaciones en las 7 carreras celebradas en el total del periodo del estudio. En el circuito de Juneda se acumuló la mayor prevalencia de lesionados (5.1%) con 98 participaciones, habiéndose celebrado dos únicas carreras en el año 2009. El circuito de Mora es el circuito con mayor número de participaciones ($n=636$), por ser el que acumuló 9 carreras en los cinco años del estudio, su prevalencia fue de 1.2% (Figura 16).

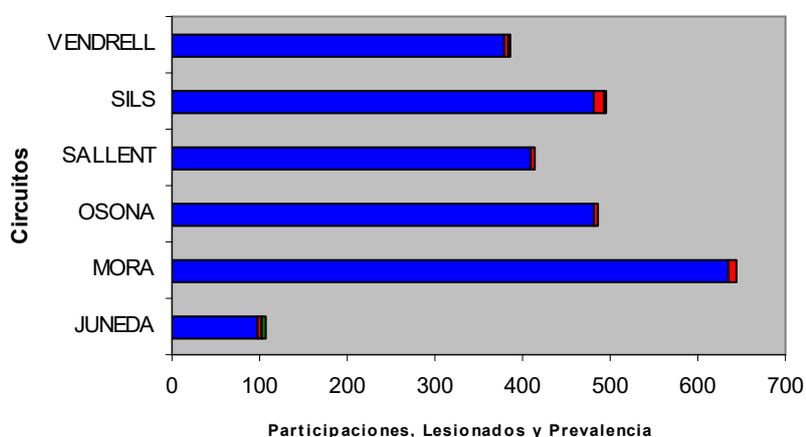


Figura 16. Número de participaciones y lesiones por circuito, durante el periodo 2005-2009. Se muestra en azul el número de participaciones, en rojo

el número de lesionados y en verde la prevalencia entre participaciones y lesionados.

Lesiones corporales

Para estudiar las lesiones corporales en los 5 años del estudio, del total de 38 pilotos lesionados, se analizaron los datos recogidos en los partes médicos y se procedió a clasificar por regiones corporales usando la clasificación OSICS (Rae, K., & Orchard, J., 2007) y se calcularon sus porcentajes (Tabla 9).

Se hallaron (n=16; 42.1%) pilotos que se lesionaron en la muñeca y mano, siendo esta la lesión con más prevalencia. Las lesiones de tórax y las de codo ocuparon la segunda prevalencia más alta (n=5; 13.1%) en cada una de ellas. Las lesiones de hombro y brazo (entre hombro y codo), fueron las siguientes (n=2; 5.2%) pilotos lesionados en cada una de ellas. Para el resto de regiones corporales, se halló (n=1; 2.6%) un único caso por región. El Figura 17 muestra los tipos de lesiones y sus porcentajes.

Tabla 9. *Clasificación de las lesiones según OSICS, con valores absolutos para los pilotos y porcentajes según región corporal.*

Lesiones	OSICS	%	Nº pilotos
Muñeca y mano.	W	42.1	16
Tórax	C	13.1	5
Codo	E	13.1	5
Hombro	S	5.2	2
Brazo (entre hombro y codo)	U	5.2	2
Cuello	N	2.6	1
Rodilla	K	2.6	1
Tobillo	A	2.6	1
Columna lumbar	L	2.6	1
Antebrazo (entre codo y muñeca)	R	2.6	1
Pelvis/nalga (excluye ingle)	B	2.6	1
Pierna	Q	2.6	1
Muslo	T	2.6	1
Total		100	38

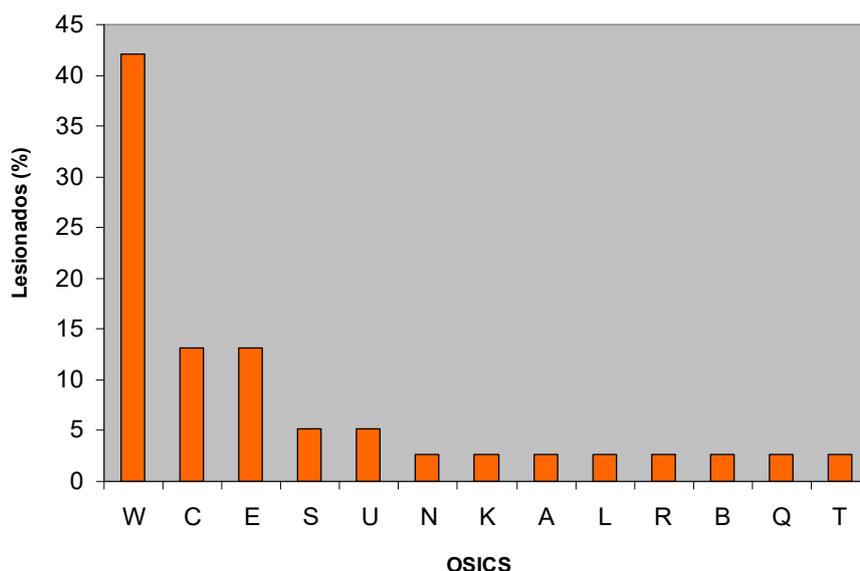


Figura 17. Comparativo de los porcentajes de lesiones, según región corporal y clasificación OSICS.

De las lesiones de muñeca y mano, se procedió a calcular y a clasificar una distribución específica del tipo de lesiones de la región, utilizando las tres siguientes letras de la clasificación OSICS. Se halló que un 43.7% de las lesiones de muñeca y mano, fueron esguinces de muñeca, seguidas de un 18.7% de laceraciones en la mano, siendo las fracturas de la falange media del 2º dedo, un 12.5%. El resto de lesiones, eran 1 sólo caso con 6.2% esguinces de los ligamentos de la carpometacarpiana del dedo pulgar, fracturas de la apófisis estiloides del cubito y hematomas (Tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de las lesiones según OSICS, con valores absolutos para los pilotos y porcentajes de la muñeca y mano (W).

Lesiones de muñeca y mano	OSICS	% total:	Nº pilotos
	(W)	42.1	
Esguince de muñeca (Art. Radiocarpiana)	WJWX	43.7	7
Laceración/Abrasión en la mano.	WKHX	18.7	3
Fractura de la falange media del 2º dedo índice	WFFE	12.5	2
Fractura de la apófisis estiloides del cubito.	WFUT	6.2	1
Esguince en ligamentos de la Art.CMC del dedo pulgar.	WJPC	6.2	1
Hematoma en el dedo pulgar	WHPX	6.2	1
Dolor de dedos no específico. (Excepto dedo pulgar)	WZFX	6.2	1
Porcentaje total y nº de pilotos lesionados. (W)		100	16

De las lesiones de tórax se procedió a calcular y clasificar una distribución del tipo de lesiones específicas. Se halló que hasta un 40% de las lesiones de tórax fueron equimosis en el esternón. Con la misma prevalencia (40%), los hematomas en tejidos blandos del tórax y con un 20% las equimosis en costillas (Tabla 11).

Tabla 11. *Clasificación de las lesiones según OSICS, con valores absolutos para los pilotos y porcentajes del tórax (C).*

Lesiones del tórax	OSICS (C)	% total: 13.1	Nº pilotos:
Equimosis en esternón	CHSX	40	2
Hematoma en tejidos blandos del tórax	CHXX	40	2
Equimosis en costillas	CHRX	20	1
Porcentaje total y nº de pilotos lesionados. (C)		100	5

De las lesiones de codo, se procedió a calcular y clasificar una distribución del tipo específico de lesiones. Se halló que un 80% de las lesiones de codo, fueron hematomas en tejidos blandos. El resto, un 20%, laceraciones o heridas (Tabla 12).

Tabla 12. *Clasificación de las lesiones según OSICS, con valores absolutos para los pilotos y porcentajes del codo (E).*

Lesiones del codo	OSICS €	% total: 13.1	Nº pilotos: 5
Hematoma en tejidos blandos del codo.	EHXX	80	4
Laceración/ Herida en el codo.	EKXX	20	1
Porcentaje total y nº de pilotos lesionados. (E)		100	5

Del resto de lesiones en las del hombro y brazo se hallaron 2 pilotos, para las de cuello, rodilla, tobillo, columna lumbar, antebrazo, pelvis/nalga, pierna y muslo, se clasificaron en 1 piloto por cada región corporal. De todas las lesiones halladas en el estudio la más grave fue una fractura de tibia de un piloto júnior en el año 2005. Siendo esta una de las cuatro fracturas diagnosticadas, dos pilotos sufrieron fractura de la 2ª falange del 2º dedo de la mano y un piloto sufrió una del estiloides del cubito. Las cuatro fracturas las sufrieron pilotos de la categoría júnior y fueron diagnosticadas en el año 2005.

5.2. Resultados del estudio 2

La muestra de este estudio la conformaron trece pilotos de la categoría Senior, siendo esta categoría la más competitiva del deporte base, pues es donde acontece el salto a las competiciones con fórmulas y otras categorías superiores. Cuatro de los pilotos realizaron el estudio con los dos tipos de karts: con y sin marchas. De los pilotos que participaron en el estudio, dos eran zurdos y once diestros.

Actividad muscular general en la técnica de pilotaje

Actividad muscular general en la técnica de pilotaje

Al analizar el primer modelo, los resultados obtenidos (Tabla 13, Figura 18) evidencian que hay significancia estadística al comparar la actividad muscular en relación al tipo de kart ($p < 0,0001$), pero, aunque se observan cambios en los valores medios de EMG, no hay diferencias significativas entre las vueltas al circuito ($p = 0,6468$) ni el brazo dominante ($p = 0,431$). Sin embargo, los resultados muestran que hay una interacción estadísticamente significativa entre el tipo de kart y el brazo dominante ($p = 0,0205$), lo que indica diferencias significativas entre los dos tipos de kart para cada brazo dominante ($p < 0,0001$).

En base a los resultados de esta interacción, un piloto zurdo usando kart con marchas llega a casi el doble de rendimiento en trabajo muscular ($p = 0,076$) que un piloto diestro con el mismo tipo de kart ($p = 0,043$).

Tabla 13. Valores medios de la actividad EMG en relación a la vuelta el brazo dominante, el tipo de kart y la interacción de los factores de las variables brazo dominante y tipo de kart.

Variable	Contraste	Diferencia	z. ratio	p valor
Vuelta ($p = 0,6468$)	V1 - V2	0,001	0,011	0,999
	V1 - V3	0,043	0,815	0,694
	V2 - V3	0,042	0,805	0,700
Brazo dominante	LH - RH	0,239	0,788	0,431
Tipo de kart	SI - NO	0,599	8,378	<0,0001
Interacción	LH, SI - LH, NO	0,765	6,218	<0,0001
B. dominante x Marchas ($p = 0,0205$)	RH, SI - RH, NO	0,433	5,941	<0,0001

V1, vuelta 1; V2 vuelta 2; V3, vuelta 3; LH, brazo izquierdo y RH, brazo derecho; SI, con marchas; NO, sin marchas

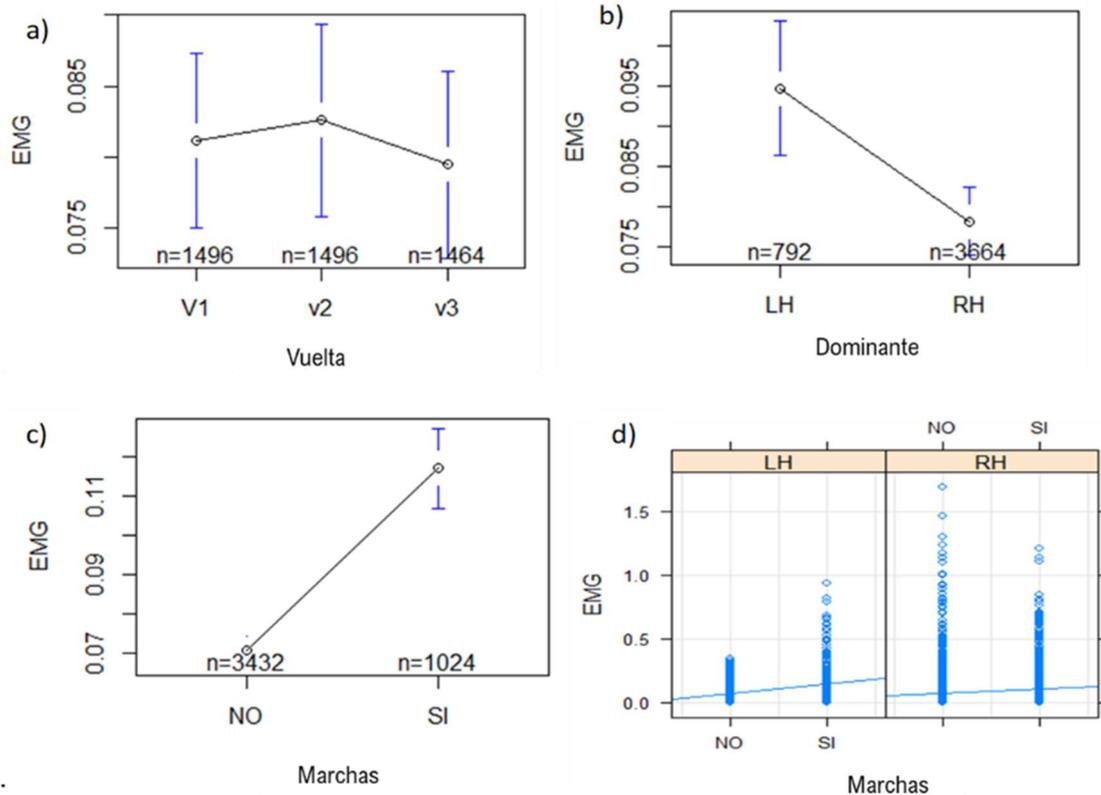


Figura 18. Valores medios de la actividad EMG para a) Vuelta (V1, vuelta 1, V2 vuelta 2 y V3, vuelta 3); b) Brazo dominante (LH, brazo izquierdo y RH, brazo derecho); c) Tipo de kart (con o sin marchas); y d) Interacción de los factores de las variables brazo dominante (LH, brazo izquierdo y RH, brazo derecho) y tipo de kart (con o sin marchas). Línea azul indica la tendencia y la media en la intersección.

Actividad muscular específica en la técnica de pilotaje

Al analizar el segundo modelo, se encuentra significancia estadística en los resultados obtenidos (Tabla 14 y Figura 19) al comparar la actividad muscular de cada uno de los grupos musculares estudiados en ambos brazos ($p < 0,0001$) y en relación al tipo de tramo (categorizando en 4 categorías: curva de izquierda, curva de derecha, recta y chicane) ($p < 0,0001$).

Tabla 14. Valores medios de la actividad EMG entre el brazo derecho y el izquierdo de cada piloto y el tipo de tramo

Variable	Contraste	Diferencia	z. ratio	p valor	
Músculo (p < 0,0001)	Entre brazos	BBLs-BBRs	-0,798	-9,329	<0,0001
		ECLs-ECRS	-0,859	-10,228	<0,0001
		FCLs-FCRS	-0,994	-11,624	<0,0001
		PLs-PRs	-1,257	-14,748	<0,0001
	Brazo izquierdo	BBLs-ECLs	0,287	3,431	0,014
		BBLs-FCLs	0,538	6,37	<0,0001
	BBLs ^a	BBLs-PLs	0,351	4,173	0,001
		ECLs ^b	ECLs-FCLs	0,251	3,042
	ECLs ^b	ECLs-PLs	0,064	0,769	0,995
		FCLs ^c	FCLs-PLs	-0,187	-2,253
	FCLs ^c	PLs ^{b-c}			
		Brazo derecho	BBRS-ECRS	0,226	2,731
	BBRS ^a	BBRS-FCRS	0,342	4,137	0,001
		BBRS-PRs	-0,108	-1,299	0,900
	ECRS ^{a-b}	ECRS-FCRS	0,116	1,391	0,862
		ECRS-PRs	-0,339	-4,012	0,002
FCRS ^b	FCRS-PRs	-0,451	-5,367	<0,0001	
	PRs ^a				
Tipo de tramo (p < 0,0001)	CD-CH	0,080	0,987	0,757	
	CD-CI	-0,366	-6,743	<0,0001	
	CD-RE	-0,167	-3,065	0,012	
	CD ^c -CI ^a -CH ^c -RE ^b	CH-CI	-0,445	-5,356	<0,0001
		CH-RE	-0,247	-2,985	0,015
CI-RE	0,198	3,417	0,0034		

a, b, c. Factores con diferentes superíndices son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

BB, Bíceps; EC, Extensor; FC, Flexor, P, Pronador; LS, Lado izquierdo; RS, Lado derecho) y el tipo de tramo (CD, curva de derechas, CI, curva de izquierdas, CH, chicane; y RE, recta.

