

Disfunciones ejecutivas del lóbulo frontal en el control de la atención a corto plazo tras el remate de cabeza en el fútbol femenino

Agustí Comella Cayuela^{1,2}, Silvia Alonso Vila¹, Joan Carles Casas-Baroy¹

¹Research group on Methodology, Methods, Models and Outcomes of Health and Social Sciences (M3O). Faculty of Health Sciences and Welfare. University of Vic-Central University of Catalonia (UVIC-UCC). ²Laboratorio fisiología del ejercicio de Bayés Sport, Clínica de Vic. Barcelona.

Recibido: 10/07/2019

Aceptado: 04/12/2019

Resumen

Introducción: El fútbol es actualmente el deporte más popular y de más rápido crecimiento en todo el mundo. El fútbol femenino no para de crecer y despierta en la actualidad un gran interés, pero la mayoría de las recomendaciones científicas para el juego femenino se han basado hasta ahora en investigaciones realizadas en hombres. El aumento creciente de la práctica del fútbol femenino hace necesario incluir estos tipos de estudios.

Objetivo: Fue valorar las funciones ejecutivas del lóbulo frontal en el control de la atención a corto plazo después de haber realizado 6 remates de cabeza con un balón inteligente, en jugadoras de fútbol adultas no profesionales.

Metodología: El diseño de estudio fue experimental de un grupo intervención con evaluación pre y post. El estudio constó de dos fases, en la primera fase se realizó la recogida de datos personales, la historia deportiva, las medidas antropométricas y se realizó el Test Stroop para evaluar las funciones ejecutivas del lóbulo frontal. En la segunda fase, se realizaron 6 remates de cabeza consecutivos desde una distancia de 28 metros y se volvió a realizar el test de Stroop. La muestra estuvo formada por 12 jugadoras, con una media de edad de 25,3 (DE=6,5 años) y un rango entre los 18 y 40 años. La media de años que llevaban jugando al fútbol en equipos federados fue de 6,5 (DE=2,35 años), practicando entre 7 y 10 horas semanales al fútbol.

Resultados y conclusiones: Los impactos repetidos al realizar los remates de cabeza con un balón de fútbol, cuando la velocidad es superior a los 62 km/h, producen cambios cognitivos significativos y específicos en jugadoras de fútbol femenino, inmediatamente después del remate; indicando una disrupción en las funciones cerebrales voluntarias, provocando alteraciones negativas en las funciones ejecutivas.

Palabras clave:

Lesiones cerebrales. Lesiones cabeza. Fútbol. Función ejecutiva. Corteza prefrontal. Test Stroop.

Key words:

Brain injuries. Head injuries. Football. Executive function. Prefrontal cortex. Stroop test.

Executive dysfunctions of the frontal lobe in the control of short-term attention after the heading in women's football players

Summary

Introduction: Football is currently the most popular and fastest growing sport in the world. Women's football players does not stop growing and currently arouses great interest, but most of the scientific recommendations for the female game have been based so far on research conducted in men. The increasing increase in the practice of women's football makes it necessary to include these types of studies.

Objective: To assess the executive functions of the frontal lobe in the control of short-term attention after having performed 6 heading shots with an intelligent ball, in non-professional adult football players.

Methodology: The study design was experimental of an intervention group with pre and post evaluation. The study consisted of two phases, in the first phase the collection of personal data, sports history, anthropometric measures was performed, and the Stroop Test was performed to evaluate the executive functions of the frontal lobe. In the second phase, 6 consecutive head shots were made from 28 meters and the Stroop test was carried out again. The sample consisted of 12 players, with an average age of 25.3 (SD = 6.5 years) and a range between 18 and 40 years. The average number of years they had been playing football in federated teams was 6.5 (SD = 2.35 years), practicing between 7 and 10 hours per week in football.

Results and conclusions: The repeated impacts when football heading, when the speed is higher than 62 km / h, produce significant and specific cognitive changes in female football players, immediately after the auction; indicating a disruption in voluntary brain functions, causing negative alterations in executive functions.

