

Delmuns Carvajal, S.; Fernández-Prieto, I.; Vidal García, E.; Milà-Villaruel, R.; Rey Abella, F.; González-Crespo, C.; Massó-Ortigosa, N. y Giné-Garriga, M. (202x) Electromyographic Study of the Arms in Competitive Karting Senior Category Drivers. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. X (X) pp. xx. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/___*](http://cdeporte.rediris.es/revista/)

ORIGINAL

ESTUDIO ELECTROMIOGRÁFICO DE LOS BRAZOS EN PILOTOS SENIOR DE KARTING DE COMPETICIÓN

ELECTROMYOGRAPHIC STUDY OF THE ARMS IN COMPETITIVE KARTING SENIOR CATEGORY DRIVERS

Delmuns Carvajal, S.^{1,2}; Fernández-Prieto, I.²; Vidal García, E.³; Milà-Villaruel, R.¹; Rey Abella, F.¹; González-Crespo, C.⁴; Massó-Ortigosa, N.⁵ y Giné-Garriga, M.^{1,2,6}

¹ Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Facultad de Ciencias de la Salud Blanquerna. Universitat Ramon Llull (España) salvidc@blanquerna.edu

² Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Grupo de Investigación en Salud, Actividad Física y Deporte (SAFE). Universitat Ramon Llull (España) isabelfp.fcsb@gmail.com

³ Doctora en Farmacia, Facultad de Ciencias de la Salud Blanquerna. Universitat Ramon Llull (España) eulaliavg@blanquerna.edu

⁴ Doctor en Veterinaria. Facultad de Veterinaria, Departamento de Medicina y Cirugía Animal. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), (España) carlosgonzcrespo@gmail.com

⁵ Doctora en Medicina, especialidad en Actividad Física, Deporte y Electromiografía. Facultad de Ciencias de la Salud Blanquerna. Universitat Ramon Llull (España) nuriamo@blanquerna.url.edu

⁶ Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Investigadora principal del Grupo de Investigación en Salud, Actividad Física y Deporte (SAFE), Facultad de Psicología, Ciencias de la Educación y del Deporte Blanquerna. Universitat Ramon Llull (España) mariagg@blanquerna.edu

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de todos los participantes voluntarios.

Código UNESCO / UNESCO Code: 5899 Otras Especialidades Pedagógicas (Educación Física y Deporte)

Clasificación del Consejo de Europa: 4. Educación Física y deporte comparado / Physical Education and sport compared

Recibido 30 de agosto de 2021 **Received** August 30, 2021

Aceptado 12 de febrero de 2022 **Accepted** February 12, 2022

RESUMEN

El objetivo del estudio transversal fue analizar la actividad muscular de las extremidades superiores en pilotos senior de karting de competición, mediante electromiografía de superficie (EMGS). Se evaluaron los músculos más

significativos de las extremidades superiores durante la conducción en trece conductores. Se utilizaron modelos lineales mixtos ajustados a una distribución gamma para evaluar diferencias de actividad muscular en base al brazo, número de vueltas, características del trazado, y tipo de kart (con/sin marchas). Se encontraron diferencias significativas entre la actividad muscular según el tipo de kart ($p < 0,0001$). Aunque se observaron cambios en los valores medios de EMGS, no hubo diferencias significativas entre las vueltas del circuito o el brazo dominante. Sin embargo, los resultados mostraron que hubo una interacción significativa entre el tipo de kart y el brazo dominante ($p = 0,021$). La actividad muscular aumentó de manera más significativa en las curvas trazadas hacia el brazo dominante de los conductores.

PALABRAS CLAVE: Karting de competición; Electromiografía; Actividad muscular; Riesgo de lesiones; Adolescentes.

ABSTRACT

The main goal of this cross-sectional study was to assess the muscular activity of the upper limbs in competitive kart drivers while driving in a closed karting circuit, using surface electromyography (EMGS). The most significant muscles of the upper limbs while driving were evaluated in thirteen drivers. Linear mixed models adjusted to a gamma distribution were used to evaluate differences in muscle activity based on the arm, number of laps, track characteristics, and kart type (with/without gears). Significant differences were found between muscle activity according to the type of kart ($p < 0.0001$). Although changes were observed in the mean EMGS 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 type of kart and the dominant arm ($p = 0.021$). Muscle activity increased more significantly in the curves traced towards the dominant arms of the drivers.

KEY WORDS: Competitive karting; Electromyography; Muscular activity; Risk of injury; Adolescents.