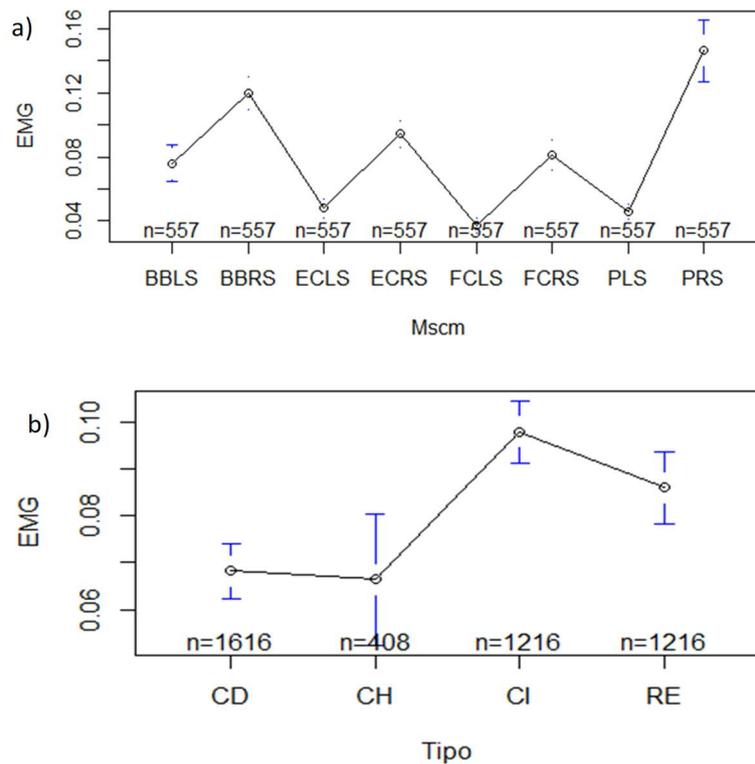


Figura 19. Valores medios de la actividad EMG entre a) los músculos del brazo derecho y el izquierdo de cada piloto (BB, Bíceps; EC, Extensor; FC, Flexor, P, Pronador; LS, Lado izquierdo; RS, Lado derecho) y b) el tipo de tramo (CD, curva de derechas, CI, curva de izquierdas, CH, chicane; y RE, recta).

Los resultados obtenidos en la comparación de los valores medios de la actividad EMG de los grupos musculares estudiados en ambos brazos (Tabla 14), muestran diferencias significativas entre el brazo derecho y el izquierdo para el mismo grupo muscular. En el brazo izquierdo hay diferencias significativas entre todos los grupos musculares del brazo, excepto entre ECLS-PLS y FCLS-PLS. En el brazo derecho, el valor más alto pertenece a PRS y el menor FCSR, con diferencias significativas entre BBRS-FCRS, ECRS-PRS y FCRS-PRS. Los resultados muestran diferencias significativas entre los valores medios de la actividad EMG en cada tipo de tramo excepto entre CD-CH, clasificándose en tres niveles en función del valor EMG (de mayor a menor): a) CI; b) RE; c) CD Y CH.

Los resultados obtenidos muestran que en el segundo modelo hay interacciones estadísticamente significativas (Figura 20) entre los grupos musculares en ambos brazos de cada piloto y el tipo de tramo ($p < 0,0001$), lo que indica diferencias significativas entre los músculos en cada tipo de tramo y en cada grupo muscular entre los tipos de tramo.

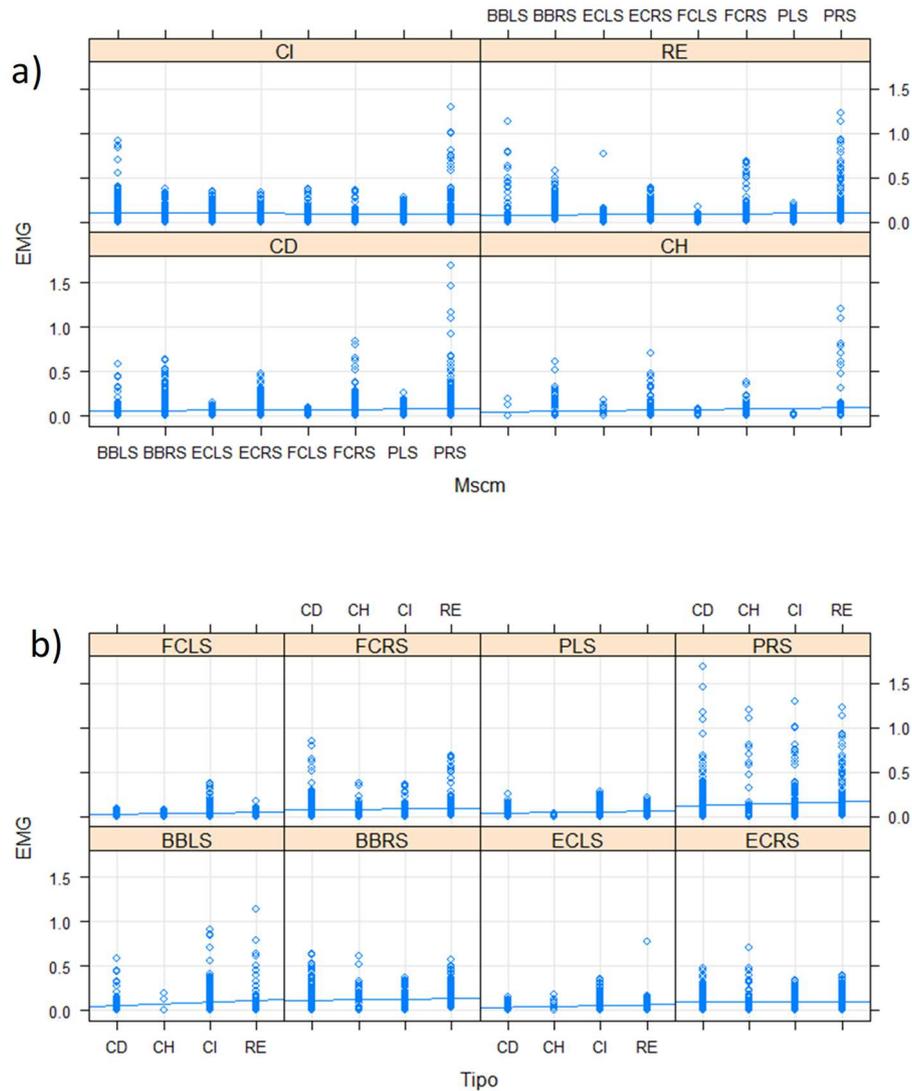


Figura 20. Valores medios de la actividad EMG de los músculos del brazo derecho y el izquierdo de cada piloto y el tipo de tramo.
 (BB, Bíceps; EC, Extensor; FC, Flexor, P, Pronador; LS, Lado izquierdo; RS, Lado derecho) (CD, curva de derechas, CI, curva de izquierdas, CH, chicane; y RE, recta)

En la Figura 20 a) se observa la actividad en cada tipo de tramo de todos los grupos musculares i en la Figura 20 b) la actividad EMG de cada grupo muscular en todos los tipos de tramo. Línea azul indica la tendencia y la media en la intersección.

Diferencias entre brazos en función del tramo

Los resultados obtenidos en la comparación de los valores medios de la actividad EMG de los grupos musculares entre ambos brazos para cada tipo de tramo (Tabla 15), muestran diferencias significativas entre el mismo grupo muscular del brazo izquierdo y derecho en cada tipo de tramo (CD, CH, RE; $p < 0,0001$), excepto para todos los grupos musculares en la curva de izquierdas (CI), con valores EMG medios mayores en el brazo izquierdo que en el derecho.

Tabla 15. Valores medios de la actividad EMG entre el brazo derecho y el izquierdo de cada piloto para cada tipo de tramo.

Contraste	Curva derecha	Curva izquierda	Chicane	Recta
BBLs-BBRs	-1,122 (p<0,0001)	0,301 (p 0,987)	-3,063 (p<0,0001)	-0,998 (p <0,0001)
ECLS-ECRS	-1,049 (p<0,0001)	0,224 (p 0,999)	-1,91 (p<0,0001)	-1,223 (p<0,0001)
FCLS-FCRS	-1,343 (p<0,0001)	0,542 (p 0,1)	-2,1 (p<0,0001)	-1,563 (p<0,0001)
PLS-PRS	-1,26 (p<0,0001)	-0,25 (p 0,999)	-5,11 (p<0,0001)	-1,72 (p<0,0001)

BB, Bíceps; EC, Extensor; FC, Flexor, P, Pronador; LS, Lado izquierdo; RS, Lado derecho) para cada tipo de tramo (CD, curva de derechas, CI, curva de izquierdas, CH, chicane; y RE, recta.

Diferencias e interacciones entre grupos musculares en función del tramo

Al comparar los valores medios de la actividad EMG de cada músculo entre los diferentes tipos de tramo (Tabla 16) encontramos que existen diferencias significativas para todos los músculos del brazo izquierdo ($p < 0,0001$ en todos los músculos), pero no existen diferencias significativas en ninguno de los músculos del brazo derecho. Al comparar los valores medios de la actividad EMG entre los diferentes músculos para el mismo tipo de tramo encontramos que en cada tipo de tramo existen diferencias significativas en la actividad de los grupos musculares.

Valores en celdas con diferentes superíndices son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Letras indican diferencias entre los valores de la misma fila, números indican diferencias entre los valores de la misma columna.

Tabla 16. Valores medios de la actividad EMG entre los grupos musculares del brazo derecho e izquierdo de cada piloto para cada tipo de tramo.

	Curva derecha	Curva izquierda	Chicane	Recta	p *
BBLS	0,042 (b, 2)	0,149 (a, 1)	0,0102 (c, 3)	0,070 (b, 2)	0,076 (p<0,0001)
ECLS	0,032 (b, 2)	0,095 (a, 1)	0,017 (c, 2)	0,033 (b, 2-3)	0,048 (p 0,0011)
FCLS	0,022 (b, 2)	0,081 (a, 1-2)	0,010 (c, 2-3)	0,022 (b, 3)	0,037 (p<0,0001)
PLS	0,032 (b, 2)	0,095 (a, 1)	0,001 (c, 4)	0,030 (b, 3)	0,046 (p<0,0001)
BBRS	0,117 (a, 1)	0,095 (a, 2)	0,120 (a, 1)	0,148 (a, 1)	0,120 (p 0,506)
ECRS	0,090 (a, 1)	0,080 (a, 1-2)	0,126 (a, 1)	0,105 (a, 1)	0,094 (p 0,918)
FCRS	0,087 (a, 1)	0,051 (b, 2)	0,076 (a, 1)	0,106 (a, 1)	0,081 (p 0,921)
PRS	0,124 (a, 1)	0,139 (a, 1)	0,170 (a, 1)	0,176 (a, 1)	0,146 (p 0,117)
	0,068	0,098	0,066	0,086	
P**	(p<0,0001)	(p<0,0016)	(p<0,0001)	(p<0,004)	

a, b, c, 1, 2, 3, 4

BB, Bíceps; EC, Extensor; FC, Flexor, P, Pronador; LS, Lado izquierdo; RS, Lado derecho,
P*Diferencias actividad EMG del mismo músculo entre tipos de tramo
P**Diferencias actividad EMG entre músculos para el mismo tipo de tramo

Diferencias en función del tipo de kart para cada tipo de tramo

Al analizar el tercer modelo, los resultados obtenidos (Tabla 17) evidencian que hay significancia estadística al comparar la actividad muscular de cada uno de los grupos musculares estudiados en ambos brazos ($p < 0,0001$) en relación al tipo de tramo ($p < 0,0001$) y el tipo de kart ($p = 0,002$). Los resultados muestran que hay interacciones estadísticamente significativas entre los grupos musculares en ambos brazos de cada piloto y el tipo de tramo ($p < 0,0001$), entre los grupos musculares en ambos brazos de cada piloto y el tipo de kart ($p < 0,0001$), entre y el tipo de kart (con o sin marchas) y el tipo de tramo ($p < 0,0001$) y entre los grupos musculares, el tipo de kart y el tipo de tramo ($p < 0,0001$). Los resultados del análisis del efecto del tipo de kart en la actividad EMG de los grupos musculares en cada tipo de tramo, indican que el tipo de kart tiene un efecto significativo en todos los músculos en todos los tipos de tramo, excepto en ECRS en CI, FCRS en CH y FCLS en RE.

Tabla 17. Valores medios de la actividad EMG de los grupos musculares del brazo derecho e izquierdo de cada piloto para cada el tipo de kart.

Contraste (marchas: No-Si)	Curva derecha	Curva izquierda	Chicane	Recta
BBSL	0,435 (p<0,0001)	0,116 (p 0,009)	-3,577 (p<0,0001)	0,950 (p<0,0001)
ECLS	-0,36015 (p<0,0001)	-0,399 (p<0,0001)	-0,739 (p<0,0001)	0,320 (p<0,0001)
FCLS	-0,417 (p<0,0001)	-0,340 (p<0,0001)	-0,459 (p<0,0001)	-0,020 (p 0,769)
PLS	-0,156 (p 0,001)	-0,358 (p<0,0001)	-1,760 (p<0,0001)	0,490 (p<0,0001)
BBRS	0,118 (p 0,008)	0,619 (p<0,0001)	1,228 (p<0,0001)	0,594 (p<0,0001)
ECRS	-0,323 (p<0,0001)	0,099 (p 0,667)	0,267 (p 0,0001)	0,593 (p<0,0001)
FCRS	0,726 (p<0,0001)	0,678 (p<0,0001)	0,106 (p 0,123)	1,294 (p<0,0001)
PRS	0,509 (p<0,0001)	0,521 (p<0,0001)	1,999 (p<0,0001)	0,797 (p<0,0001)

BB, Bíceps; EC, Extensor; FC, Flexor, P, Pronador; LS, Lado izquierdo; RS, Lado derecho

Diferencias e interacciones entre grupos musculares para el brazo correspondiente al sentido de la curva

Por último en el cuarto modelo donde se seleccionaron dos curvas cerradas, una de izquierdas (CI, tramos 3-4) y otra de derechas (CD, tramo 4-5) para en karts sin marchas, los resultados obtenidos al analizar diferencias significativas en la actividad muscular de cada uno de los grupos musculares del brazo correspondiente al sentido de la curva en relación al brazo dominante del piloto, se encuentra que en ambos análisis hay significancia estadística en el grupo muscular (CI, $p < 0,0001$; CD $p = 0,0003$) pero no hay diferencias en relación al brazo dominante (CI $p = 0,293$; CD, $p = 0,970$).

Los resultados indican (Tabla 18) que hay diferencias significativas en la actividad muscular al comparar la actividad EMG de BBSL-ECLS, BBSL-FCLS, ECLS-PLS, FCLS-PLS BB en la curva de izquierda (CI, Figura 21), y de BBRS-FCRS y FCRS-PRS en la curva de derecha (CD, Figura 22). No hay diferencias significativas en la actividad muscular del resto de los grupos musculares, ni al comparar entre pilotos zurdos y diestros.