Correspondencia: Agustí Comella Cayuela
E-mail: agusti.comella@uvic.cat

Introducción

El fútbol es actualmente el deporte más popular y de más rápido crecimiento en todo el mundo. El fútbol femenino ha experimentado un crecimiento exponencial a todos los niveles en los últimos tiempos y despierta en la actualidad un gran interés. Según la Encuesta 2014 de la FIFA, 30 millones de mujeres juegan actualmente al fútbol en el mundo¹. La puesta en marcha de la Estrategia de la FIFA para el Fútbol Femenino traza el camino para alcanzar los 60 millones de jugadoras en 2026². En España, el número de mujeres federadas ha pasado de 11.300 en 2003³ a 60.329 en el 2017⁴. Al igual que en muchos deportes, el fútbol conlleva un riesgo inherente de lesiones, incluida la conmoción y subconmoción cerebral. Pero el fútbol es único en el uso del cabezazo y el remate de cabeza, un movimiento defensivo u ofensivo que se usa para impactar deliberadamente el balón y dirigirlo durante el juego. Durante los partidos, los jugadores cabecean el balón un promedio de 6-12 veces, donde la pelota alcanza altas velocidades, hasta 80 km/hora o más. En sesiones de entrenamiento, los remates y cabezazos, a menudo lanzados a baja velocidad, pueden producirse 30 veces o más⁵.

Aunque no todos los cabezazos en el fútbol producen una conmoción cerebral, estos impactos subconmocionales pueden comunicar aceleración, desaceleración y fuerzas de rotación en el cerebro, dejando déficits estructurales y funcionales⁶. La falta de atención, el rendimiento de la memoria y los resultados del aprendizaje verbal pueden ocurrir después de los impactos subconmocionales, y se han atribuido al daño en la sustancia blanca del cerebro y posibles secuelas neurodegenerativas crónicas⁷⁻⁹. Estas fuerzas impartidas al mesencéfalo, cuerpo calloso y fórnix pueden ser responsables de los síntomas de conmoción cerebral, como la pérdida de conciencia, la amnesia y la disfunción cognitiva. Incluso en los impactos menos graves, subconmocionales, existen fuerzas significativas que se transmiten a las estructuras profundas del cerebro medio y del tallo cerebral, lo que implica también lesiones^{9,10}.

Existe una preocupación creciente sobre las lesiones cerebrales relacionadas con el deporte y las posibles consecuencias a largo plazo; sin embargo, se ha puesto menos énfasis en los efectos acumulativos de los impactos subconmocionales repetitivos. Los impactos subconmocionales se definen como eventos similares a los que dan lugar a una conmoción cerebral o lesión cerebral traumática leve, pero aparentemente implican fuerzas de impacto o aceleraciones insuficientes para producir síntomas asociados con la conmoción cerebral⁷.

El efecto acumulativo de las colisiones repetitivas subconmocionales sobre la integridad estructural y funcional del cerebro sigue siendo en gran parte desconocido. Los atletas en deportes de colisión, como el fútbol, experimentan una gran cantidad de impactos en una sola temporada de juego⁷. Por otro lado, la mayoría de estos impactos producidos en el remate de cabeza no son apreciados como un factor causal de posibles lesiones, por lo que sus consecuencias a largo plazo siguen siendo poco estudiadas.

La mayoría de los estudios realizados en el fútbol se llevan a cabo en jugadores masculinos. En consecuencia, la mayoría de las recomendaciones científicas para el juego femenino se han basado hasta ahora en investigaciones realizadas en hombres, lo cual puede no ser

apropiado¹¹. El aumento creciente de la práctica del fútbol femenino hace necesario incluir estos tipos de estudios.

Se plantea la siguiente hipótesis de trabajo, los impactos repetidos al realizar cabezazos durante la práctica del fútbol no profesional, en la población adulta femenina, causa disfunciones ejecutivas del lóbulo frontal en el control de la atención a corto plazo.

El objetivo de nuestro estudio fue valorar las funciones ejecutivas del lóbulo frontal en el control de la atención a corto plazo después de haber realizado remates de cabeza con el balón, en jugadoras de fútbol adultas no profesionales.

Material y método

Sujetos

La población de estudio corresponde a las mujeres jugadoras de fútbol no profesional. La selección de las jugadoras que participaron en el estudio se realizó a partir de un muestreo intencional, seleccionadas de entre el equipo senior femenino del CF Arenys de Mar (Barcelona), según los siguientes criterios de inclusión y exclusión. Fueron incluidas las que voluntariamente aceptaron participar en el estudio y que estaban federadas y fueron excluidas del estudio las jugadoras con traumatismos craneoencefálicos y conmociones previas y enfermedades agudas y crónicas.