1. INTRODUCCIÓN

El karting de competición es un tipo de deporte de motor de cuatro ruedas en el que los usuarios empiezan a competir a edades muy tempranas, siendo el deporte de entrenamiento inicial de muchos pilotos actuales de F1 (1).

Un kart es un vehículo terrestre con o sin carrocería, con cuatro ruedas no alineadas que están en contacto con el suelo (pista). Las partes principales son el chasis (incluye la carrocería), los neumáticos y el motor (2).

El equipo de seguridad debe ajustarse a cada corredor y ha de estar oficialmente aprobado y verificado técnicamente (1, 2, 3). La práctica competitiva comporta riesgos (4), aunque existen pocos estudios sobre la incidencia de lesiones y su gravedad.

Un estudio realizado con conductores de entre 7 y 15 años, cuyo objetivo era analizar el tipo y la gravedad de las lesiones sufridas en el karting de competición en Cataluña, concluía que la incidencia de lesiones es relativamente baja (5). Las lesiones se localizan principalmente en las extremidades superiores y, hasta donde sabemos, no existen otros estudios previos que evalúen el riesgo de lesiones en el karting de competición (6, 7, 8).

La electromiografía de superficie (EMGS) se ha utilizado ampliamente en la práctica clínica para evaluar y registrar la actividad eléctrica producida por los músculos esqueléticos. (6, 7, 9). Concretamente las aplicaciones de la EMGS dentro del ámbito del deporte incluyen el análisis de un gesto deportivo, análisis de la marcha, la evaluación de la fatiga, valoración de 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, entre otras (10,11,12).

La EMGS muestra una importancia creciente en la medicina deportiva y en los estudios ergonómicos (13,14,15), y más recientemente ha permitido llevar a cabo análisis dinámicos en varias modalidades deportivas (15, 16,17).

En base a la falta de evidencia, el objetivo principal de nuestro estudio es analizar la actividad muscular de las extremidades superiores, en pilotos de karting de competición adolescentes (categoría sénior) en su acción de pilotaje, explorada mediante EMGS. Específicamente nos proponemos: (a) evaluar las diferencias de actividad muscular en base al número de vueltas realizadas, constatando posibles evidencias de fatiga muscular; (b) evaluar las diferencias en la captación EMGS muscular de los brazos de los pilotos de karting según las diferentes acciones de conducción del trazado; (c) determinar las interrelaciones que se producen entre los diferentes músculos de los brazos en el pilotaje de karts de competición; (d) comparar las diferencias entre brazos del patrón de actividad muscular según el pilotaje y su solicitud dependiendo del tipo de trazado del kart, y (e) observar 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.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. PARTICIPANTES

En el presente estudio transversal participaron voluntariamente trece pilotos de karting de competición de la provincia de Barcelona (Cataluña), de la categoría sénior (media 16,7 años, rango 14-18). Cuatro de los pilotos realizaron el estudio con los dos tipos de karts (con y sin marchas), y el resto de pilotos lo realizó con karts sin marchas. De los pilotos que participaron en el estudio, dos eran zurdos y once diestros.

Previamente se informó de los objetivos y las características del estudio a la Asociación de Pilotos del Circuito de Karting de Sallent que se encargó de invitar a todos los pilotos que cumplían con los criterios de inclusión. Los participantes

fueron informados de los derechos que otorga la ley de protección de datos y firmaron el correspondiente documento de consentimiento informado. El consentimiento informado fue firmado por sus padres o tutores legales. El estudio obtuvo la aprobación del Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Psicología, Ciencias de la Educación y del Deporte Blanquerna (Universidad Ramon Llull).

Los criterios de inclusión para la selección de la muestra fueron: (a) pertenecer a la categoría senior de karting en base a la normativa de competición del Comité Internacional de Karting (CIK) y vigente en el Campeonato de Cataluña de Karting; (b) no estar recibiendo tratamiento por alguna lesión de las extremidades superiores (EESS); (c) no haber sufrido con anterioridad ninguna lesión en las EESS; (d) conocer el trazado del circuito de karting de Sallent.