Tabla 18. Valores de la actividad EMG de los grupos musculares en brazo correspondiente al sentido de la curva y el brazo dominante. Solo se incluyen las comparaciones significativas

	Contraste	Diferencia	z. ratio	p valor
Brazo izquierdo	BBLS-ECLS	1.423	3.646	0,002
Curvas izquierdas	BBLS-FCLS	1.512	4.079	0,0003
BBLS ^a -ECLS ^b -FCLS ^b -PLS ^a	BBLS-PLS	0,182	0,498	0,960
	ECLS-FCLS	0,089	0,242	0,995
	ECLS-PLS	-1.241	-3.257	0,006
	FCLS-PLS	-1.330	-3.685	0,001
Brazo derecho	BBRS-ECRS	0,291	2.078	0,160
Curvas derechas	BBRS-FCRS	0,493	3.514	0,003
BBRS ^a -ECRS ^{a-b} -FCRS ^b -PRRS ^a	BBRS-PRRS	-0,052	-0,368	0,983
	ECRS-FCRS	0,202	1.458	0,463
	ECRS-PRRS	-0,343	-2.400	0,077
	FCRS-PRRS	-0,545	-3.800	0,001

^{a, b}. Factores con diferentes superíndices son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)
 BB, Bíceps; EC, Extensor; FC, Flexor, P, Pronador; LS, Lado izquierdo; RS, Lado derecho;

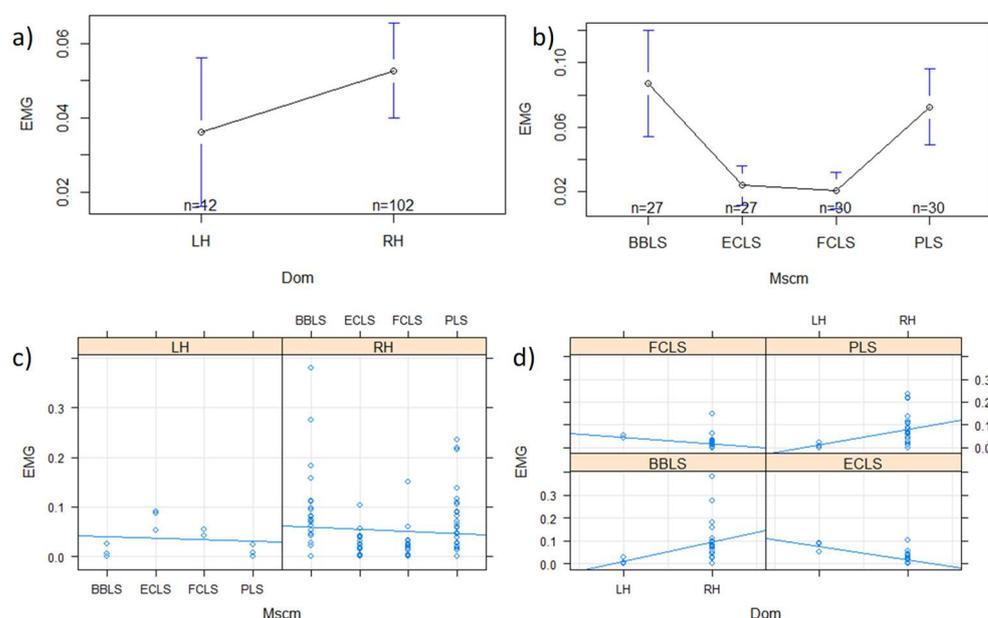


Figura 21 Valores medios de la actividad EMG de brazo izquierdo en curva cerrada de izquierdas CI. a) actividad EMG en cada brazo dominante (RH, diestro; LH, zurdo); b) actividad EMG en cada grupo muscular del brazo izquierdo (BBLS, Bíceps; ECLS, Extensor; FCLS, Flexor, PLS, Pronador); c) actividad EMG en cada brazo dominante de todos los grupos musculares; b) actividad EMG de cada grupo muscular en cada brazo dominante. Línea azul indica la tendencia y la media en la intersección.

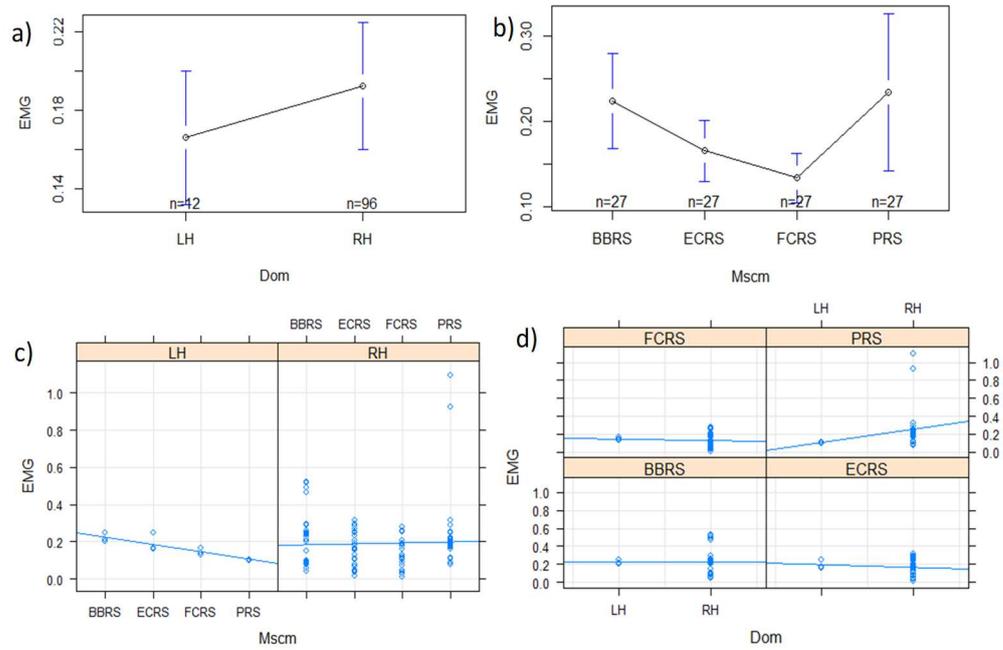


Figura 22. Valores medios de la actividad EMG de brazo izquierdo en curva cerrada de derechas CD. a) actividad EMG en cada brazo dominante (RH, diestro; LH, zurdo); b) actividad EMG en cada grupo muscular del brazo derecho (BBRS, Bíceps; ECRS, Extensor; FCRS, Flexor, PRS, Pronador); c) actividad EMG en cada brazo dominante de todos los grupos musculares; b) actividad EMG de cada grupo muscular en cada brazo dominante. Línea azul indica la tendencia y la media en la intersección.

VI. DISCUSIÓN

6.1. Discusión del estudio 1

El objetivo principal de este estudio fue conocer la incidencia y tipología de las lesiones derivadas de la práctica del Karting de competición con niños, en Cataluña, entre los años 2005-2009. Los 334 pilotos realizaron un total de 445,590.8 kms de competición y se lesionaron 38 de ellos, durante los cinco años a estudio. Este trabajo aporta resultados para afirmar que estamos delante de un deporte con baja “lesionabilidad”, quizás por los avances técnicos, medidas de seguridad y la aplicación de reglamentos federativos con la prioridad de mantener la máxima seguridad posible. La incidencia más alta hallada en relación a los años, pilotos y carreras fue en el año 2007 con 1.4 lesiones cada 50 carreras, en el supuesto de que el piloto realizara una proyección constante. En el año 2006 se halló la incidencia de lesión más baja, donde un piloto debería hacer unas 50 carreras para lesionarse 0.3 veces. Con este rango de incidencia de lesión y calculada la incidencia media de “lesionabilidad” de los cinco años, un piloto debería hacer 50 carreras, para lesionarse 0.7 veces.

Estos resultados en las incidencias de lesiones nos permiten evidenciar que la probabilidad de sufrir una lesión en este deporte es muy baja, pues un piloto de karting para completar un total de 50 carreras debería realizar más de cinco campeonatos de Cataluña, para sufrir casi una única lesión. La comparación de estos resultados de “lesionabilidad” con futuros estudios, puede permitir constatar que estamos delante de un deporte muy seguro.

Se halló que los pilotos lesionados realizaron más kilómetros y unas medias mayores de carreras, que los no lesionados. Probablemente, el riesgo de lesionarse es mayor al hacer más kilómetros de competición, sumado a efectos derivados de la fatiga de los pilotos que hacen más kilómetros y más vueltas. Cuando un piloto se lesiona, estas lesiones son poco graves y permiten al piloto volver a competir a las tres semanas de sufrir la lesión.

En el año 2005, se hallaron el mayor número de pilotos lesionados en relación a las participaciones. Los resultados de la regresión binaria constataron que la categoría que tenía más riesgo de sufrir lesiones fue la júnior. Esta categoría registró el mayor número de pilotos, respecto el resto de categorías del 2005 y del resto de años del estudio. Una posible justificación después de revisar los reglamentos deportivos de todos los años, es que en el 2005 se aconsejaba el uso de determinados equipamientos de seguridad pasiva, siendo éstos obligatorios en el resto de años del estudio. Esta es una probable

causa del elevado número de lesionados antes de aplicarse dichos equipamientos de seguridad.

El año 2007 acumuló 13 lesionados y se constató en el registro del director de carrera, en el informe médico y se confirmó en publicaciones de medios especializados, que el 26 de agosto en la carrera de Sils, 7 pilotos de la categoría cadete, chocaron entre sí, teniendo que ser atendidos 6 de ellos (46'1% de los lesionados del año 2007) por los equipos médicos al sufrir lesiones de poca gravedad. No se hallaron registros que mencionaran que la carrera se llevó a cabo bajo lluvia o niebla. Este múltiple accidente fue una de las causas del aumento de pilotos lesionados en este año. Aún así, los resultados no constataron valores estadísticamente significativos que indicaran que el competir en la categoría cadete en el 2007 aumentara el riesgo de lesionarse.

Sin embargo, el año 2006 registró el mayor número de pilotos y quedó como el año con menos pilotos lesionados. Se constata que no aumentaron el número de lesiones en relación al aumento de participantes. En el 2005 y el 2007 los resultados del test Chi-cuadrado, demostraron una diferencia significativa ($p=0.026$) en la distribución de lesionados por año de competición, quedando como los dos años donde proporcionalmente más pilotos sufrieron una lesión en relación al número de participaciones.

Tampoco se hallaron factores específicos causales de los aumentos de lesionados en base al número de carreras hechas por año, ni en relación a las participaciones ni kilómetros totales competidos.

En relación a las participaciones totales por categoría en los cinco años del estudio, los cadetes acumularon el mayor número de participaciones y también el mayor número de pilotos lesionados, siendo los 6 pilotos del accidente múltiple en el año 2007 un 37.5% del total de cadetes lesionados en los cinco años del estudio. Los júnior con 725 participaciones y 16 lesionados, fueron la segunda categoría con más lesionados, siendo el año 2005 con 7 júnior lesionados acumulando el 43.7% del total de júnior lesionados en los cinco años. Los benjamines registraron un total de 12 participaciones sin pilotos lesionados, iniciándose esta categoría en el año 2009. El hecho de que los júnior tengan mayor número de lesionados, puede ser por el mayor nivel competitivo, al utilizar karts con más potencia y competir a mayor velocidad. Las diferencias de distribución de lesionados, en relación a las diferentes categorías, no fueron estadísticamente significativas ($p=0.133$).

En base a los circuitos, los resultados del test Chi-cuadrado demostraron una diferencia significativa ($p=0.015$) en la distribución de lesionados por circuito en relación al número de participantes, acumulando el circuito de Sils el mayor número de lesionados con 481 participaciones y donde 6 de estos lesionados fueron los cadetes del accidente múltiple del año 2007. El circuito de Mora registró el segundo mayor número de pilotos lesionados, este circuito es el que tiene mayor número de carreras en todo el periodo del estudio, pues se celebraron dos carreras por año excepto en el 2009 y también es el circuito con mayor número de participaciones. El circuito que registró menor número de participaciones fue el de Juneda con 98, al celebrarse carreras sólo en el año 2009 con 5 lesionados y con la prevalencia mayor del estudio (5.1%). En este circuito, una vez revisados los informes del director de carrera, partes médicos y listados de cronometraje, no se hallaron motivos que justificaran el número de lesionados con dos carreras en el primer año de inclusión de Juneda al campeonato.

Se constató un evidente descenso del número de pilotos por año. Calculándose un total de 85 pilotos en el campeonato del 2005 y quedando 56 pilotos en el año 2009. Estando delante de un deporte de altos costes económicos, es probable y la FCA constata, que la actual crisis económica haya afectado en el número total de pilotos que participan en los últimos tres años del estudio, acusándose más en la categoría júnior, registrando sólo 15 pilotos en el 2009 siendo esta la categoría con costes más elevados.

Este estudio aporta la primera distribución de lesiones según la zona corporal, específica del karting de competición. Del total de 38 pilotos lesionados el 42.1% sufrieron lesiones de muñeca y mano (W), siendo la región corporal con más índice de lesionados. Específicamente fueron los esguinces de muñeca, con 7 pilotos y un 43.7% de las lesiones de mano y muñeca. Posiblemente, los impactos al volante del kart sean los que generan este tipo de lesiones. Las direcciones de los karts, no son asistidas y estos volantes suelen estar diseñados con palas centrales que unen el círculo de agarre con el eje de la dirección.

En el caso de las lesiones de tórax (C) fueron clasificadas como las segundas con más índice de lesionados, con un 13.1%. Con la posibilidad de ser el volante el mecanismo lesional de las estructuras torácicas, al no tener los karts, elementos de fijación corporal con el asiento. Revisados los reglamentos en materia de seguridad pasiva de los pilotos, éstos están obligados a usar chalecos torácicos. Estos chalecos, posiblemente, sean los que minimicen los daños del tórax. Andres et al. (2018) estudiaron la lesionabilidad relativa al uso o no de chalecos en deportes equestres. Siendo la equitación una modalidad deportiva muy diferente al karting de competición, el estudio mostró que de

718 jinetes lesionados en los clubs hípicos de los Estados Unidos entre los años 2011 al 2017, se reducía el riesgo relativo a sufrir lesiones en un 56% en aquellos jinetes que usaron chalecos de protección (Andres et al., 2018). Las equimosis y hematomas fueron las lesiones clasificadas en nuestro estudio, no hallándose ningún caso con fracturas costales ni del esternón.

Con el mismo porcentaje de pilotos lesionados (13.1%), se clasificaron las lesiones de codo (E), siendo esta la articulación más expuesta en la posición de conducción, al quedar en los laterales del piloto. Posiblemente, el mecanismo lesional sea por impactos de otros karts. El uso de coderas (no obligatorias por reglamento) y los refuerzos en la zona de los monos de competición, podrían ser motivo de la minimización en las lesiones del codo. Pues el 80% de ellas fueron hematomas en tejidos blandos y un 20% laceraciones o heridas.

Para el resto de lesiones clasificadas en el estudio, se evidenció una dispersión en distintas partes del cuerpo, siendo sufridas por 2 pilotos en el caso del hombro (S) y brazo (U). En el resto de regiones corporales: cuello (N), rodilla (K), tobillo (A), columna lumbar (L), antebrazo (R), pelvis (B), pierna (Q), muslo (T), solo se lesionó un piloto por región. Revisados los informes médicos de los lesionados en la columna lumbar y cuello, siendo estas dos regiones corporales poseedoras de sistemas y órganos vitales, se constató y clasificó que el piloto lesionado en la región lumbar, sufrió una contractura y el del cuello una equimosis/hematoma cervical, siendo estas lesiones de poca gravedad.

Es importante remarcar que no se diagnosticaron ni clasificaron lesiones en las regiones corporales siguientes:

Corazón (MC), sistema neurológico (MN), cráneo-faciales (H), abdomen (O), columna dorsal (D). Se puede evidenciar que algunas de estas regiones y sistemas son vitales y en caso de lesionarse pueden suponer estar delante de lesiones graves.

Los que sufrieron las lesiones más graves, fueron 4 pilotos de la categoría júnior. Fueron fracturas, clasificándose una de tibia (K), el piloto con la lesión más grave en los cinco años del estudio. Las otras 3, forman parte de las lesiones de muñeca y mano (W), 2 pilotos con fracturas de la falange media del 2º dedo y 1 piloto con una fractura de la apófisis estiloides del cubito. Posiblemente, la coincidencia de que los pilotos con las lesiones más graves, en este caso, fracturas, sean todos de la categoría júnior, tenga relación con la mayor velocidad y potencia de sus karts, compitiendo éstos en la categoría de mayor edad de las cuatro estudiadas. Estos pilotos, son los que suelen saltar a campeonatos de fórmulas, si han logrado buenos resultados en el karting,

siendo la júnior y posteriormente la sénior, las categorías con mayor nivel competitivo en este deporte. Stracciolini et al. (2013) analizaron la lesionabilidad en base a la gravedad, ubicación y diagnóstico comparando niños de 5 a 12 años con adolescentes de 13 a 17 años. Realizaron una revisión retrospectiva de 2133 pacientes entre el año 2000 hasta el 2009 que practicaban fútbol o básquet por ocio (y no a nivel competitivo). Demostraron correlaciones significativas de lesiones por grupos de edad, tipo de lesión corporal y área corporal, siendo los adolescentes de 13 a 17 años los que sufrieron lesiones más graves a nivel de tejidos blandos, ligamento cruzado anterior, lesiones meniscales y lesiones por sobrecarga muscular. No siendo un estudio de karting de competición, puede ayudar a confirmar que a mayor edad más graves tienden a ser las lesiones (Stracciolini et al., 2013).