En primer lugar, se solicitó la autorización del club de fútbol y posteriormente se informó a las jugadoras del objetivo de estudio y se solicitó la firma del consentimiento informado para participar de forma voluntaria y bajo la ley de protección de datos, asegurando en todo momento el anonimato y la confidencialidad de las informaciones.

Diseño y procedimiento

El diseño del estudio fue experimental de un grupo intervención con evaluación pre y post. El estudio constó de dos fases, en la primera fase se realizó la recogida de variables sociodemográficas y relacionadas con la práctica deportiva (historia deportiva, años de práctica de fútbol federado, posición predominante en el terreno de juego, total de horas semanales de práctica de fútbol y frecuencia del remate de cabeza durante un partido) y las medidas antropométricas. Posteriormente se realizó el test de Stroop, sin interferencia (efecto Stroop apagado) registrando el número de errores y la velocidad de ejecución; test de Stroop con interferencia (efecto Stroop encendido) registrando el número de errores y la velocidad de ejecución.

En la segunda fase, se realizaron 6 remates de cabeza consecutivos desde una distancia de 28 metros. Se optó por 6 remates de cabeza porque es la media de remates de cabeza que se realizan durante un entrenamiento¹². Además, los remates consecutivos facilitan la aparición de subconmoción. Todos los chuts fueron realizados por la misma persona, intentando, en lo posible, que todos los disparos fueran similares en velocidad. Las variables recogidas con el balón inteligente fueron la velocidad de la pelota en km/h, el giro en r.p.m. en el momento del remate y el tiempo total de remate. Inmediatamente después se volvió a realizar el Test de Stroop, sin interferencia y con interferencia, registrando el número de errores y la velocidad de ejecución.

Test Stroop

El test fue desarrollado por Ridley Stroop¹³; evalúa la velocidad de procesamiento del componente de inhibición de las funciones ejecutivas, la capacidad del sujeto para inhibir una respuesta automática y para seleccionar una respuesta en base a un criterio arbitrario¹⁴. Utilizando el test de Stroop para producir inhibiciones de respuesta, errores de comisión frecuentes y la oportunidad de una corrección conductual posterior, se identifican las distintas áreas corticales asociadas con cada uno de estos procesos ejecutivos específicos¹⁵.

Para medir la capacidad de inhibición se utilizan acciones basadas en interferencias. Se han desarrollado numerosas versiones del Test de Stroop. Para realizar nuestro estudio utilizamos una aplicación para smartphone, EncephalApp-Stroop basada en la adaptación de la prueba clásica. Consiste en un test de colores y palabras, en que el sujeto lee nombres de colores puestos al azar y han de seleccionar siempre el color del signo que se presenta (verde, azul y rojo), tiene 2 condiciones diferentes: 1- Sin interferencia (efecto Stroop apagado). Se muestra el signo # de color sin ningún significado, no se produce ninguna interferencia. 2- Interferencia (efecto Stroop encendido). Aparecen las palabras verde, azul y rojo escritas con los tres posibles colores de forma aleatoria (Figura 1). Se ha de seleccionar el color en que están escritas, no el significado de la palabra escrita. De este modo se produce una interferencia, en la cual aparece el componente inhibitorio de las funciones ejecutivas.

Cuando no aparece el efecto Stroop, se trata más de un acto reflejo hacia la consecución del objetivo. Mientras que cuando existe el efecto Stroop implica la aparición de inhibir el acto reflejo hacia el objetivo al que se dirigía inicialmente, entonces se genera un nuevo objetivo implicando un acto voluntario, efecto de interferencia color-palabra¹⁴.

El test se desarrolla a partir de realizar 7 mediciones consecutivas, las dos iniciales no se contabilizaron los errores y sirvieron para familiarizar a la jugadora y reducir el efecto aprendizaje que se podría ver reflejado en el post-test.

Al finalizar el test, la propia aplicación calcula el tiempo de cada una de las fases, la velocidad total de cada condición y registra el número de errores.