2.2. ELECCIÓN DE LOS MÚSCULOS

La elección de los músculos se determinó en base a una revisión de la literatura y visualización de videos de pilotaje de competición con cámaras *on board*, que permitió hacer una revisión visual de las acciones de las EESS más usuales, realizadas por los pilotos rodando en circuitos *in situ*. Se seleccionaron los músculos de ambas EESS teniendo en cuenta los siguientes criterios: (1) priorizar los músculos grandes (que son los que presentan más actividad); (2) utilizar el total de canales disponibles del electromiógrafo, concretamente 2 músculos por emisor, disponiendo de 4 emisores, siendo 8 los músculos analizados a la vez (4 músculos por brazo); (3) seleccionar los músculos que mantienen una relación agonista/antagonista, para disponer de sus actividades musculares más relevantes sobre las secuencias en la actuación requerida para el pilotaje; (4) 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, fueran compatibles y no alteraran la acción de pilotaje del kart.

Los músculos seleccionados fueron: a) 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 (para el brazo derecho) y FCLS (para el brazo izquierdo); b) haz extensor del antebrazo: extensor digital, braquioradial, extensor radial del carpo (*longus* y *brevis*). Se abreviaron como ECRS (para el brazo derecho) y ECLS (para el brazo izquierdo); c) bíceps braquial. Se abrevió como BBRS (para el brazo derecho) y BBLS (para el brazo izquierdo); d) pronador redondo (*teres minor*). Se abrevió como PRS (para el brazo derecho) y PLS (para el brazo izquierdo).

2.3. CIRCUITO

La sectorización del circuito en 11 tramos (figura 1) facilitó el análisis EMG y de imágenes "*on board*", disponiendo de la localización del kart durante la prueba, con la información registrada desde el "set" de registro EMG. Cada sector tenía solicitudes de pilotaje específicas para seguir el trazado de competición. La descripción de cada sector y emplazamiento del "set" de registros EMG y coordinación en pista, se detalla en la **figura 1**.

Figura 1. Detalle de los diferentes sectores del circuito de Sallent. El estudio se realizó respetando el sentido habitual de competición del mismo, usando el trazado homologado para las competiciones.



Sector 1-2: Recta de principal de salida con curva a la derecha cerrada después de la frenada de final de recta; Sector 2-3: Curva a la izquierda larga y abierta; Sector 3-4: Curva a la izquierda cerrada; Sector 4-5: Curva a la derecha cerrada; Sector 5-6: Curva a la derecha abierta; Sector 6-7: Segunda Recta larga del circuito; Sector 7a-7b: Chicane (eses rápidas después de la recta); Sector 7b-8: Doble curva a la derecha hasta una ligera curva a la izquierda; Sector 8-9: Curva cerrada a la izquierda; Sector 9-10: Curva cerrada a la derecha para enlazar con sector 1; Meta: Recta-Detalle del emplazamiento del "set" de registros EMG y coordinación en pista del kart. La figura 4 recoge el circuito y sus diferentes sectores.

2.4. PROCEDIMIENTO

Una vez diseñado y aprobado el protocolo de estudio, se seleccionaron los músculos en los que se recogerían las lecturas EMG. Se analizaron los problemas de fijación de los electrodos y equipos emisores, así como el emplazamiento en el circuito y procesado de las señales EMGS, siguiendo las recomendaciones del experto en biomecánica con el equipo de recepción en el momento en que los pilotos rodaban con sus karts.

Con la autorización firmada por el director del circuito de karting de Sallent, se revisaron las medidas de seguridad con su equipo humano de pista. Para la recogida de los datos se utilizó un documento diseñado específicamente para ello. Se utilizaron karts sin y con marchas para la categoría senior del Campeonato de Cataluña de Karting. Todos los pilotos usaron los mismos equipos de seguridad personal y vestimenta reglamentaria homologada bajo las normativas CIK vigentes. Se utilizaron vendas de fijación para los electrodos y equipos de emisión de señal EMG (electrodos de EMGS Ag-AgCl modelo EL503 de Biopac); ordenador portátil HP para captación de señal en circuito de karting; cámara *GoPro 7 Black* con equipo de fijación en el casco del piloto y grabación en HD con resolución de 1080p a 60 fotogramas por segundo; 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 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.

Los electrodos se situaron en los vientres musculares, eligiendo las ubicaciones anatómicas de referencia descritas por Eleanor Criswell (18). La colocación de los electrodos fue realizada por el mismo investigador, para evitar posibles modificaciones en la colocación y recogida de la señal del EMGS.