Por todo lo visto con anterioridad, puede ser muy probable que los pilotos, al sufrir lesiones leves (equimosis, hematomas, laceraciones, etc.), en regiones corporales de rápida recuperación, como en las manos, tórax y codo; vuelvan a competir a muy corto plazo, para no perder carreras y puntos de cara a los resultados finales del campeonato. Los resultados de este estudio, podrán ser comparados con futuros estudios, para constatar esta suposición en el karting de competición.

En base al estudio y con el objetivo de plantear posibles medidas para reducir el número de lesionados y aumentar la minimización de la gravedad del tipo de lesiones. El sensibilizar, a los pilotos y familiares, de mantener en buen estado del material de protección de las zonas con más posibilidad de lesionarse, puede ser una buena medida preventiva, más allá de las verificaciones técnicas que ya realizan los comisarios federativos. Estos resultados pueden promover a los fabricantes de equipamientos de seguridad pasiva, que concentren la evolución en el desarrollo de los guantes, chalecos torácicos y protecciones articulares de los monos ignífugos siendo éstas las zonas donde se han hallado más lesiones. En la revisión bibliográfica se encontraron estudios de los mecanismos lesionales y el tipo de lesiones derivadas de la práctica del "Go-kart", donde ninguno de ellos analiza las lesiones en competición y todas sus muestras son con poblaciones de edades muy variadas. Sobre todo, en adultos, siendo esta una limitación de este estudio, para comparar las distribuciones corporales de lesiones entre las dos modalidades. Existiendo la posibilidad que sea el volante del kart y sus palas, los que generen lesiones al impactar mano y muñeca o tórax. Su evolución y desarrollo puede ser una vía preventiva de futuro, para minimizar estos daños.

En el estudio de Eker y cols., se describen los mecanismos lesionales del karting, que coinciden con los de competición con la clara evidencia que los daños derivados de

estos mecanismos, en los niños, posiblemente son mucho menores por el efecto de los elementos de seguridad pasiva homologada (collarín, chaleco torácico, guantes, ropa ignífuga, protectores del kart, etc.) que protegen a los pilotos accidentados de sufrir graves lesiones. Estos elementos, no son utilizados en el "Go-Kart". Eker et al. (2010), Cheng Por y Cheng Chin (2005), Adler (2000) y Whitfield (1998), disponen en sus estudios practicantes con lesiones graves, incluso muertes.

Los estudios de Whitfield y Adler, no diferenciaron los accidentados en karts de los "Fun karts". La muestra del segundo autor sí que coincidía por edad con la de este estudio, pues eran niños accidentados entre 8 y 15 años, pero no se diferenciaron el tipo de vehículos y quedó reflejado en sus resultados que la mayoría de accidentes fueron en jardines, no en competiciones de karts. Todos los estudios revisados del "Go-kart", describen y clasifican lesiones graves y en regiones corporales distintas a las de este estudio. Coincidiendo los mecanismos lesionales del "Go-kart" descritos por Eker, con los del karting de competición, al no quedar fijado el piloto en el asiento del kart, aspecto común en las dos modalidades no podemos comparar los resultados de los estudios de "lesionabilidad" del "Go-kart" con nuestro estudio, pues nuestra muestra es específicamente para las edades de 7 a 15 años. En los estudios publicados, se constata que la gravedad de las lesiones es mayor en el "Go-kart", respecto a los resultados de este estudio del karting de competición. Harán falta más estudios, con poblaciones de las mismas franjas de edad y con los mismos vehículos, para constatar estas diferencias. Es probable, que la utilización de materiales pasivos homologados de seguridad, obligatorios para los pilotos de competición; varíen las regiones lesionadas y minimicen los daños corporales en caso de accidente, a diferencia de los practicantes del "Go-kart".

La dificultad en la medición de la accidentalidad en competición, es una de las limitaciones importantes en este tipo de estudios. Condiciones climáticas, situaciones en las que los pilotos tienen más riesgo de sufrir un accidente, como las salidas de pista, climatología, puntos conflictivos en los trazados de los circuitos, aspectos mecánicos que afectan a la estabilidad del kart, diferencia de potencias, número de vueltas, constitución de los pilotos, estado físico, medidas de los chasis, la ergonomía en el puesto de pilotaje, etc. Otra de las limitaciones se constató en la falta de registros que detallaran información de cada accidente con pilotos lesionados (zona del circuito, en grupo, solo, número de vuelta, etc.). La mejora de los sistemas de registro y la sistematización de los mismos, facilitarían la posibilidad de realizar estudios para obtener más datos clave y llegar a conclusiones que permitan información para la mejora de aspectos de seguridad.

En base a esta limitación, se desarrollarán modelos de registro en carreras, conjuntamente con la FCA, siendo ésta una de las aportaciones del estudio que facilitarán a corto plazo generar bases de datos más completas.

En el caso concreto de estudios epidemiológicos en otros deportes, la “lesionabilidad” se relaciona con las 1000 horas de práctica, siendo esta una limitación en este estudio, al no poder medir la cantidad de horas que dedica cada piloto, en entrenamientos privados, entrenamientos libres y los kilometrajes específicos realizados en ellos. Los resultados de este estudio, están basados en los kilómetros de competición de un número de vueltas que realizaron los pilotos en cada carrera de los campeonatos de Cataluña.

6.2. Discusión del estudio 2

Los resultados de este estudio permiten describir con precisión la técnica de pilotaje de pilotos Senior de karts de competición en los músculos de mayor activación EMG, al realizar la acción de manejo del volante y cambio de marchas. No se han encontrado estudios similares previos y los publicados en relación al karting, no se han centrado en el análisis de las estructuras musculares de los brazos de los pilotos en acción de pilotaje real.

Los resultados del análisis de la actividad muscular general (Tabla 13, Figura 18) evidencian que no se detectaron cambios en la captación de señal, en base al brazo dominante ni en relación a la primera vuelta respecto a la segunda y tercera vuelta al circuito. No se hallaron marcadores de fatiga muscular en ninguno de los pilotos. Los resultados evidencian un aumento de actividad muscular en relación al tipo de kart, con mayor demanda (+0,599 EMG) por parte de los karts con marchas. Este aumento en la actividad muscular es mayor en los pilotos zurdos (+0,765 EMG) que en los pilotos diestros (+0,433 EMG). Posiblemente esto se deba a que la palanca de cambios en este tipo de karts siempre está en el lado derecho, obligando a los pilotos zurdos a hacer su uso con el brazo no dominante generando una solicitud muscular mayor.

Seguramente sería necesario analizar un mayor número de vueltas para detectar la posible fatiga muscular en los brazos de los pilotos de karting de competición. En las competiciones oficiales del circuito de Sallent, la categoría senior realiza un total de 12 vueltas; en futuros estudios se podría utilizar el mismo número de vueltas. En un estudio específico en karting de competición donde se analizó el gasto de energía metabólico y la respuesta de la frecuencia cardíaca encontraron que para llegar a un 82% de la frecuencia cardíaca máxima se requería al menos un rodaje de 45 minutos, sugiriendo la necesidad de un número mayor de vueltas (Durand et al., 2015).

El aumento de actividad muscular detectado en los karts con marchas tiene su justificación en el uso de la palanca de cambios del brazo derecho y la constante fijación al volante del brazo izquierdo para mantener el kart en su trazada, a diferencia de los karts sin marchas donde su pilotaje se realiza con las dos manos en el volante en todo momento. Estos resultados pueden ser utilizados en futuros estudios, en base a las conclusiones del estudio de Hoyes, donde se constataron la falta de referentes en aspectos de preparación física específica para pilotos. (Hoyes et al.,2018).

Los resultados del análisis de la actividad muscular específica (Tabla 14, Figura 22) evidencian que hay cambios en la activación muscular en función del tipo de tramo, con mayores valores medios de demanda en las curvas de izquierda y en las rectas, y menor en las curvas de derecha y en la chicane. Los valores mayores de demanda muscular en curvas de izquierdas (CI) se podrían explicar en que el brazo izquierdo tiene más actividad muscular registrada al ser el brazo que mantiene la trazada del kart en este tipo de curvas. Los valores són más importantes en los karts con marchas ya que en alguna de las curvas de izquierdas dejan la mano derecha suelta para realizar la acción de subida y bajada de marchas con la palanca de cambios, tal como se ha detectado en las imágenes *on board*. El circuito tiene tres curvas de izquierdas muy cerradas, hecho que pueda suponer una mayor solicitud de la actividad muscular en los músculos estudiados. En los karts sin marchas las dos manos se mantienen en el agarre al volante, dispersando la acción muscular a diferencia de los karts con marchas.

En relación a las rectas (RE) se puede apreciar que, con karts de marchas, la mano derecha sube y baja marchas mientras hay un agarre de la mano del brazo izquierdo en el volante. En los karts sin marchas las dos manos están en constante agarre en la recta al volante para realizar la frenada de final de recta. Esta situación posiblemente sitúa la musculatura FCLS en menor activación muscular respecto el brazo derecho.

Los pilotos que usaron karts con marchas, realizaron 3 cambios de marchas en ascenso al inicio de la recta y otros 3 cambios en descenso en la frenada previa a la curva de derechas (CD) del final de recta.

Comparativa del grupo muscular entre brazos

Al comparar los valores EMG medios entre ambos brazos en los grupos musculares estudiados (Tabla 14, Figura 22), los resultados muestran una mayor actividad muscular en todos los grupos musculares del brazo derecho respecto del brazo izquierdo, siendo el pronador el que tiene una mayor diferencia (+1,25 EMG) de captación medio entre brazos. Al analizar estas diferencias entre brazos para cada tipo de tramo (Tabla 15,

Figura 23), los resultados muestran las imágenes una mayor actividad muscular en todos los grupos musculares del brazo derecho respecto del brazo izquierdo para todos los tipos de tramo, excepto en las curvas de izquierda donde la captación de todos los grupos musculares es similar entre ambos brazos.

Esta mayor actividad de los grupos musculares del brazo derecho puede tener origen en el uso de la palanca de cambios de los karts con marchas, donde la necesidad de acción muscular pronadora en la suelta y agarre de la palanca de cambios de este tipo de karts nos aporta resultados que constatan diferencias claves para el pilotaje de unos u otros tipos de karts de competición. Esta acción del brazo derecho se constató en los videos registrados on board en el estudio. Hay que tener en cuenta que el trazado del circuito de Sallent siempre tiene curvas de derechas al final de las rectas, y los resultados demuestran la activación muscular voluntaria del mismo brazo del lado de la curva por encima del lado dominante de cada piloto, para todo tipo de curvas. Esto posiblemente se debió a un proceso de anticipación, que en el deporte se define como la capacidad de predecir comportamientos gracias a la percepción y sincronización de interconexiones sinápticas que dan origen a los movimientos con el fin de dar una respuesta rápida después de la realización de un filtrado para las ejecuciones correctas en el momento indicado, mejorando la acción deportiva (Hernández et al.2011). Esta capacidad de anticipar ha sido establecida como una de las mayores habilidades que adquieren los deportistas debido a la sensibilidad de la percepción y la capacidad de captar y procesar información en un tiempo limitado (Abernethy et al.2012). Simon et al. recientemente han publicado un estudio realizado en un simulador, con 4 pilotos de fórmulas donde constataron los cambios del comportamiento visual o la movilidad cervical y la anticipación, en pilotos sin otros formularios delante de ellos (pista libre) o con ellos delante (persecución). Este estudio constató una reducción de las tasas de fatiga en los músculos del cuello cuando los conductores siguieron otra fórmula. Sugiriendo una reducción de los movimientos de la cabeza al coger de referencia/anticipación el vehículo anterior (Simon et al.2019). Nuestro estudio se realizó con pilotos que ya conocían el trazado del circuito de Sallent i sin otros karts en pista, es posible que la anticipación que active los músculos del brazo del mismo lado de las curvas tenga origen en ese conocimiento previo.

Las imágenes del anexo 6 con el detalle de los karts con marchas aportan un apoyo gráfico importante. La mayor diferencia de actividad media entre brazos en el músculo pronador, se puede justificar a partir de seis accionamientos de palanca con la mano derecha en cada vuelta, para la aceleración y posterior desaceleración de la recta principal del circuito, ya que se utiliza el brazo derecho en la acción y uso de la palanca

de cambios en cada acción de suelta del volante para activar la palanca de cambios. El pronador del brazo izquierdo queda condicionado en su rendimiento, por estar siempre fijo al volante.

Aunque no hay significancia, en la CI es el único tramo donde los valores EMG medios del brazo izquierdo son mayores que en el derecho. Esto nos permite volver a afirmar que no hay predominio de la actividad motora muscular en relación al lado dominante de los pilotos, prevaleciendo el sentido de la curva de trazado para activar la musculatura del brazo del lado mismo del trazado de curva en base a la anticipación.

De las tres curvas de izquierdas del circuito, dos son muy cerradas y la otra es abierta en trazado de aceleración, aumentando la mayor solicitud muscular del brazo izquierdo en el agarre al volante mientras la mano derecha acciona la palanca de cambios (ver anexo 7) En el caso del brazo derecho, serán los karts con marchas que provoquen un aumento de solicitud de la musculatura de este brazo, donde trabaja más en las RE y CH, y se justifica con las curvas de derechas (CD) pues es de predominio muscular del mismo brazo derecho por ser del mismo sentido que la curva. En el caso de la CH, su primera curva de entrada también es de derechas con salida e izquierdas.

Comparativa entre grupos musculares del mismo brazo

Al comparar los valores EMG medios entre los grupos musculares estudiados de cada brazo (Tabla 14, Figura 20), los resultados muestran que los grupos musculares en el brazo izquierdo se clasifican en tres niveles en función de la actividad muscular (de mayor a menor): a) BBLS; b) ECLS; c) FCLS y PLS tienen una actividad muscular intermedia entre los niveles b y c. En el brazo derecho los resultados muestran que los grupos musculares se clasifican en dos niveles en función del valor EMG (de mayor a menor): a) BBRS y PRS; b) FCRS y ECRS tiene un rendimiento muscular intermedio entre los niveles a y b.

La justificación de estos resultados se basa en que la musculatura del brazo izquierdo participa estando siempre esa mano en agarre al volante en los karts con marchas y se constata un aumento de la actividad muscular en relación al brazo derecho que necesita soltarse del volante para subir y bajar marchas. El bíceps braquial (BB) de ambos brazos es el músculo con la mayor captación en todos los pilotos y tipos de karts. El pronador del brazo derecho se iguala a la actividad muscular del bíceps derecho, por su acción en la subida y bajada de marchas en los karts con marchas, siendo este músculo clave para la suelta del volante y accionamiento de la palanca de cambios del

lado derecho de los karts con marchas. El pronador del brazo derecho, queda a un tercer nivel de demanada muscular a diferencia del pronador del brazo izquierdo.

Los resultados constatan la importancia del músculo bíceps braquial para pilotar karts. El bíceps braquial es biarticular y tiene una acción motora flexora de codo, flexora del hombro y supinadora (Neumann, 2016), que permite alternar el movimiento asimétrico cuando las dos manos están agarradas al volante, acción clave en el pilotaje de karts sin marchas donde las dos manos se mantienen en el volante en todo el trazado del circuito a diferencia de los karts con marchas.

Las diferencias en relación a los extensores de muñeca del brazo izquierdo y derecho de ambos brazos, vienen marcadas por el uso de la palanca de cambios de los karts con marchas y la alta actividad del pronador del brazo derecho clave para activar la misma. En el caso de los flexores y extensores del brazo derecho su acción es clave para el agarre alternativo del volante y de la palanca de cambios, y por ello están en el segundo nivel de actividad muscular del brazo derecho.