Balón inteligente

El balón inteligente Adidas Smart Ball miCoach, dispone de sensores en su interior que nos ofrece los datos sobre cada lanzamiento, enviando

Figura 1. Efecto Stroop apagado (sin interferencia) y efecto Stroop encendido (con interferencia).



estos datos a un dispositivo iOS mediante tecnología Bluetooth 4.0. Esta pelota tiene el mismo peso y tamaño que la pelota estándar de fútbol, con un peso de 450 g y 68,6 cm de diámetro. En nuestro estudio registramos la velocidad del balón en km/h, los giros en rpm y la trayectoria del lanzamiento hasta el impacto con la frente de la jugadora.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos han sido analizados estadísticamente. Inicialmente se ha realizado el análisis descriptivo: para las variables cuantitativas se han utilizado los indicadores de media, desviación estándar, rango y se presentan los intervalos de confianza al 95%, siempre que la variable sea una distribución normal. Para las comparaciones de dos medias se ha empleado la prueba T de Student-Fisher para grupos independientes, dada la normalidad de las distribuciones. Se ha utilizado el análisis del Modelo Lineal General (MLG) para estudiar diferencias de medias con medidas repetidas y se ha realizado un análisis multivariable a partir de las medias del número de errores extraídos en el post-test. Se ha asumido un riesgo de error alfa del 5%.

Se han analizado las diferencias de las velocidades medias y errores extraídos en el pre-test y post-test, teniendo en cuenta el efecto Stroop apagado y encendido. También, se ha detallado las velocidades registradas de cada una de las fases del post-test, así como los en qué fase se han localizado los errores cometidos. Por último, se ha establecido correlaciones entre las variables de las jugadoras que conforman la muestra con la cantidad de errores extraídos, así como la correlación entre la velocidad de la pelota, km/h, con los errores del post-test.

Resultados

La muestra estuvo formada por 12 jugadoras, con una media de edad de 25,3 (DE=6,5 años) y un rango entre los 18 y 40 años. La media de años que llevaban jugando al fútbol en equipos federados fue de 6,5 (DE=2,35 años), practicando entre 7 y 10 horas semanales al fútbol.

Características sobre el lanzamiento del balón

Los resultados obtenidos del balón inteligente fueron los siguientes: la velocidad media alcanzada por el balón en el momento del impacto fue de 62,5 Km/h (IC95%: 57,8 - 67,7 km/h), la media de las revoluciones por minuto fue de 373 rpm (IC95%: 286 - 446 rpm). El tiempo medio empleado para realizar los 6 remates de cabeza fue de 2,55 min (IC95%: 2,03 - 3,38 min).

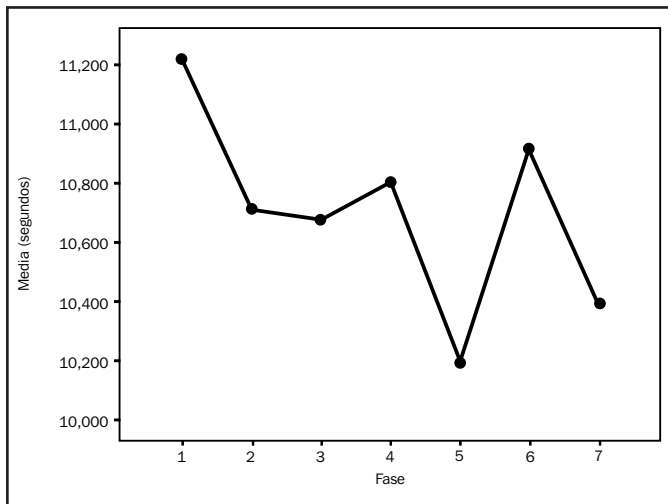
Velocidad de respuesta del Test Stroop

Al comparar la velocidad en el tiempo medio de respuesta, expresado en segundos (s), del test con el efecto Stroop apagado (sin interferencia), antes del remate fue 10,8 s (IC 95%: 9,8 - 12,6 s) y después del remate de 10,7 s (IC 95%: 9,4 - 12,0 s), no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,737$). Tampoco se observaron diferencias ($p = 0,302$) con el efecto Stroop encendido (con interferencia), antes del remate fue 12,0 s (IC95%: 9,5 - 13,3 s) y después del remate de 11,7 s (IC 95%: 9,9 - 13,2 s) (Tabla 1).

Tabla 1. Velocidad de respuesta en el test de Stroop con y sin interferencia.

	Pretest		Post test		Diferencia T-test Student- Fischer
	Media (s)	IC95%	Media (s)	IC95%	
Stroop sin interferencia	10,8	9,8 - 12,6	10,7	9,4 - 12,0	p= 0,737
Stroop con interferencia	12,0	9,5 - 13,3	11,7	9,9 - 13,2	p= 0,302

Figura 2. Velocidad de respuesta, en segundos, en cada fase del test después del remate de cabeza con el efecto Stroop apagado.