Cada piloto antes de subirse al kart realizó una contracción isométrica máxima de todas las estructuras musculares objetivo del estudio. Esta medida previa de registro de contracción isométrica se realizó para disponer de la referencia de máxima actividad muscular, siendo clave este valor para el posterior registro y análisis de la actividad muscular en la acción de pilotaje en pista. Este proceso de verificación y registro fue llevado a cabo siempre por los mismos 2 investigadores. A continuación, cada piloto recibió los detalles concretos relacionados con la prueba: la primera vuelta se utilizó como calentamiento y reconocimiento del trazado del circuito, así como para verificar la correcta emisión y recepción de la señal del equipo de EMGS. Se pidió a los pilotos hacer las siguientes 3 vueltas al circuito a máximo rendimiento de pilotaje, simulando competir en cada una de ellas.

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

Toda la comunicación con los pilotos, una vez en pista, se realizó mediante el uso de pizarras de competición a pie de pista. 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.

2.5. ANÁLISIS DE LOS 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 (Log10) y logaritmo neperiano (Ln) pero no se consiguieron minimizar por completo estas asimetrías. Por eso, todas las variables descriptivas se han descrito mediante mediana (Md), rango intercuartílico (RIQ), valor máximo y el mínimo. Las variables categóricas, se han descrito mediante las frecuencias y los porcentajes.

Se han utilizado modelos lineales mixtos generalizados (glmm), ajustados a una distribución gamma. 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 según el 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, con relación al brazo dominante del piloto (zurdo o diestro) en karts sin marchas.

En todas las pruebas estadísticas realizadas se ha 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. RESULTADOS

3.1. ACTIVIDAD MUSCULAR GENERAL EN LA TÉCNICA DE PILOTAJE

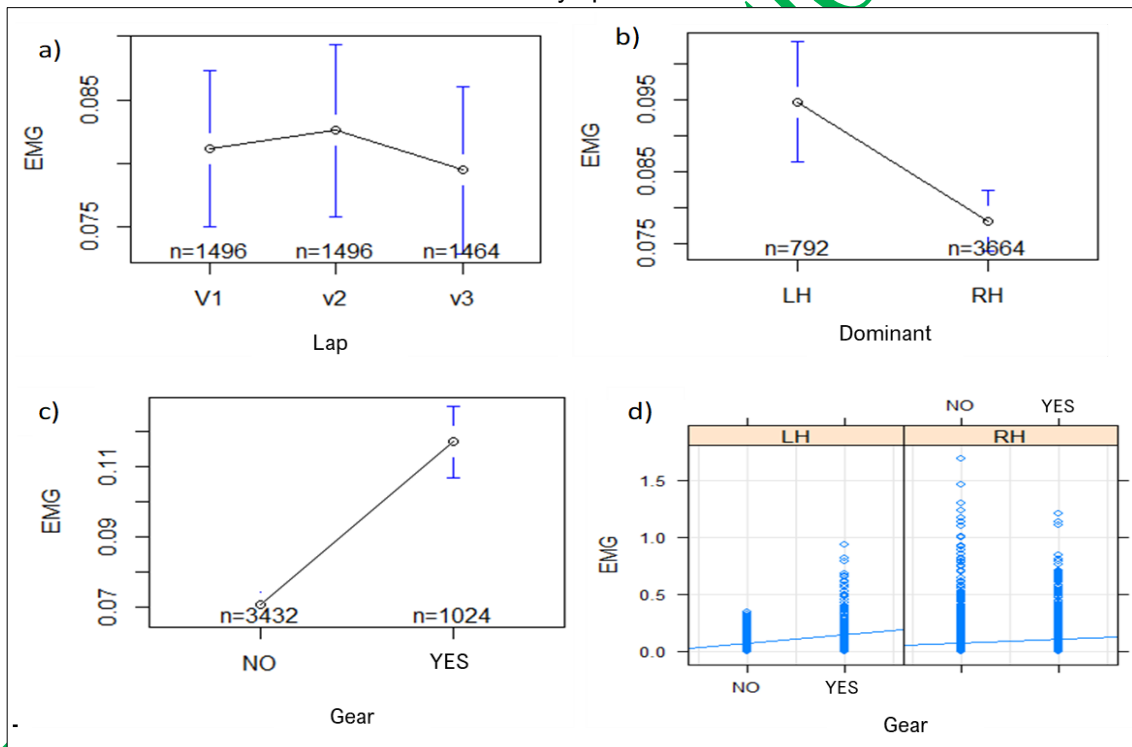
Al analizar el primer modelo, los resultados obtenidos muestran que hay significancia estadística al comparar la actividad muscular en relación al tipo de kart ($p < 0.0001$). Aunque se observan cambios en los valores medios de EMG, no hay diferencias significativas entre las vueltas al circuito ($p = 0.647$), ni el brazo dominante ($p = 0.431$). Sin embargo, los resultados muestran que hay una interacción estadísticamente significativa entre el tipo de kart (con y sin marchas) y el brazo dominante ($p = 0.021$), 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 un 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 1 y figura 2).