Comparativa entre grupos musculares para cada tipo de tramo

Al comparar los resultados de la actividad EMG en cada grupo muscular entre tipos de tramo (Tabla 15), se detecta mayoritariamente diferencias significativas concentradas en los grupos musculares del brazo izquierdo, mientras que el rendimiento de cada grupo muscular del brazo derecho es similar entre los tipos de tramo. En todos los grupos musculares del brazo izquierdo, hay un mayor rendimiento en CI, intermedio en CD y RE y menor en CH.

En los resultados sobre las diferencias en la actividad EMG entre grupos musculares para el mismo tipo de tramo (Tabla 15), se detectan diferencias significativas entre grupos musculares en todos los tipos de tramos. Los resultados muestran que en: CD hay una mayor actividad en todos los grupos musculares del brazo derecho respecto a todos los grupos musculares del brazo izquierdo. La justificación para estos resultados en las CD puede ser debida a la acción de la palanca de cambios de los karts con marchas con la mano derecha que hemos descrito anteriormente. Además, en los karts sin marchas es donde se constata más el predominio de la musculatura del brazo del lado en base al sentido de las curvas, al tener las dos manos fijas en el volante en su pilotaje. Este circuito tiene un total de cinco curvas de derechas por tres curvas de izquierdas.

En CI, BBLS, ECLS, PLS y PRS tienen la mayor actividad y BBRS y FCRS la tienen menor. FCLS y ECRS tienen una actividad muscular intermedia a los dos niveles

anteriores. En CH hay una mayor actividad en todos los grupos musculares del brazo derecho, ECLS, FCLS y BBLS tienen una actividad media y PLS tiene la menor actividad.

En las CI para el brazo izquierdo, se detecta una mayor actividad en los músculos BBLS y ECLS con los PLS del mismo brazo izquierdo y también el PRS del brazo derecho. En base a estos resultados, también se repite y ratifica el hallazgo anteriormente citado en relación a la activación muscular del mismo lado del sentido de la curva. (Hernández et al.2011, Abernethy et al.2012). Singularmente, el PRS del brazo derecho parece que ayuda al giro del volante en las CI (Pick and Cole, 2006).

En los resultados mostrados en la tabla 15, se constata que el lado dominante del piloto no prevalece a la actividad motora voluntaria del brazo del mismo lado que el sentido de la curva. (Hernández et al.2011, Abernethy et al.2012). Este hallazgo es importante para futuras aplicaciones en programas de entreno y reducción del riesgo a sufrir lesiones.

En CH hay una mayor captación de todos los músculos del brazo derecho al ser la entrada de la CH de sentido derecho con rápido y leve giro de izquierdas (anexo 8). En RE hay una mayor actividad en todos los grupos musculares del brazo derecho, BBLS tiene una actividad media y FCLS y PLS tienen la menor actividad. ECLS tiene una actividad intermedia entre BBLS y FCLS-PLS.

En la RE, la mayor captación se concentra en todos los músculos analizados del brazo derecho por la acción de la citada palanca de cambios en la aceleración y frenada. Recordemos que son seis accionamientos de la palanca de cambios en los karts con marchas. En el caso de los karts sin marchas puede tener justificación por el hecho que este tramo RE los pilotos lo realizan pegados al lado izquierdo de la RE, para finalizar esta con una CD (tramo 2-3), activándose en la recta la musculatura del brazo derecho para realizar esa curva por la anticipación, como demuestran los registros EMG, siempre con las dos manos en el volante (anexo 9).

La actividad muscular de todos los músculos del brazo derecho en la RE es superior que en las CD para ese mismo brazo sin tener diferencias significativas. Es un hallazgo que podría tener justificación en base a lo mencionado anteriormente por la anticipación neurológica y por ser en las rectas donde hay máxima entrega de potencia y máxima velocidad con máxima desaceleración por su frenada final (Hernández et al.2011, Abernethy et al.2012).

Comparativa de grupos musculares para cada tipo de tramo entre tipo de kart

Los resultados de las diferencias entre pilotos de karts con marchas y los de karts sin marchas en cada tipo de tramo (Tabla 17) muestran que la actividad muscular es diferente en todos los grupos musculares, excepto ECRS en CI y FCRS en CH, donde la captación es similar en ambos tipos de karts. En cuanto el BBLS, la actividad muscular en CD, CI y RE es mayor en los karts sin marchas y en CH mayor en los karts con marchas (anexo 10). La activación muscular del BBLS es importante para el pilotaje de este tipo de karts sin marchas en todo tipo de tramos. Este músculo del brazo izquierdo ha demostrado ser el que más trabaja en el manejo del volante; teniendo en cuenta que la mayoría de los pilotos son diestros y que las dos manos tienden a estar agarradas al volante, es un hallazgo singular. En la CH el BBLS tiene mayor actividad muscular en karts con marchas, posiblemente por la acción de giro rápido del volante en el trazado de la chicane, pues el brazo izquierdo siempre estará guiando y colocando el kart, mientras la mano derecha actúa en la palanca de cambios.

La actividad muscular del ECLS y PLS en RE es mayor en los karts sin marchas y del CD, CI y CH mayor en los karts con marchas. El brazo izquierdo en el kart con marchas lleva a cabo una acción de agarre y mantenimiento del kart en la trazada, ya que los karts con marchas son más potentes y requieren una activación muscular superior a diferencia de los karts sin marchas.

El rendimiento muscular del FCLS de todos los tramos es mayor en los karts con marchas. En base a los resultados, este músculo es clave para el agarre de los dedos al volante en el cierre de la mano del brazo izquierdo, siendo este primordial para mantener la trazada del kart con marchas, mientras el otro brazo da manejo a la palanca de cambios.

En el brazo derecho la captación de todos los grupos musculares es mayor en los karts sin marchas, excepto ECRS en CD. Esto pueda ser debido al mayor número de CD en este circuito (un total de 5). Otra explicación posible es el aumento de tono asociado al lado dominante de los pilotos, siendo la mayoría diestros en este estudio.

Estos resultados demuestran actividades musculares distintos entre los dos tipos de karts, justificados por la palanca de cambios, la mayor potencia y mayores prestaciones de frenada de los karts con marchas. En un futuro se deberían realizar protocolos de entrenamiento físico más específicos para los pilotos de karts con marchas y sin marchas.

Comparativa de los grupos musculares del brazo correspondiente al sentido de la curva

Al estudiar las diferencias en la actividad EMG de los grupos musculares del brazo izquierdo en la curva de izquierda (CI), (Tabla 18, Figura 24), los resultados indican que hay diferencias significativas de BB y P respecto a EC y FC, específicamente, esta diferencia es de media +1,5 EMG. En la curva de derecha los resultados indican que hay diferencias significativas en la actividad muscular al comparar la actividad EMG de BB y P respecto a FC, EC tiene un valor intermedio y específicamente, esta diferencia es de media +0,5 en FC y +0,2 en EC.

Se evidencia en base a estos resultados que el lado dominante de los pilotos no afecta a la actividad motora voluntaria muscular, pues marca la activación de los músculos del mismo brazo del sentido de la curva, siendo el BB y P (pronador) los que tienen diferencias significativas respecto los EC y FC en las CI. Y para las CD se ratifican los mismos resultados que en el brazo izquierdo.

Limitaciones del estudio

Este estudio se realizó con karts de competición, siendo este un deporte de altos costes. Esto generó la limitación más importante del estudio, para lograr un número alto de participantes. El precio de un kart con marchas de los usados en el estudio, es de 10.000€ con un coste de rodaje/mantenimiento de 80€/h. Los karts sin marchas usados en el estudio tienen un precio de 8500€ con un coste de rodaje/mantenimiento de 65€/h. (Fuente KPS Racing y Kart Francis Spain). Además, se deben sumar los altos costes de alquiler y servicios de circuito que en el circuito donde realizamos el estudio tiene un coste de 500€ cada 4 horas. (Fuente: *Circuit de Sallent*).

A efectos de exigencia de pilotaje y fuerzas G, los karts con marchas tienen 50CV de potencia, usando dos frenos de disco delanteros y uno trasero. A diferencia, los karts sin marchas tienen 40CV de potencia y usan un solo freno de disco posterior.

Los dos tipos de karts no tienen dirección asistida, ni asistentes hidráulicos para la dirección que faciliten el giro de las ruedas. Se mantuvieron las mismas condiciones mecánicas a nivel de presión de neumáticos, estado del desgaste de neumáticos, y condiciones de la pista en cada una de las tomas de datos realizadas en el circuito.

VII. CONCLUSIONES

7.1. Conclusiones del estudio 1

Los estudios epidemiológicos son esenciales para determinar y conocer la situación actual en base a la “lesionabilidad” y los factores de riesgo que derivan de la práctica del karting de competición. Actualmente no se han encontrado estudios específicos previos de este deporte, lo que indica una necesidad de abrir nuevas líneas de trabajo en esta modalidad deportiva. En los años 2005 y 2007, y en los circuitos de Sils, Mora y Juneda fué donde se hallaron diferencias significativas en el número de pilotos lesionados en relación al número de participaciones. No se hallaron resultados significativos que relacionaran el mayor número de lesionados en base a las categorías.

En función de los objetivos propuestos en el primer estudio de esta tesis, se requieren futuros estudios que comparen los índices de “lesionabilidad” hallados en nuestro estudio con otros estudios de la misma modalidad deportiva, y con pilotos de las mismas edades y similares kilometrajes competidos, para determinar diferencias y/o similitudes.

La mayor distribución de lesiones corporales se halló en manos y muñecas, seguida de las lesiones en el tórax y el codo. Esta información puede ser importante para los fabricantes que diseñan y mejoran los elementos de seguridad pasiva. En cuanto el tipo de lesiones, se evidenció que la mayoría eran leves (equimosis, hematomas y laceraciones) permitiendo la pronta incorporación del piloto a las siguientes competiciones. Las lesiones más graves fueron las fracturas que sufrieron pilotos de la categoría júnior, siendo los pilotos con mayor edad.

Es clave proponer nuevos sistemas de registro homogeneizados en las carreras, que recojan más información de todas las variables de interés que intervienen en un accidente en competición con o sin lesionados. Con ello se podrá continuar realizando estudios específicos de esta modalidad para que todos los implicados, en especial las federaciones y organizadores, puedan maximizar la seguridad con la cultura de la prevención más allá de las normas del reglamento.

7.2. Conclusiones del estudio 2

La selección de los músculos estudiados con EMG en el estudio 2 de esta tesis puede servir para futuros estudios en automovilismo de competición.

Los resultados obtenidos no hallaron diferencias significativas en la activación muscular en función del número de vueltas ni en la activación de los músculos de ambos brazos. No se hallaron marcadores de fatiga muscular, siendo necesarios estudios con más kilometraje en el circuito. Sin embargo, sí encontramos diferencias significativas en relación al tipo de kart (con y sin marchas) y el brazo dominante, donde los pilotos zurdos

usando karts con marchas llegaron casi al doble de actividad muscular de todos los músculos analizados que los diestros usando el mismo kart.

El músculo pronador del brazo derecho demostró ser clave para la acción de cambio de marchas. Aconsejamos que se ubiquen las palancas de cambios en el mismo lado del brazo dominante, siendo esta una propuesta de futuro a nivel ergonómico.

La actividad muscular obtenida por cada piloto sigue una distribución homogénea, mostrando diferencias entre los pilotos que usaron karts con marchas de los que usaron karts sin marchas. Las adaptaciones técnicas de los dos tipos de karts y las variaciones según los tramos del circuito de Sallent.

La actividad muscular de los pilotos de karting es voluntaria e basada en la anticipación, siendo los músculos del brazo del mismo sentido de las curvas los primeros en activarse, prevaleciendo el sentido de las curvas al lado dominante de cada piloto. Los músculos bíceps braquial y pronador son los que tienen diferencias significativas respecto a los extensores y flexores en las curvas de izquierdas. Y para las curvas de derecha se ratifican los mismos resultados que en el brazo izquierdo.

La actividad muscular en el pilotaje de karts con marchas y karts sin marchas es diferente. En los karts con marchas, los músculos del brazo izquierdo se ocupan del trazado y colocación del kart, mientras el brazo derecho selecciona las marchas dando uso a la palanca de cambios y puntualmente agarrando el volante. Los rendimientos musculares necesarios para pilotar un kart con marchas son mayores que los de un kart sin marchas, incluidos sus diferenciales técnicos y de prestaciones mecánicas. En los karts sin marchas las dos manos están en agarre constante al volante realizando de forma simétrica el mismo trabajo muscular en ambos brazos. Los resultados de este estudio pueden facilitar más especificidad en los entrenos y preparación física de los pilotos según el tipo de kart que utilicen, y muestran la necesidad de diseñar programas de entrenamiento específicos, tal y como sugirieron Backman et al., 2005 y Hoyes et al., 2018.

Este estudio constata la importancia del músculo bíceps braquial para pilotar karts. Este músculo biarticular tiene una acción motora flexora de codo, flexora del hombro y supinadora, alternando el movimiento asimétrico cuando las dos manos están agarradas al volante en los karts sin marchas donde se tienen las dos manos en el volante en todo el trazado del circuito, a diferencia de los karts con marchas.

Los músculos flexores de la muñeca de brazo izquierdo son los de mayor actividad muscular en todos los tramos analizados en los karts con marchas. En base a los resultados, estos músculos son clave para el agarre de los dedos al volante en el momento de cerrar la mano del brazo izquierdo, siendo primordial para mantener la trazada de este tipo de karts. La actividad muscular de los flexores, extensores y pronador del brazo izquierdo en la chicane y curvas de derecha e izquierda y de extensores del brazo derecho en las curvas de derecha es mayor en los karts con marchas.

Una limitación importante de este estudio ha sido los pocos pilotos de la muestra. Es uno de los deportes base con más costes económicos. Hacen falta futuros estudios en condiciones reales de pilotaje para conocer la actividad muscular en una muestra mayor, y en otras categorías. Sería importante estudiar la fatiga muscular de los músculos analizados.

VIII. APLICABILIDAD DEL ESTUDIO Y LÍNIAS FUTURAS

Estos resultados muestran la necesidad de diseñar realizar programas de preparación física específicos para los músculos con mayor rendimiento en el karting de competición, teniendo en cuenta el riesgo de lesionalbilidad y la demanada muscular propia de este deporte. Asimismo, debería tenerse en cuenta el tipo de kart que cada piloto utiliza. Se proponen programas de entreno propioceptivo según las categorías de karting donde compitan estos jóvenes pilotos y el tipo de kart que usen, complementándose con programas de simulación de trazado que pueden ayudar a preparar las competiciones, usando simuladores o ejercicios de proyección mental para el gesto de pilotaje sin necesidad de estar pilotando en el circuito. Deberíamos evaluar dichos programas mediante un ensayo clínico aleatorizado.

Un buen programa específico de preparación física nos podría permitir prevenir lesiones y optimizar el rendimiento de los pilotos. Las categorías de karts con marchas son la puerta de acceso a categorías superiores como las fórmulas de promoción. Estos formulas, usan sistemas similares de activación de marchas con palancas de cambios hasta llegar a las categorías superiores, también de fórmulas donde los ingenieros, en base a los reglamentos, equipan con levas y pulsores en el volante, minimizando las solicitudes musculares. En este tipo de fórmulas superiores, el trabajo de manejo del volante es muy similar al de los karts sin marchas de este estudio, quedando las dos manos siempre en el voindexlante para mantener las trazadas del circuito. Un ejemplo lo encontramos en los Fórmulas Renault, que són el escalon superior al karting y revisados los aspectos técnicos del mismo tienen como categoría básica el Formula Renault 1.6 (con palanca de cambios en el lado derecho) y la Formula Renault 2.0 (con pulsores y levas para cambiar marchas en el volante) (anexos 11 y 12).

Otra futura línea de investigación que se propone a raíz de los resultados de este estudio es la investigación de la fatiga muscular en los pilotos de automovilismo. Seria aumentando el número de vueltas en el diseño de futuros estudios. Para poder analizar la aparición de fatiga muscular y saber en qué músculos aparece primero, en base a los músculos seleccionados en este estudio.