Al analizar la velocidad de respuesta en cada fase del test después del remate de cabeza con el efecto Stroop apagado (sin interferencia), se observaron diferencias significativas entre las fases 1-2, 1-5, 1-7, 4-5 y 5-6 ($F=7,39$; $gl=6,0$; $p=0,014$) (Figura 2), lo cual indica que la velocidad de respuesta en el efecto Stroop sin interferencia se reduce según transcurren las diferentes fases. La reducción más elevada en el tiempo de respuesta se encontró entre la fase 1 (11,2 s) y la fase 2 (10,7s) ($p=0,018$).

Respecto a la velocidad de respuesta con el efecto Stroop encendido (interferencia) tuvo un comportamiento muy variable en cada fase, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre ellas (Figura 3), lo cual indica que la velocidad de respuesta en el efecto Stroop con interferencia, es independiente del tiempo transcurrido después del remate.

Número de errores en el Test Stroop

Respecto al número de errores cometidos antes del remate de cabeza con el efecto Stroop apagado (sin interferencia) se obtuvo una media de 0,42 errores (IC 95%:0-2 errores). Después del remate, la

Figura 3. Velocidad de respuesta, en segundos, en cada fase del test después del remate de cabeza con el efecto Stroop encendido.

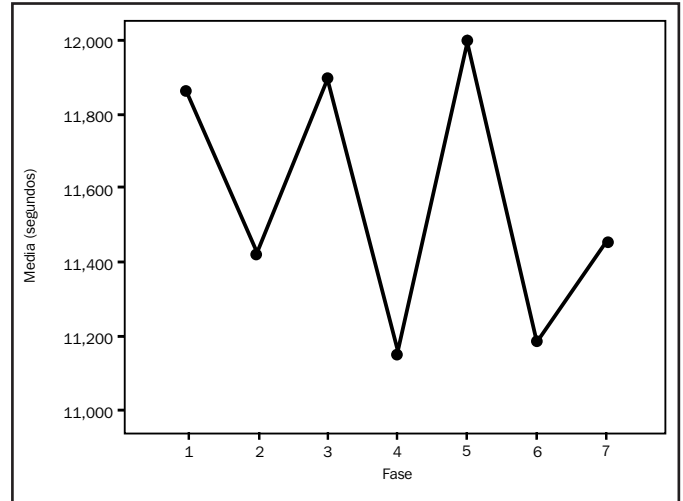


Tabla 2. Media del número de errores en la respuesta con el test de Stroop con y sin interferencia.

	Pretest		Post test		Diferencia T-test Student- Fischer
	Media errores	IC95%	Media errores	IC95%	
Stroop sin interferencia	0,42	0 - 2	0,75	0 - 2	p= 0,220
Stroop con interferencia	0,50	0 - 2	1,5	0 - 3	p=0,015

media de errores fue 0,75 errores (IC 95%: 0-2 errores). No se observaron diferencias significativas entre ambas situaciones, antes y después ($p=0,220$). Respecto al número de errores con el efecto Stroop encendido (interferencia), la media antes del remate fue de 0,50 errores (IC95%: 0-2 errores) y de 1,5 errores (IC 95%: 0-3 errores) después del remate de cabeza, observándose un incremento estadísticamente significativo en el número de errores después del remate ($p=0,015$) (Tabla 2).

Al analizar el número de errores en las respuestas en función del momento o fases dónde estos se producen con el efecto Stroop sin interferencia, observamos que aparecen en la fase 1 se obtiene una media de 0,25 errores, en la fase 2 una media de 0,33 errores y en la fase 3 de 0,17 errores. A partir de la fase 4 hasta la 7 no se realizó ningún error, apreciándose diferencias estadísticamente significativas en cuanto al número de errores en las fases ($F=5,2$; $gl= 9,0$; $p=0,024$). Es a partir de la fase 2 donde se localizan los mayores números de errores, disminuyendo de forma significativa (Figura 4).

Al analizar el número de errores en las respuestas en función del momento o fases dónde estos se producen con el efecto Stroop con interferencia, se apreciaron diferencias significativas ($F=8,75$; $gl= 7,0$; $p=0,007$) entre las fases siguientes: en la fase 1 la media fue de 0,36

Figura 4. Media de errores en cada fase del test después del remate de cabeza con el efecto Stroop apagado.