Tabla 1. Diferencias entre valores medios de la actividad EMG (en mV) en relación a (a) la vuelta, (b) el brazo dominante, (c) el tipo de kart (con o sin marchas), y (d) la interacción de los factores de las variables brazo dominante y tipo de kart.

Variable	Contraste	Diferencia (en mV)	z.ratio	P valor
Vuelta (p=0.647)	V1-V2	0.001	0.011	0.999
	V1-V3	0.043	0.815	0.694
	V2-V3	0.042	0.805	0.699
Brazo dominante	LH - RH	0.239	0.788	0.431
Tipo de Kart	Si - No	0.599	8.378	<0.0001
Interacción brazo dominante X marchas (p= 0.021)	LH, Si	0.765	6.218	<0.0001
	LH, No			
	RH, Si	0.433	5.941	<0.0001
	RH, No			

V1: vuelta 1; V2: vuelta 2; V3: vuelta 3; LH: brazo izquierdo; RH: brazo derecho

Figura 2. Valores medios de la actividad EMG (en mV) para a) vuelta; b) brazo dominante; c) tipo de kart (con o sin marchas); y d) interacción de los factores de las variables brazo dominante y tipo de kart.



Línea azul indica la tendencia y la media en la intersección.

V1: vuelta 1; V2: vuelta 2; V3: vuelta 3; LH: brazo izquierdo; RH: brazo derecho

3.2. ACTIVIDAD MUSCULAR ESPECÍFICA EN LA TÉCNICA DE PILOTAJE

Al analizar el segundo modelo, se encuentra significancia estadística en los resultados obtenidos 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 (4 categorías: curva de izquierda, curva de derecha, recta y chicane) ($p < 0,0001$) (tabla 2 y figura 3).

Tabla 2. Diferencias entre valores medios de la (a) actividad EMG (en mV) de los músculos del brazo derecho y el izquierdo de cada piloto y (b) el tipo de tramo.

	Variable	Contraste	Diferencia (en mV)	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	0.290	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	0.048
		FCLS ^c	ECLS-PLS	0.064	0.769	0.995
		PLS ^{b-c}	FCLS-PLS	-0.187	-2.253	0.320
		Brazo derecho	BBRS-ECRS	0.226	2.731	0.113
	BBRS-FCRS		0.342	4.137	0.001	
	BBRS ^a		BBRS-PRS	-0.108	-1.299	0.899
	ECRS ^{a-b}		ECRS-FCRS	0.116	1.391	0.862
	FCRS ^b		ECRS-PRS	-0.335	-4.012	0.002
	PRS ^a		FCRS-PRS	-0.451	-5.367	<0.0001
	Tipo de tramo (p <0.0001) CD ^c -CH ^a -CH ^c -RE ^b		CD-CH	0.080	0.987	0.757
		CD-CI	-0.366	-6.743	<0.0001	
		CD-RE	-0.167	-3.065	0.012	
CH-CI		-0.445	-5.356	<0.0001		
CH-RE		-0.250	-2.985	0.015		
CI-RE		0.198	3.417	0.004		