Se podría plantear también la posibilidad de fabricar karts con la palanca de cambios en el lado izquierdo, para reducir la mayor solicitud muscular detectada en este estudio, por parte de los pilotos zurdos que usan karts con la palanca en el lado derecho. Después de haber consultado con varios fabricantes, se constata, que a día de hoy no se fabrican karts con palanaca de cambios en el lado izquierdo para pilotos zurdos. A nivel preventivo, estos pilotos zurdos no harían este gran esfuerzo muscular y les sería más fácil pilotar usando la palanca de cambios con su brazo dominante. Nos consta que esta

disposición única de la palanca de cambios en el lado derecho, también se repite en las fórmulas de promoción superiores al karting como la Renault, Ford y Opel.

Al haberse hallado diferencias significativas en los músculos analizados en base a los tramos, se podrían diseñar más estudios para encontrar programas de reducción del riesgo de sufrir lesiones y preparación física adaptados a las particularidades de cada circuito, según los diferentes tipos de tramos que dispongan sus trazados. El desarrollo de futuros estudios con el uso de simuladores de pilotaje y videoconsolas con habitáculo simulado, puede ser una futura línea de investigación para el automovilismo de competición.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Adachi, N., Nawata, K., Maeta, M., & Kurozawa, Y. (2008). Relationship of the menstrual cycle phase to anterior cruciate ligament injuries in teenaged female athletes. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 128(5), 473-478.
- Adler, P. (2000). Go-kart related injuries and deaths to children. <https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/go-kart.pdf>
- Ahmad, M., Sinha, P., Al-tamimi, Y.Z., Sylvester, D., Dezso, A., & Timothy, J. (2011). The Isadora syndrome: A case report of cervical, oesophageal and tracheal transection in a go-karting accident. *British Journal of Neurosurgery*, 25(2), 310-312.
- Abernethy B., Schorer J., Jackson RC., Hagemann N. (2012). Perceptual training methods compared: the relative efficacy of different approaches to enhancing sport-specific anticipation. *J. Exp. Psychol. Appl*, 18(2):143-53.
- Allen, D.G., Lannergren, J., & Westerblad, H. (1995). Muscle cell function during prolonged activity: cellular mechanisms of fatigue. *Experimental Physiology*, 80(4), 497-527.
- Ament, W., & Verkerke, G.J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39(5), 389-422.
- Andersen, T.E., Floerenes, T.W., Arnason, A., & Bahr R. (2004). Video analysis of the mechanisms for ankle injuries in football. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(1 Suppl), 69S-79S.
- Andres, S. A., Bushau-Sprinkle, A. M., Brier, M. E., & Seger, Y. R. (2018). Effects of body protection vests and experience levels in prevention of equestrian injuries. *BMJ open sport & exercise medicine*, 4(1), e000426. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000426>
- Arnason, A., Gudmundsson, A., Dahl, H.A., & Johannsson, E. (1996). Soccer injuries in iceland. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 6(1), 40-45.
- Arnason, A., Sigurdsson, S.B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R (2004). Risk factors for injuries in football. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(1 Suppl), 5S16S.
- Backman, J., Häkkinen, K., Ylinen, J., Häkkinen, A., & Kyröläinen, H. (2005). Neuromuscular performance characteristics of open-wheel and rally drivers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 777-784.
- Bahr, R., & Holme, I. (2003). Risk factors for sports injuries-a methodological approach. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 384-392.
- Bahr, R., & Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 324-329.
- Baur, H., Müller, S., Hirschmüller, A., Huber. G., & Mayer, F. (2006). Reactivity, stability, and strength performance capacity in motor sports. *British Journal of Sports and Medicine*, 40(11), 906-911.
- Berger-Vachon, C., Gabard, G., & Moyon, B. (1986). Soccer accidents in the french rhone-alpes soccer association. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 3(1), 69-77.

- Bergström, M., & Hultman, E. (1991). Relaxation and force during fatigue and recovery of the human quadriceps muscle: relations to metabolite changes. *Pflügers Archiv*, 418(1-2), 153-160.
- Best, J.P., McIntosh, A.S., & Savage, T.N. (2005). Rugby world cup 2003 injury surveillance project. *British Journal of Sports Medicine*, 39(11), 812-817.
- Beynon, B.D., Renstrom, P.A., Alosa, D.M., Baumhauer, J.F., & Vacek, P.M. (2001). Ankle ligament injury risk factors: A prospective study of college athletes. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 19(2), 213-220.
- Bigland-Ritchie, B., Johansson, R., & Woods, J. (1983). Contractile speed and EMG changes during fatigue of sustained maximal voluntary contractions. *Journal of Neurophysiology*, 50(1), 313-324.
- Bley, T., & Gahr, R.H. (2002). Risks and injuries of go-karting. *Zentralbl.Chir*, 127(6), 523-526.
- Borschel, G.H. (2010). A Three-Subunit Latissimus Dorsi Muscle Free Flap for Single-Stage Coverage of the Hand and Three Adjacent Fingers. *Hand (New York, N.Y.)*, 5(1), 99-101.
- Brimioulle, M., King, M., Bowles, P., & Saunders, N. (2017). Go-karting injury: a case of laryngeal trauma. *BMJ Case Rep*.13. bcr-2017-220070. doi: 10.1136/bcr-2017-220070.
- Brooks, J. H., & Fuller, C.W. (2006). The influence of methodological issues on the results and conclusions from epidemiological studies of sports injuries: Illustrative examples. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(6), 459-472.
- Cavalcanti, M., & Vieira, M. (2011). Surface electromyography: Why, when and how to use it. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 4(1), 17-28.
- Chomiak, J., Junge, A., Peterson, L., & Dvorak, J. (2000). Severe injuries in football players. influencing factors. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S58-68.
- Christensen, H., & Fuglsang-Frederiksen, A. (1988). Quantitative surface EMG during sustained and intermittent submaximal contractions. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70(3), 239-247.
- Christian, R., Platzer, H.P. & Patterson, C. (2013). Physical characteristics of experienced and junior open-wheel car drivers. *Journal of sports sciences. J Sports Sci*, 31(1):58-65 31 doi: 10.1080/02640414.2012.720703.
- Ng C, Chung C. Go-Kart Related Injuries: A Local Scene. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine*. 2005;12(1):14-22.
- CIK-FIA (Comission Internationale de Karting). (2009). Homologations Regulations. http://www.cikfia.com/fileadmin/content/REGULATIONS/Homologations/Homologated%20Equipment/2018/Homol_Combi_Web.pdf
- Clarys, J., & Cabri, J. (1993). Electromyography and the study of sports movements: a review. *Journal of Sports Sciences*, 11(5), 379-448.

- Comissió Karting FCA. (2009). Reglament Esportiu i Tècnic del Campionat de Catalunya de Karting.
http://inseleg.eurowintuweb.com/user_files/inseleg/File/regltec.pdf
- Cram, J. R., Kasman, G. S., & Holtz, J. (1998). Introduction to surface electromyography. Gaithersburg, Md: Aspen Publishers.
- Criswell, E., (2011). Cram's Introduction to Surface Electromyography. Massachusetts, USA: Jones and Bartlett Publishers
- Davis, M., & Walsh, D. (2010). Mechanisms of fatigue. *The journal of Supportive Oncology*, 8(4), 164-174.
- Delmuns, S., Roig, M., Javierre, C., Mans, C., Giné-Garriga, M. (2014). Epidemiological Study of Injuries Arising from Karting Competition in Children. *Journal of Community Medicine and Health Education*. 4 (301). doi:10.4172/2161-0711.1000301
- De Luca, C.J., & Merletti, R. (1988). Surface myoelectric signal cross-talk among muscles of the leg. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69(6), 568-575.
- Denes, E., Cypierre, A., Vacquier, J., Matt, M., & Weinbreck, P. (2013). Meningitis due to *Fusobacterium nucleatum* after a kart crash. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 43(11-12), 486-7.
- Dick, R., Putukian, M., Agel, J., Evans, T.A., & Marshall, S.W. (2007). Descriptive epidemiology of collegiate women's soccer injuries: National collegiate athletic association injury surveillance system, 1988-1989 through 2002-2003. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 278-285.
- Dilip R., Yamasaki, A., & Brown, K. (2017). Epidemiology of sports-related musculoskeletal injuries in young athletes in United States. *Translational Pediatric*, 6(3), 160–166.
- Dimitrova, N., & Dimitrov, G. (2003). Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(1), 13-36.
- Durand, S., Ripamonti, M., Rahmani, A., & Beaune, B. (2015). Bioenergetical and Cardiac Adaptations of Pilots to a 24-Hour Team Kart Race. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (11), 3234-3239.
- Dvorak, J. (2011). Osteoarthritis in football: FIFA/F-MARC approach. *British Journal of Sports Medicine*, 45(8), 673-676.
- Dvorak, J., & Junge, A. (2000). Football injuries and physical symptoms. A review of the literature. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S3-9.
- Dvorak, J., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., Peterson, L., Rosch, D., & Hodgson, R. (2000). Risk factor analysis for injuries in football players. possibilities for a prevention program. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S69-74.
- Dvorak, J., Junge, A., Grimm, K., & Kirkendall, D. (2007). Medical report from the 2006 FIFA world cup germany. *British Journal of Sports Medicine*, 41(9), 578-81.

- Ebben, W.P., Suchomel, T.J., & Garceau, L.R. (2011). Pilot study of the physical demands and conditioning practices of short track car drivers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 23-24.
- Eker, H.H., Van Lieshout, E.M., Den Hartog, D., & Schipper, I.B. (2010). Trauma mechanisms and injuries associated with go-karting. *The Open Orthopaedics Journal*, 4, 107-110.
- Ekstrand, J., Gillquist, J., & Liljedahl, S.O. (1983). Prevention of soccer injuries. supervision by doctor and physiotherapist. *The American Journal of Sports Medicine*, 11(3), 116-120.
- Emery, C.A. (2012). Identifying risk factors for hamstring and groin injuries in sport: A daunting task. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 22(1), 75-77.
- Engebretsen, A. H., Myklebust, G., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2008). Prevention of injuries among male soccer players: A prospective, randomized intervention study targeting players with previous injuries or reduced function. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(6), 1052-1060.
- Engebretsen, A. H., Myklebust, G., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2010). Intrinsic risk factors for hamstring injuries among male soccer players: A prospective cohort study. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(6), 1147-1153.
- Enoka, R.M. (2008). *Neuromechanics of Human Movement*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Enoka, R.M. (1995). Mechanisms of muscle fatigue: Central factors and task dependency. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5(3), 141-149.
- Enoka, R.M., & Stuart, D.G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue, 72(5), 1631-1648.
- Farina, D., Merletti, R., & Stegeman, D. (2004). Biophysics of the Generation of EMG Signals. *Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications*. 81-105
- Federación Española de Automovilismo. (FEA). (2009). Informe FEA Karting.
- FIA Katering Competition (2019). History. <https://www.fiakarting.com/history/1956>
- FIA. (2009). Anti-Doping Guide for Drivers.
- FIA. (2016). A Guide to Doping Control Organisation.
- Finch, C.F. (1997). An overview of some definitional issues for sports injury surveillance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 24(3), 157-163.
- Finch, C.F. (2006). A new framework for research leading to sports injury prevention. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 9(1-2), 3-9.
- Finch, C.F., Valuri, G., & Ozanne-Smith, J. (1999). Injury surveillance during medical coverage of sporting events--development and testing of a standardised data collection form. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 2(1), 42-56.
- Forssblad, M., Weidenhielm, L., & Werner, S. (2005). Knee surgery costs in football, floor ball, european team handball and ice hockey. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15(1), 43-47.

- Freeman, B.J., Feldman, A., & Mackinnon, J. (1994). Go-kart injuries of the shoulder region. *Injury*, 25(8), 555-557.
- Fuller, C. W., Molloy, M.G., Bagate, C., Bahr, R., Brooks, J.H., Donson, H., & Wiley, P. (2007). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures for studies of injuries in rugby union. *British Journal of Sports Medicine*, 41(5), 328-331.
- Fuller, C.W., Ekstrand, J., Junge, A., Andersen, T.E., Bahr, R., Dvorak, J., & Meeuwisse, W.H. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 16(2), 97-106.
- Fuller, C.W., Junge, A., Dorasami, C., Decelles, J., & Dvorak, J. (2011). '11 for health', a footballbased health education programme for children: A two-cohort study in mauritius and zimbabwe. *British Journal of Sports Medicine*, 45(8), 612-618.
- Gandevia, S. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789.
- Gardiner, P. (2011). *Advanced Neuromuscular Exercise Physiology*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Gatell, A. (1999). "Derecho del deporte: Alto nivel". Universitat de Lleida.
- Goldberg, A.S., Moroz, L., Smith, A., & Ganley, T. (2007). Injury surveillance in young athletes: A clinician's guide to sports injury literature. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(3), 265-278.
- Goubier, J., & Saillant, G. (2003). Chronic compartment syndrome of the forearm in competitive motor cyclists: a report of two cases. *British Journal of Sports Medicine*, 37(5), 452-453.
- Govaert, M.J., Ponsen, K.J., de Jonge, L., the de Wit, L.T., & Obertop, H. (2001). Fracture of the pancreas in two patients after a go-kart accident. *HPB (Oxford)*, 3(1), 3-6.
- Green, H.J. (1997). Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 247-256.
- Güven, E., Başaran, K., Meyzin, I., Keklik, B., & Emekli, U. (2011). Replantation of scalp avulsion following a go-kart accident: a case report. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 17(2), 177-179.
- Hagglund, M., Walden, M., Bahr, R., & Ekstrand, J. (2005). Methods for epidemiological study of injuries to professional football players: Developing the UEFA model. *British Journal of Sports Medicine*, 39(6), 340-346.
- Harrison, E.L., & Price, C.J. (1992). Sports injury/illness reporting at major sporting events: Development and implementation of a data collection system. *Physiotherapy Canada*, 44(4), 19-22.
- Hedde, R.M., & Robb, W.A. (1974). Go-kart injuries of the urethra. *Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh*, 19(5), 310-312.
- Heiderscheit, B.C., Sherry, M.A., Silder, A., Chumanov, E.S., & Thelen, D.G. (2010). Hamstring strain injuries: Recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40(2), 67-81.

- Hernández H., Oña A., Bilbao A., Ureña A., Bolaños J. (2011). Efecto de la aplicación de un sistema automatizado de proyección de preíndices para la mejora de la capacidad de anticipación en jugadoras de voleibol. *Revista de Psicología del Deporte*, 20(2):551-72.
- Howe, L., Waldron, M., Read, P. (2017). A Systems-Based Approach To Injury Prevention For The Strength And Conditioning Coach. *Strength and Conditioning Journal*, 39(6):1.
- Hewett, T.E., Zazulak, B.T., & Myer, G.D. (2007). Effects of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injury risk: A systematic review. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(4), 659-668.
- Hootman, J.M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 311-319.
- Hortobagyi, T., Faludi, J., Tihanyi, J., & Merkely, B. (1985). Effects of intense "stretching"-flexibility training on the mechanical profile of the knee extensors and on the range of motion of the hip joint. *International Journal of Sports Medicine*, 6(6), 317-321.
- Hosea, T.M., Carey, C.C., & Harrer, M.F. (2000). The gender issue: epidemiology of ankle injuries in athletes who participate in basketball. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (372), 45-49.
- Hoyes, K., & Collins, D. (2018). Fit to race: Identifying the balance, type and sources of knowledge in fitness for Motorsport. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 11, 35-41.
- Inklaar, H. (1994). Soccer injuries II: Aetiology and prevention. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 18(2), 81-93.
- Institute For Motor Sport Safety. (2011). *A Driver's Guide to Safe Motor Sport*. FIA
- Junge, A., & Dvorak, J. (2000). Influence of definition and data collection on the incidence of injuries in football. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S40-6.
- Junge, A., Dvorak, J., Graf-Baumann, T., & Peterson, L. (2004). Football injuries during FIFA tournaments and the olympic games, 1998-2001: Development and implementation of an injury-reporting system. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(1 Suppl), 80S-9S.
- Junge, A., Engebretsen, L., Alonso, J.M., Renstrom, P., Mountjoy, M., Aubry, M., & Dvorak, J. (2008). Injury surveillance in multi-sport events: the international Olympic committee approach. *British Journal of Sports Medicine*, 42(6), 413-421.
- Junge, A., Langevoort, G., Pipe, A., Peytavin, A., Wong, F., Mountjoy, M., ... Dvorak, J. (2006). Injuries in Team Sport Tournaments during the 2004 Olympic Games. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(4), 565-576.
- Kamen, G., & Gabriel, D.A. (2010). *Essentials of Electromyography*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Kamphuis, S.J., Meijs, C.M., Kleinveld, S., Diekerhof, C.H., & van der Heijden, F.H. (2015). Talar Fractures in Children: A Possible Injury After Go-Karting Accidents. *Journal of Foot & Ankle Surgery*, 54(6), 1206-1212.