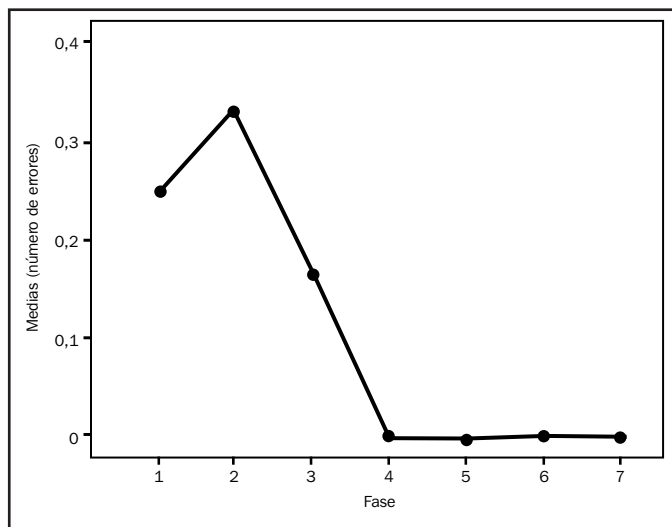


Figura 5. Media de errores en cada fase del test después del remate de cabeza con el efecto Stroop encendido.

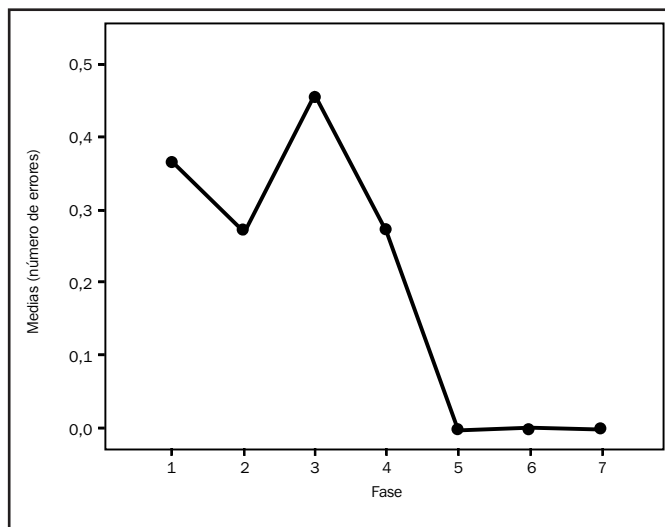


Tabla 3. Velocidad de respuesta según la velocidad del balón.

Velocidad balón	Test Stroop	Velocidad de respuesta (s)	Diferencia (s)	IC 95% de la diferencia		T-test Student-Fisher
				Inferior	Superior	
≤62 km/h	Sin interferencia	10,58	-1,10	-1,69	-0,52	p=0,005
	Con interferencia	11,68				
>62 km/h	Sin interferencia	10,86	-0,78	-1,42	-0,15	p=0,025
	Con interferencia	11,65				

errores, en la fase 2 de 0,27 errores, en la fase 3 de 0,45 errores, en la fase 4 de 0,27 errores y a partir de la fase 5 hasta la 7 no se produjo ningún error. Las diferencias más destacables se observaron entre la fase 1 y la fase 3, después el número de errores disminuye hasta llegar a 0 en la fase 5 (Figura 5).

Velocidad del balón y número de errores

Al correlacionar la velocidad del balón durante el remate y el número de errores cometidos con el efecto Stroop encendido, se observó una asociación moderada estadísticamente significativa ($r=0,59$; $p=0,043$), cuanto mayor fue la velocidad, mayor número de errores se cometieron. En cambio, con el efecto Stroop apagado no mostró ninguna correlación. Al categorizar la velocidad del balón en dos grupos, más de 62 km/h respecto el resto, se observa que cuando la velocidad del balón supera los 62 km/h se asocia de forma significativa con un mayor número de errores en el test ($r=0,95$; $p=0,003$), no estableciéndose esta relación cuando la velocidad del balón es inferior.

Velocidad del balón y velocidad de respuesta

Al relacionar la velocidad del balón con la velocidad de respuesta en el test de Stroop, apagado y encendido, no se observó ninguna asociación estadísticamente significativa.