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

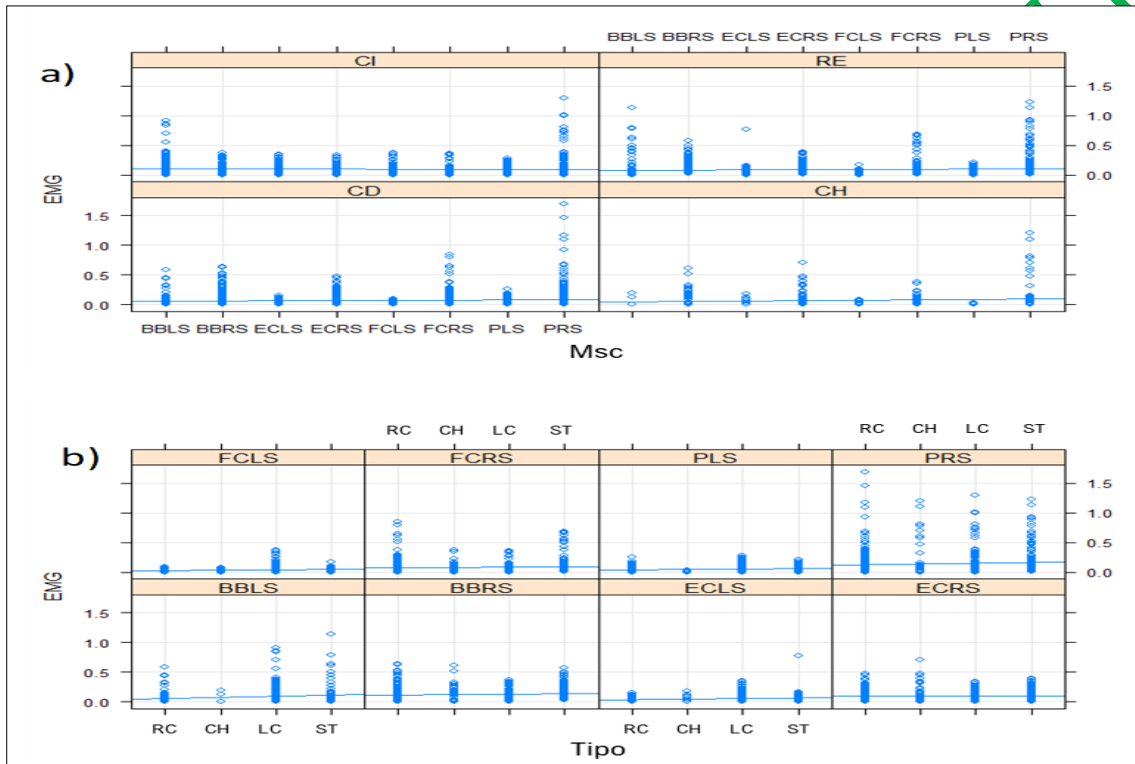
BB: Bíceps; EC: Extensor; FC: Flexor, P: Pronador; LS: Lado izquierdo; RS: Lado derecho; CD: curva de derechas; CI: curva de izquierdas; CH: chicane; RE: recta

Los resultados obtenidos en la comparación de los valores medios de la actividad EMG de los grupos musculares estudiados en ambos brazos, 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 (Tabla 2).

Los resultados obtenidos muestran que en el segundo modelo hay interacciones estadísticamente significativas 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 3).

Figura 3. Valores medios de la actividad EMG (en mV) de los músculos del brazo derecho y el izquierdo de cada piloto para cada tipo de tramo.



(a) actividad EMG (en mV) en cada tipo de tramo de todos los grupos musculares; (b) actividad EMG (en mV) de cada grupo muscular en todos los tipos de tramo. Línea azul indica la tendencia y la media en la intersección.

Msc: muscle; BB: Bíceps; EC: Extensor; FC: Flexor, P: Pronador; LS: Lado izquierdo; RS: Lado derecho; CD: curva de derechas; CI: curva de izquierdas; CH: chicane; RE: recta

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 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.

3.3. 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 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 (tabla 3).

Tabla 3. Valores medios de la actividad EMG y diferencias entre los grupos musculares del brazo derecho e izquierdo de cada piloto para cada tipo de tramo.

Músculos	Curva Derecha (en mV)	Curva Izquierda (en mV)	Chicane (en mV)	Recta	Diferencias actividad EMG (en mV) del mismo músculo entre tipos de tramo
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)
Diferencias actividad EMG (en mV) entre músculos (mismo tipo de tramo)		0.068 (p<0.0001)	0.098 (p<0.0016)	0.066 (p<0.0001)	0.086 (p<0.0035)

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

BB: Bíceps; EC: Extensor; FC: Flexor, P: Pronador; LS: Lado izquierdo; RS: Lado derecho; CD: curva de derechas; CI: curva de izquierdas; CH: chicane; RE: recta

3.4. DIFERENCIAS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE KART PARA CADA TIPO DE TRAMO

Al analizar el tercer modelo, los resultados obtenidos 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 4).

Tabla 4. Diferencias entre valores medios de la actividad EMG (en mV) de los grupos musculares del brazo derecho e izquierdo de cada piloto para cada el tipo de kart (con o sin marchas).

Contraste marchas (No-Si)	Curva Derecha (en mV)	Curva Izquierda (en mV)	Chicane (en mV)	Recta (en mV)
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)

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

3.5. 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 karts sin marchas, los resultados obtenidos al analizar las diferencias 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= 0.000) pero no hay diferencias en relación al brazo dominante (CI p= 0.293; CD, p= 0.971).