- Kim, T. & Wagner, J. (2010). PM2.5 and CO Concentrations Inside an Indoor Go-Kart Facility, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 7:7, 397-406,
- King, D.A., Gabbett, T.J., Gissane, C., & Hodgson, L. (2009). Epidemiological studies of injuries in rugby league: Suggestions for definitions, data collection and reporting methods. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 12(1), 12-19.
- Knapik, J.J., Sharp, M.A., Canham-Chervak, M., Hauret, K., Patton, J.F., & Jones, B.H. (2001). Risk factors for training-related injuries among men and women in basic combat training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 946-954.
- Konttinen, T., Häkkinen, K., & Kyröläinen, H. (2007). Cardiopulmonary loading in motocross riding. *Journal of Sports Sciences*, 25(9), 995-999.
- Kraus, J. F., & Burg, F.D. (1970). Injury reporting and recording: Some essential elements in the collection and retrieval of sports-injury information. *Journal of the American Medical Association*, 213(3), 438-447.
- Krosshaug, T., Andersen, T.E., Olsen, O.E., Myklebust, G., & Bahr, R. (2005). Research approaches to describe the mechanisms of injuries in sport: Limitations and possibilities. *British Journal of Sports Medicine*, 39(6), 330-339.
- Kuhn, J.E., Greenfield, M.L., & Wojtys, E.M. (1997). A statistics primer. prevalence, incidence, relative risks, and odds ratios: Some epidemiologic concepts in the sports medicine literature. *The American Journal of Sports Medicine*, 25(3), 414-416.
- Kujala, U.M., Taimela, S., Antti-Poika, I., Orava, S., Tuominen, R., & Myllynen, P. (1995). Acute injuries in soccer, ice hockey, volleyball, basketball, judo, and karate: Analysis of national registry data. *British Medical Journal*, 311(7018), 1465-1468.
- Kurita, N., Ueno, Y., Watanabe, M., Miyamoto, N., Shimura, H., Nonaka, S., ... Urabe, T. (2014). Three Cases of Cervicocephalic Artery Dissection in an Amusement Park. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 23 (10), 467- 471.
- Li, J.C.M., & Leong, H.T. (2006). Go-kart injuries of the abdominal cavity. *Surgical Practice*, 10(1), 41-44.
- Linnaus, M.E., Ragar, R.L., Garvey, E.M., & Fraser, J.D. (2016). Injuries and outcomes associated with recreational vehicle accidents in pediatric trauma. *Journal of Pediatric Surgery*, 52(2), 327-333.
- Lundblad, M., Häggglund, M., Thomeé, C. (2020). Epidemiological Data on LCL and PCL Injuries Over 17 Seasons in Men's Professional Soccer: The UEFA Elite Club Injury Study. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 11, 105-112.
- Lysens, R.J., de Weerd, W., & Nieuwboer, A. (1991). Factors associated with injury proneness. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 12(5), 281-289.
- MacIntosh, B.R., Gardiner, P.F., & McComas, A.J. (2006). *Skeletal Muscle: Form and Function*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Massó, N., Rey, F., Romero, D., Gual, G., Costa, LL., & Germán, A. (2010). Aplicaciones de la electromiografía de superficie en el deporte. *Apunts: Medicina de l'esport*, 45(166), 57-148.
- Masuda, K., Masuda, T., Sadoyama, T., Inaki, M., & Katsuta, S. (1999). Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(1), 39-46.

- McIntosh, A.S. (2005). Risk compensation, motivation, injuries, and biomechanics in competitive sport. *British Journal of Sports Medicine*, 39(1), 2-3.
- McKenna, C.J., & Hargreaves, M. (2008). Resolving fatigue mechanisms determining exercise performance: Integrative physiology at its finest! *Journal of Applied Physiology*, 104(1), 286-287.
- McManus, A. (2000). Validation of an instrument for injury data collection in rugby union. *British Journal of Sports Medicine*, 34(5), 342-347.
- Meeuwisse, W.H. (1994). Assessing causation in sport injury: A multifactorial model. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 4, 166-170.
- Meeuwisse, W.H., & Love, E.J. (1997). Athletic injury reporting. development of universal systems. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 24(3), 184-204.
- Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E., & Brughelli, M. (2012). Hamstring strain injuries: Are we heading in the right direction? *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 81-85.
- Merletti, R., Knaflitz, M., & De Luca, C. (1990). Myoelectric manifestations of fatigue in voluntary and electrically elicited contractions. *Journal of Applied Physiology*, 69(5), 1810-1820.
- Moritani, T., Muro, M., & Nagata, A. (1986). Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 60(4), 1179-1185.
- Murphy, D.F., Connolly, D.A., & Beynon, B.D. (2003). Risk factors for lower extremity injury: A review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 37(1), 13-29.
- Myklebust, G., Engebretsen, L., Braekken, I.H., Skjølberg, A., Olsen, O.E., & Bahr, R. (2003). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: A prospective intervention study over three seasons. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 13(2), 71-78.
- Myklebust, G., Maehlum, S., Holm, I., & Bahr, R. (1998). A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite norwegian team handball. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 8(3), 149-153.
- Neumann, DA. (2016). *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation*, (3^a ed.).
- Ng, C., & Chung, C. (2005). Go-Kart Related Injuries: A Local Scene. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine*, 12(1), 14-22.
- Opar, D.A., Williams, M.D., & Shield, A.J. (2012). Hamstring strain injuries: Factors that lead to injury and re-injury. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 42(3), 209-226.
- Orchard, J., & Hoskins, W. (2007). For debate: Consensus injury definitions in team sports should focus on missed playing time. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(3), 192-196.
- Orchard, J., & Seward, H. (2002). Epidemiology of injuries in the australian football league, seasons 1997-2000. *British Journal of Sports Medicine*, 36(1), 39-44.
- Orchard, J.W. (2001). Intrinsic and extrinsic risk factors for muscle strains in australian football. *The American Journal of Sports Medicine*, 29(3), 300-303.

- Ostenberg, A., & Roos, H. (2000). Injury risk factors in female european football. A prospective study of 123 players during one season. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(5), 279-285.
- Parkkari, J., Kujala, U.M., & Kannus, P. (2001). Is it possible to prevent sports injuries? review of controlled clinical trials and recommendations for future work. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(14), 985-995.
- Patalak, J., Harper, M., Weaver, A., Dalzell, N., Stitzel, J. (2020). Estimated crash injury risk and crash characteristics for motorsport divers. *Accident Analysis and Prevention*, 136.
- Peterson, L., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., & Dvorak, J. (2000). Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), 51-57.
- Phillips, L.H. (2000). Sports injury incidence. *British Journal of Sports Medicine*, 34,133-136.
- Pick, A., & Cole, D. (2006). Neuromuscular dynamics in the driver–vehicle system. *Vehicle System Dynamics*, 44, 624 - 631.
- Prien, A., Grafe, A., Rössler, R. (2018). Epidemiology of Head Injuries Focusing on Concussions in Team Contact Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48, 953–969.
- Rae, K., & Orchard, J. (2007). The Orchard Sports Injury Classification System (OSICS) Version 10. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(3)
- Federación Española de Automovilismo. (FEA). Informe FEA Karting. 2008. Recuperado 10 de julio 2020 de <https://www.rfeda.es/buscar>
- Sanches, J.D. (2007). *The karting manual: the complete beginner's guide to competitive kart racing*. Sparkford: Haynes.
- Seims, A.D., Shellenberger, T.D., Parrish, G.A., & Lube, M.W. (2013). Cervical tracheal transection after scarf entanglement in a go-kart engine. *Journal of Emergency Medicine*, 45(1), 13-16.
- Silverstein, B., Fine, L., & Armstrong, T. (1986). Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43(11), 779-784.
- Simon M. Rosalie and James M. Malone 2019 Do Racing Drivers Practice Racing? The Effect of Intentional Following on Formula Car Drivers' Steering Behavior *Journal of Expertise* 2019. Vol. 2(3) © 2019. The authors license this article under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 License. ISSN 2573-2773
- Snellman, K., Parkkari, J., Kannus, P., Leppala, J., Vuori, I., & Jarvinen, M. (2001). Sports injuries in floorball: A prospective one-year follow-up study. *International Journal of Sports Medicine*, 22(7), 531-536.
- Soderman, K., Alfredson, H., Pietila, T., & S. Werner. (2001). Risk factors for leg injuries in female soccer players: A prospective investigation during one out-door season. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 9(5), 313-321.

- Søgaard, K., Gandevia, S. C., Todd, G., Petersen, N. T., & Taylor, J. L. (2006). The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles. *The Journal of Physiology*, 573(Pt 2), 511–523.
- Solla, J. (2010). Máster universitario en prevención y readaptación físico-deportiva de lesiones en el fútbol. Módulo prevención de lesiones: Medidas de prevención desde la actividad física. Madrid: Real Federación Española de Fútbol, Universidad de Castilla La Mancha y Comité Olímpico Español.
- Stephens, J., & Taylor, A. (1972). Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man. *Journal of Physiology*, 220(1), 1-18.
- Straccolini, A., Casciano, R., Levey Friedman, H., Meehan, W., & Micheli L.J. (2013). Pediatric sports injuries: an age comparison of children versus adolescents. *American Journal Sports Medicine*. 41(8):1922-1929.
- Taimela, S., Kujala, U.M., & Osterman, K. (1990). Intrinsic risk factors and athletic injuries. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 9(4), 205-215.
- Taylor, J.L., & Gandevia, S.C. (2008). A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *Journal of Applied Physiology*, 104(2), 542-550.
- Thomas, M., Basu, N. N., Gulati, M. S., Oke, T., Constantinescu, G., & Siddiqui, M. (2009). Isolated Duodenal Rupture due to Go-Karting Accidents – Braking News. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 91(4), 340–343.
- Thompson, N., Halpern, B., Curl, W.W., Andrews, J.R., Hunter, S.C., & McLeod, W.D. (1988). High school football injuries: Evaluation. *The American Journal of Sports Medicine*, 16(Suppl 1), S97-104.
- Whitfield, T.W. (1998). Go-Kart/Fun-Kart Related Injuries and Deaths, 1985-1996.
- Van Mechelen, W., Hlobil, H., & Kemper, H.C. (1992). Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 14(2), 82-99.
- Van Tiggelen, D., Wickes, S., Stevens, V., Roosen, P., & Witvrouw, E. (2008). Effective prevention of sports injuries: A model integrating efficacy, efficiency, compliance and risk-taking behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 42(8), 648-652.
- Verrall, G.M., Slavotinek, J.P., Barnes, P.G., Fon, G.T., & Spriggins, A.J. (2001). Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: A prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *British Journal of Sports Medicine*, 35(6), 435-440.
- Vescovi, J.D. (2011). The menstrual cycle and anterior cruciate ligament injury risk: Implications of menstrual cycle variability. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(2), 91-101.
- Vøllestad, N.K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of Neuroscience Methods*, 74(2), 219-227.
- Walter, S.D., Sutton, J.R., McIntosh, J.M., & Connolly, C. (1985). The aetiology of sport injuries. A review of methodologies. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 2(1), 47-58.

Watkins, E.S. (2006). The physiology and pathology of Formula one Grand Prix motor racing. *Clinical Neurosurgery*. 53.

Wekesa, M., Asembo, J.M., & Njororai, W.W. (1996). Injury surveillance in a rugby tournament. *British Journal of Sports Medicine*, 30(1), 61-63.

Wertman, G., Gasconn, G., Heisel, W. (2016). Upper Extremity Injuries in NASCAR Drivers and Pit Crew: An Epidemiological Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(2).

Wolf, J., Berlin, K, Fembacher, L, Heitmann, D., Matzen, W., Nitschke, L., Sysoltseva, M., & Fromme, H. Air quality in indoor go-kart facilities in Germany. *Indoor Air*. 2018; 28: 950– 962.

Yılmaz, K.B., Akıncı, M., Kaya, O., & Kulaçoğlu, H. (2012). Emergency surgery due to go-kart injuries: report of two consecutive cases. *Ulusal travma ve acil cerrahi dergisi*, 18(5), 458-60.

Zazulak, B.T., Paterno, M., Myer, G.D., Romani, W.A., & Hewett, T.E. (2006). The effects of the menstrual cycle on anterior knee laxity: A systematic review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(10), 847-862.

X. ANEXOS

Anexo 1. Hoja modelo registro piloto accidentado



**PARTE DE ACCIDENTE
PARA FEDERADOS**



DATOS DEL LESIONADO					
APELLIDOS			NOMBRE		
DOMICILIO, CALLE			NUM.	D.N.I.	
TEL.	POBLACIÓN	PROVINCIA	C.P.	LICENCIA	FECHA EXPEDIC.

ACCIDENTE		
EXPEDTE. N.º	COMPETICION	
FECHA	LUGAR	

DATOS ORGANIZADOR Y PERSONA RESPONSABLE	
ORGANIZADOR	DOMICILIO
RESPONSABLE APELLIDOS	NOMBRE
ACTÚA EN CALIDAD DE: (Director de Carrera, Organizador, Médico Prueba)	LICENCIA

En..... a..... de..... del.....

V.º B.º
R.F.E. de A.



Firma del Responsable
del parte

El Dr. D. _____ Colegiado n.º _____ del Centro Mé
_____ c/ _____ de _____

INFORMA:
Que del reconocimiento practicado al particular del presente parte, se deduce que PADECE:

.....
.....
.....

Fdo.

NOTA IMPORTANTE: Este impreso es utilizable únicamente para accidentados en posesión de licencia.
Enviar este original a la R.F.E. de A. (URGENTE y debidamente cumplimentados en todos sus términos).

Mod. 25

COPIA ENTIDAD ORGANIZADA

Anexo 3. Hoja autorización presidente FCA.



FEDERACIÓ CATALANA D'AUTOMOBILISME

Consell de Cent 445 1^a 1^a esc. A · Tel. 93 245 29 96 · Fax 93 265 17 07 · 08013 Barcelona
Mòbil: 607 182 292 · e-mail: webmaster@fca.cat

MODEL DE CONSENTIMENT PER CESSIÓ I UTILITZACIÓ DE DADES FEDERATIVES:

Jo, JOAN OLLÉ BARTOLOMÉ.....amb
DNI: 37325882X.....

En qualitat de President de la Federació Catalana d'Automobilisme:

Objectiu: realitzar estudis epidemiològics i/o estadístics utilitzant les bases de dades de la FCA.

Procediment: Dono consentiment i autoritzo, per tal que es puguin utilitzar les dades envers a les lesions derivades dels parts d'accidents en les competicions de karting i la categoria del pilot, així com els llistats de resultats de totes les curses, que consten a la base de dades i registres de la FCA.

Per poder-les utilitzar per estudis epidemiològics i/o estadístics sense que la identitat dels pilots, hi quedi reflectida.

Beneficis: les dades obtingudes aportaran informació rellevant sobre diferents paràmetres referents a temes de salut i els tipus de lesions que es deriven del karting de competició.

Riscs: No n'hi ha cap, en els tipus d'estudi que es volen efectuar.

Responsables: El personal administratiu que farà l'extracció de les dades esmentades, i les lliurarà dissociades, al Sr. Salvi Delmuns.

Confidencialitat: la informació obtinguda d'aquestes bases de dades serà considerada confidencial i serà utilitzada únicament a efectes d'investigació. La identitat dels pilots serà mantinguda confidencial en base a la Llei de Protecció de dades.

Dret a refusar o a abandonar: La FCA fa aquest lliurament i participació a l'estudi, completament voluntari i és lliure de canviar el seu consentiment i modificar-lo o denegar-lo en qualsevol moment.

Consentiment: Havent estat informat de tot el que antecedeix, manifesto de forma voluntària que dono el meu CONSENTIMENT per tal que les dades obtingudes dels partes d'accident i resultats de les curses, puguin ser utilitzades en aquest estudi epidemiològic.