Los resultados indican que hay diferencias significativas en la actividad muscular a) comparar la actividad EMG de BBLS-ECLS, BBLS-FCLS, ECLS-PLS, FCLS-PLS BB en la curva de izquierda, y de BBRS-FCRS y FCRS-PRS en la curva de derecha. No hay diferencias significativas en la actividad muscular del resto de los grupos musculares, ni al comparar entre pilotos zurdos y diestros (tabla 5).

Tabla 5. Diferencias entre valores de la actividad EMG (en mV) de los grupos musculares en brazo correspondiente al sentido de la curva y el brazo dominante. Solo se incluyen las comparaciones significativas.

EEESS-Curvas músculos	Contraste	Diferencia (en mV)	z. ratio	p valor
Brazo izquierdo Curvas izquierdas 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
Brazo derecho Curvas derechas 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

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; LH: brazo izquierdo; RH: brazo derecho

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos constatan las diferencias de actividad muscular evaluada con EMGS de los músculos de los miembros superiores seleccionados para el pilotaje de karts con y sin marchas. La actividad muscular aumenta más significativamente frente el trazado de la curva por encima del lado dominante.

No se hallaron marcadores de fatiga muscular, siendo necesarios estudios con más kilometraje en el circuito para detectar la posible fatiga muscular en los brazos de los pilotos de karting de competición. 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 (19).

En los resultados, 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 (15, 16). Esto posiblemente se debe 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 para las ejecuciones correctas en el momento indicado, mejorando la acción deportiva (20). 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 (21). Los resultados obtenidos permiten considerar el sistema automatizado descrito como una herramienta útil para la investigación deportiva i futuras aplicaciones en programas de entrenamiento y prevención de lesiones (20).

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 resultados de las captaciones EMGS, constatan mayor actividad muscular para pilotar un kart con marchas, que la utilizada en 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 entrenamientos 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 se sugiere en estudios previos (23, 24).

Los resultados constatan la importancia del músculo bíceps braquial para pilotar karts. El bíceps 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 (24).

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, que aporta resultados que constatan diferencias claves para el pilotaje de unos u otros tipos de karts de competición. El trazado del circuito donde se realizó el estudio 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 es debido al mismo proceso de anticipación descrito anteriormente (20). Simon et al. (2019) 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 vehículos 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 otro vehículo, sugiriendo una reducción de los movimientos de la cabeza al coger de referencia/anticipación el vehículo anterior (25).

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 (15, 16). Singularmente, el PRS del brazo derecho parece que ayuda al giro del volante en las CI (26).

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 (15, 16).

Una limitación importante del presente estudio fue el tamaño limitado de la muestra. Otra limitación fue el número de vueltas evaluadas, que fue insuficiente para detectar síntomas de fatiga.

La selección de los músculos estudiados con EMGS en el presente estudio puede ser útil para futuros estudios que aborden diferentes modalidades de automovilismo. La anticipación relacionada con el tipo de curva, que prevalece sobre el brazo dominante de los conductores, es un hallazgo importante. La actividad muscular de ambos brazos en los karts sin marchas no presentó diferencias significativas. En los karts con marchas, el brazo izquierdo controla el vehículo a través del volante, mientras que el brazo derecho controla la palanca de cambios. En los conductores zurdos se detectó una mayor actividad electromiográfica en el brazo derecho (brazo no dominante), lo que indica una posible alternativa ergonómica en el diseño de karts para conductores zurdos con la palanca de cambios en el lado izquierdo. Otros estudios deberían ampliar el número de vueltas, con el fin de evaluar la actividad muscular en el momento del inicio de la fatiga en los músculos estudiados. Los resultados de este estudio pueden ayudar a mejorar el rendimiento, con mayor especificidad para los conductores de karts.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sanches J.D. The karting manual: the complete beginner's guide to competitive kart racing. Sparkford: Haynes. 2007
2. FCA D, Campionats, copes, trofeus i challenges de catalunya de kàrting reglament esportiu. 2019; 1.1. :1–31.
3. Reglament tècnic karting 2018. Available at: <https://www.fca.cat/media/content/000061-Karting20180117.pdf> Reglament-Tecnic-
4. Muñoz Fontán M, Martínón Torres N, Rodríguez Núñez A. ¿Son seguros los karts? Anales de Pediatría. 2010. p. 91–2.
5. Delmuns S, Roig M, Javierre C, Mans C, Giné-Garriga M. Epidemiological Study of Injuries Arising from Karting Competition in Children. J Community Med Health Educ. 2014;04(04).
6. Ahmad M, Sinha P, Al-Tamimi YZ, Sylvester D, Dezso A, Timothy J. The Isadora syndrome: A case report of cervical, oesophageal and tracheal transection in a go-karting accident. Br J Neurosurg. 2011;25(2):310–2.
7. Bley T, Gahr RH. Risks and injuries of go-karting. Zentralbl Chir. 2002;127(6):523–6.
8. Adler P., Go-kart related injuries and deaths to children. 2000. Available at: <https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/go-kart.pdf>.
9. Kamen G, Gabriel DA. Essentials of Electromyography. Essentials of Electromyography. 2010. p. 1–15, 155–67.
10. De Luca CJ, Merletti R. Surface myoelectric signal cross-talk among muscles of the leg. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1988;69(6):568–75.
11. Farina D, Stegeman DF, Merletti R. Biophysics of the generation of EMG signals. Surface Electromyography: Physiology, Engineering and

- Applications. 2016. p. 1–24.
12. Massó i Ortigosa N, Rey F, Romero D, Gual G, Costa Tutusaus L, Germán A. Aplicaciones de la electromiografía de superficie en el deporte. *Apunt Med l'esport*. 2010;45(166):127–36.
 13. Cavalcanti Garcia MA, Vieira TMM. Surface electromyography: Why, when and how to use it. *Rev Andaluza Med del Deport*. 2011;4(1):17–28.
 14. Karlsson S, Yu J, Akay M. Time-frequency analysis of myoelectric signals during dynamic contractions: A comparative study. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2000;47(2):228–38.
 15. Farina D. Interpretation of the surface electromyogram in dynamic contractions. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2006. p. 121–7.
 16. Balestra G, Frassinelli S, Knaflitz M, Molinari F. Time-frequency analysis of surface myoelectric signals during athletic movement. *IEEE Eng Med Biol Mag*. 2001;20(6):106–15.
 17. López-Valenciano A, Biviá-Roig G, Lisón-Párraga JF, Vera-García FJ. Electromyographic study of trunk flexion exercises on inclined board, Estudio electromiográfico de ejercicios de flexión del tronco sobre banco inclinado. *Rev Int Med y Ciencias la Act Fis y del Deport [Internet]*. 2013; Available from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84891330657&partnerID=MN8TOARS>
 18. Criswell E. *Cram's introduction to surface electromyography*. 2da ed. Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers; 2011. 412 p.
 19. Durand S, Ripamonti M, Rahmani A, Beaune B. Bioenergetical and cardiac adaptations of pilots to a 24-hour team kart race. *J Strength Cond Res*. 2015;29(11):3234–9.
 20. Hernández E, Oña A, Bilbao A, Ureña A, Bolaños J. Efecto de la aplicación de un sistema automatizado de proyección de preindíces para la mejora de la capacidad de anticipación en jugadoras de voleibol. *Rev Psicol del Deport*. 2011;20(2):551–71.
 21. Abernethy B, Schorer J, Jackson RC, Hagemann N. Perceptual training methods compared: The relative efficacy of different approaches to enhancing sport-specific anticipation. *J Exp Psychol Appl*. 2012;18(2):143–53.
 22. Backman J, Häkkinen K, Ylinen J, Häkkinen A, Kyröläinen H. Neuromuscular performance characteristics of open-wheel and rally drivers. *J Strength Cond Res*. 2005 Nov;19(4):777–84. doi: 10.1519/R-16544.1. PMID: 16287346.
 23. Hoyes K, Collins D. Fit to race: Identifying the balance, type and sources of knowledge in fitness for Motorsport. *Int J Sport Sci Coach*. 2018;13(5):751–60.
 24. Neuman A. *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation*. 2da ed. Mosby: Elsevier; 2016. 422 p.
 25. Rosalie SM, Malone JM. Do Racing Drivers Practice Racing? The Effect of Intentional Following on Formula Car Drivers' Steering Behavior. 2019;164–83. Available from: https://www.journalofexpertise.org/articles/volume2_issue3/JoE_2019_2_3_Rosalie_et al.html
 26. Pick AJ, Cole DJ. A mathematical model of driver steering control including neuromuscular dynamics. *J Dyn Syst Meas Control Trans ASME*.

2008;130(3).

Número de citas totales / Total references: 26 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 1 (3,84%)

[Rev.int.med.cienc.act.fis.deporte](#)- vol. X - número X - ISSN: 1577-0354

PENDIENTE DE PUBLICACIÓN / IN PRESS