Entenc que, aquest consentiment no s'aplica en el cas de proves fora de la rutina o en treballs d'investigació experimental. En aquests casos se m'informarà i sol·licitarà la meva conformitat expressament, així com la dels pilots que formessin part dels mateixos.

He rebut una còpia d'aquest imprès i he tingut la oportunitat de llegir-lo.

Barcelona, a 15 d'octubre del 2009

Signatura :



Sr. Joan Ollé

President

Anexo 4. Hoja registro estudio EMG

REGISTRE EMG ESTUDI KARTING

NOM PILOT:

EDAT/CATEGORIA:

KART AMB CANVI

KART SENSE CANVI

MODEL I DIAMETRE VOLANT:

RELACIÓ GRUPS MUSCULARS ESTUDI:

A-GRUP FLEXORS:

1-FLEXORS BUNDLE(WIDE)-

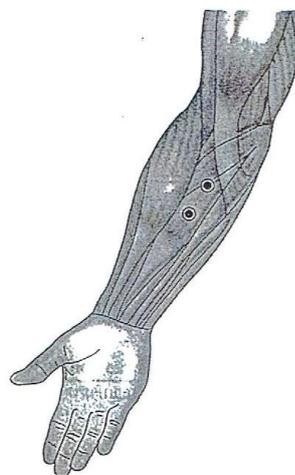


Figure 17-32A Electrode placement for the forearm flexor bundle (wide) site.

B-GRUP EXTENSORS:

1-PRIMARY EXTENSOR DIGITORUM-

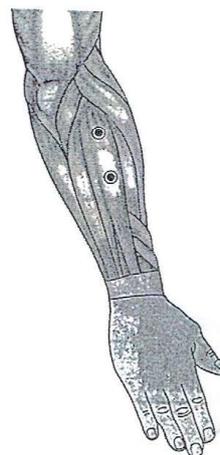
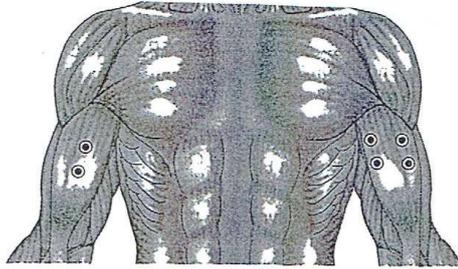


Figure 17-31A Electrode placement for the forearm extensor (wide) site.

C- PRONO-SUPINATORS:

1-BICEPS BRACHIUM-



placement for the biceps-brachium site.

2-PRONATOR TERES-

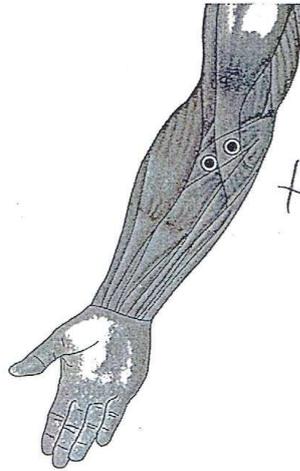


Figure 17-36A Electrode placement for the pronator teres site.

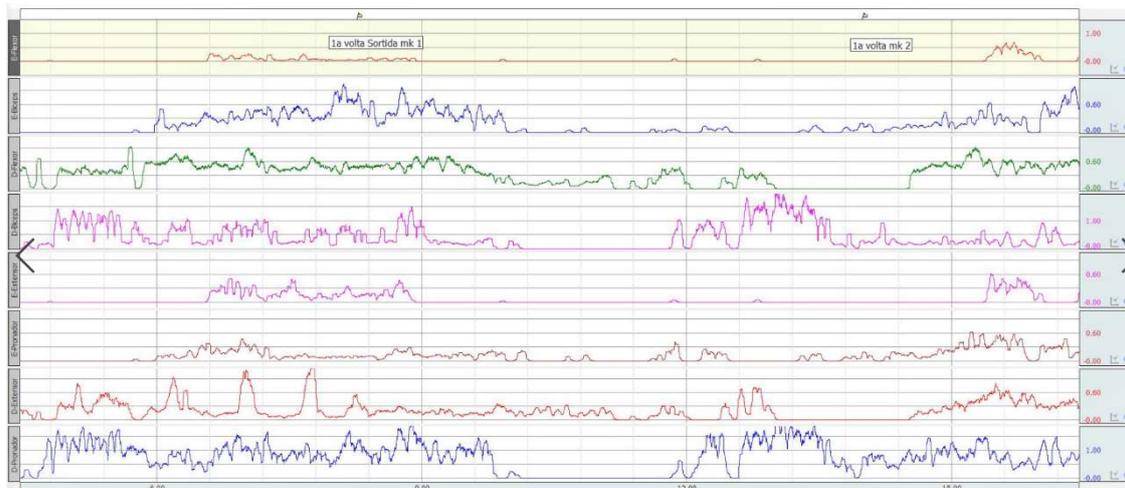
Anexo 5

REGISTRO DE CVM		
Etiqueta BIOPAC	ACCIÓN	OBSERVACIONES
	PILOTO:	Se solicita una única CVM de duración 10 segundos seleccionando los 3 segundos de con mayor actividad eléctrica.

Nombre Archivo Biopac: CVM karting competición

CVM Bíceps braquial I i Bíceps braquial D	BILATERAL Bipedestación, posición anatómica y flexión de codo de 90° Acción: Isométrica. Flexión de codo resistida el IP	
CVM Flexores muñeca I Flexores muñeca D	BILATERAL. Sedestación con antebrazo apoyado en una mesa con la mano libre. Acción: Isométrica. Flexión de muñeca resistida por el IP	
CVM Extensores muñeca I Extensores muñeca D	BILATERAL. Sedestación con antebrazo apoyado en una mesa con la mano libre. Acción: Isométrica. Extensión de muñeca resistida por el IP	
CVM Pronador I Pronador D	BILATERAL. Bipedestación, posición anatómica, flexión de codo de 90° y posición neutra de prono supinación Acción: Isométrica. Pronación resistida por el IP	

Anexo 6. Kart con marchas- tramo 1-2- EMG todos los músculos. Brazo derecho accionando palanca de cambios subiendo marchas en aceleración y la mano del brazo izquierdo manteniendo la trazada del vehículo se mantiene fija al volante.

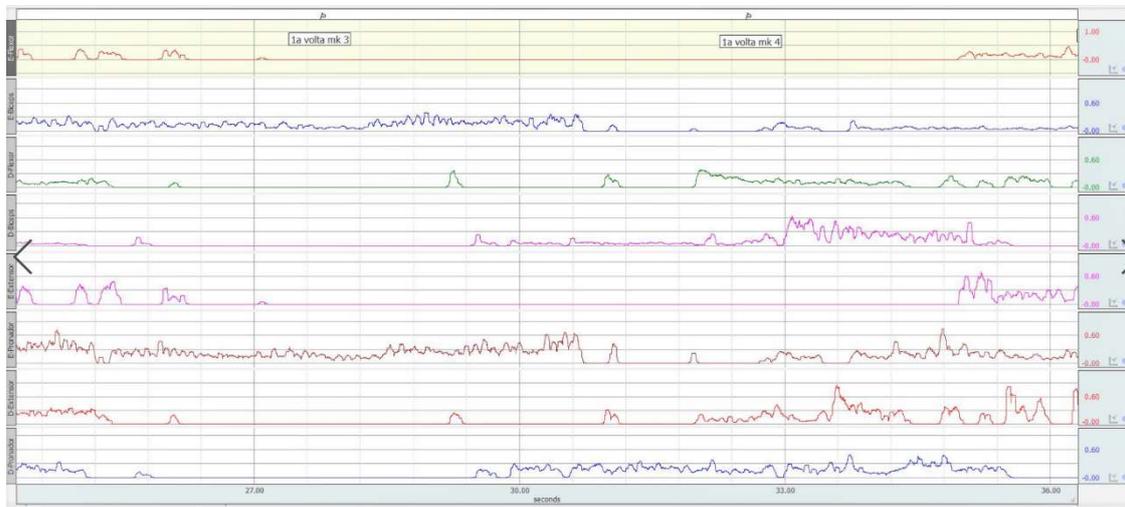


Detalle tramo 1-2 (RE), en la acción de pilotaje al inicio de la recta de un piloto de kart con marchas.



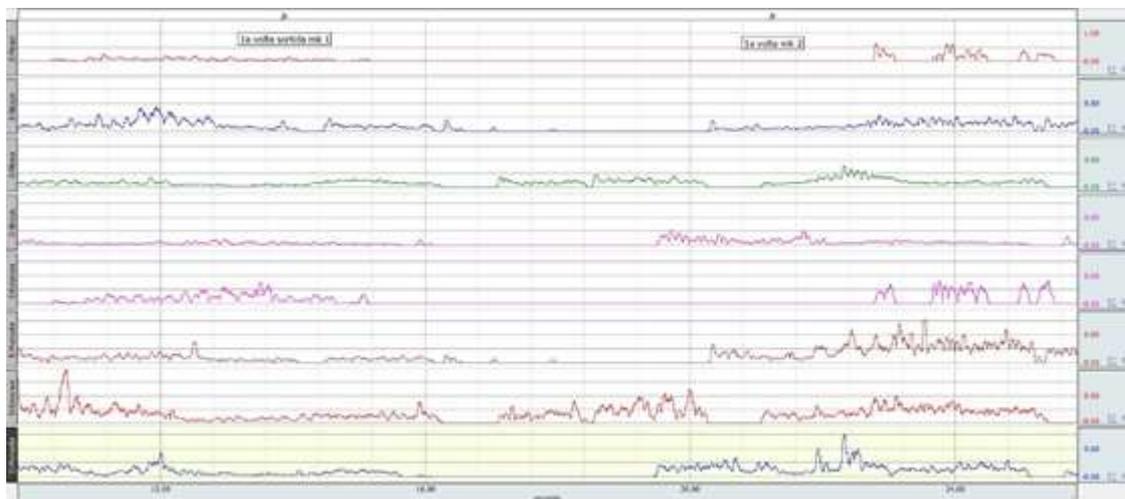
Detalle del sector final 1-3 (RE), con la acción de pilotaje al llegar al final de la recta de un piloto del estudio de car con marxas

Anexo 7. Kart con marchas- tramo 3-4 curva izquierda - EMG todos los músculos. Detalle de la curva larga de izquierdas (tramo 2-3) con la acción de fijación al volante del brazo izquierdo y el detalle de la acción de palanca de cambios del brazo derecho en pleno trazado de la curva.



Detalle de la curva larga de izquierdas (tramo 2-3) con la acción de fijación al volante del brazo izquierdo y el detalle de la acción de palanca de cambios del brazo derecho en pleno trazado de la curva.

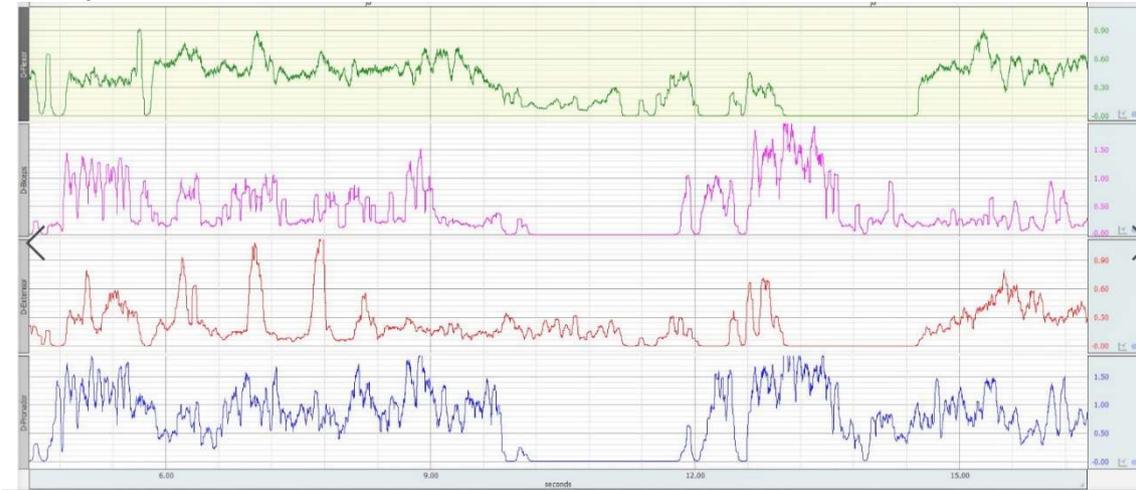
Anexo 8. Kart sin marchas - tramo 7a-7b chicane - EMG todos los músculos. Detalle de la entrada de la CH con giro de derechas leve y rápido de un piloto con kart sin marchas. Se puede apreciar la activación de la musculatura del brazo derecho en la acción de pilotaje.



Detalle de la entrada de la CH con giro de derechas leve y rápido de un piloto con kart sin marchas. Se puede apreciar la activación de la musculatura del brazo derecho en la acción de pilotaje

Anexo 9. Kart sin marchas - tramo 1-2- EMG brazo derecho.

Detalle de la entrada de la CD al final de RE de un piloto con kart sin marchas. Se puede apreciar la activación de la musculatura del brazo derecho en la acción de pilotaje.



Detalle de la entrada de la CD al final de RE de un piloto con kart sin marchas. Se puede apreciar la activación de la musculatura del brazo derecho en la acción de pilotaje.

Anexo 10. Kart sin marchas - Vuelta entera- EMG todos los músculos.
Donde se aprecia el constante agarre al volante de las dos manos al volante, sea el tipo de sector del trazado que sea del circuito.

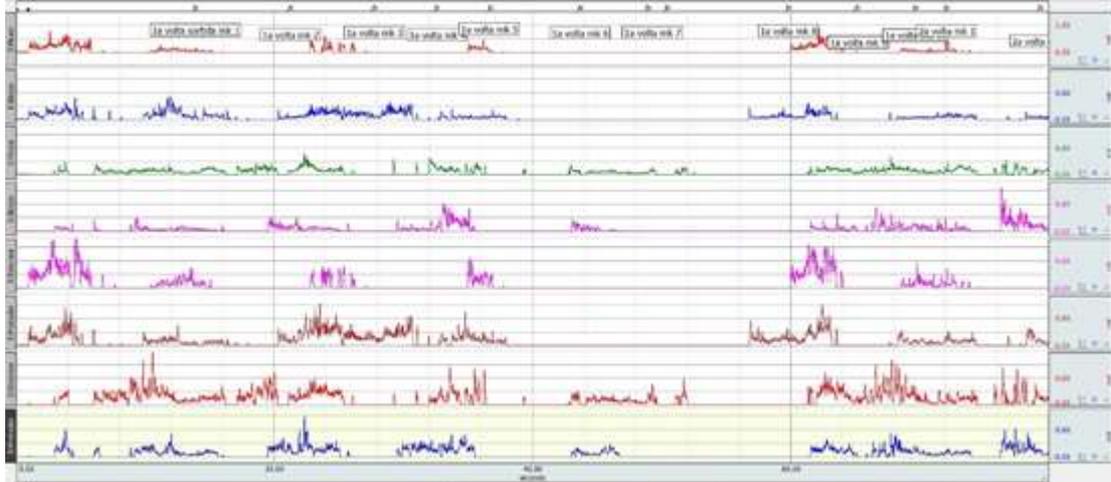


Foto A



Foto B



Foto C



Foto D

- Foto A. Detalle del pilotaje de karts sin marchas en derechas (CD-Tramo 1-2)
Foto B. Detalle del pilotaje de karts sin marchas en izquierdas (CI-Tramo 3-4),
Foto C. Detalle del pilotaje de karts sin marchas en recta (RE-Tramo 1-2)
Foto D. Detalle del pilotaje de karts sin marchas en curvas de, chicane (CH-Tramo 7a-7b).

Anexo 11. Detalle de la palanca de cambio del interior de un Formula Renault 1.6 (Fuente Renault Sport Spain)



Figura 32. Detalle de la palanca de cambio del interior de un Formula Renault 1.6 (Fuente Renault Sport Spain)

Anexo 12. Detalle de las palancas de cambio (levas) en el volante de un Formula Renault 2.0 (Fuente Renault Sport Spain)



Figura 33. Detalle de las palancas de cambio (levas) en el volante de un Formula Renault 2.0 (Fuente Renault Sport Spain)