Si el análisis se realiza categorizando la velocidad del balón en dos grupos, más de 62 km/h respecto el resto, al comparar la velocidad de respuesta en el test de Stroop apagado y encendido, se observó diferencias estadísticamente significativas entre ambos. La velocidad de respuesta es más rápida con el efecto Stroop apagado, sin interferencia, además es independiente de la velocidad del balón (Tabla 3).

Número de revoluciones por minuto del balón y errores en la respuesta

Las revoluciones por minuto (rpm) del balón no mostraron ninguna correlación con el número de errores cometidos ($r=0,20$; $p=0,52$), ni con el efecto Stroop encendido ($r=0,16$; $p=0,62$) y con el efecto apagado ($r=0,06$; $p=0,84$).

Errores y velocidad de respuesta

Al analizar la relación entre el número de errores y la velocidad de respuesta en cada etapa del test de Stroop encendido y apagado, no se observó relación estadística. En número de errores no se asocia a la velocidad de reacción. Al analizar la relación entre el número de errores y la velocidad de respuesta en la fase posterior con el test de Stroop encendido y apagado, no se observó relación estadística entre ambas variables en ninguna de las 7 fases. El tiempo de reacción en la

ejecución del test siguiente, no se relaciona con los errores cometidos previos con o sin inferencia.

Respecto al tiempo empleado en la ejecución de todos los cabezazos, tampoco se observó ninguna correlación con el número de errores ($r=0,11$; $p=0,74$), ni con el efecto Stroop encendido ($r=-0,07$; $p=0,83$) ni con el efecto apagado ($r=-0,10$; $p=0,76$).

Finalmente, la edad tampoco mostró ninguna correlación con el número de errores ($r=-0,26$; $p=0,41$), tampoco los años que llevan jugando en un equipo federado ($F=1,17$; $p=0,35$), ni la posición en que juegan en el campo ($F=0,04$; $p=0,96$) y ni en el número de veces que cabecean ($F=0,304$; $p=0,59$).

Discusión

En nuestro estudio hemos observado que los impactos repetidos al rematar el balón de fútbol con la cabeza producen una disrupción en las funciones cerebrales voluntarias. Cuando la velocidad del balón es superior a los 62 km/h se producen cambios cognitivos significativos y específicos en jugadoras de fútbol femenino, presentándose inmediatamente después del remate. Se observa una alteración negativa en el procesamiento del componente de inhibición de las funciones ejecutivas, la capacidad del sujeto para inhibir una respuesta automática hacia el objetivo al que se dirigía inicialmente y generar una corrección conductual en la respuesta, implicando un acto voluntario (efecto Stroop) y un conflicto de respuesta.

Los estudios con neuroimagen sugieren que los síntomas neurocognitivos son debidos a la lesión microestructural y metabólica acumulada en el cerebro, a causa de la exposición a golpes repetitivos en la cabeza^{16,17}. La fuerza del impacto provoca una subconmoción en la corteza cerebral, que posiblemente altera el neurometabolismo y la conectividad funcional, como sugiere Svaldi DO¹⁸, encontrando una disminución en la reactividad cerebrovascular en mujeres futbolistas, precediendo a los síntomas neurocognitivos. Rodrigues AC¹⁹ y Bigler ED²⁰ proporcionan evidencias preliminares de la relación entre la exposición al impacto en la cabeza y los cambios estructurales y funcionales en el cerebro. Koerte IK²¹; encontró diferencias en la integridad de la materia blanca en jugadores de fútbol y que sugiere una posible desmielinización a causa de una neuroinflamación. Las regiones más afectadas son la sustancia blanca orbitofrontal derecha, el genu y la porción anterior del *corpus callosum*, las fibras de asociación que involucran el fascículo fronto-occipital inferior bilateral, las radiaciones ópticas, el cíngulo anterior bilateral y superior derecho, además de la corona radiata, la capsula interna y el gyrus frontal superior. Las regiones cerebrales que presentan cambios en la reactividad cerebrovascular más persistentes son las regiones frontales dorsolaterales²² y frontotemporal¹⁸. Todas estas regiones cerebrales son las responsables del procesamiento de las señales de entrada y de las funciones ejecutivas de respuesta. En una amplia muestra de jugadores de fútbol juveniles con conmociones cerebrales previas, no hubo evidencia de efectos negativos sobre la cognición y ninguna evidencia de diferencias en relación al sexo²³.

Los cerebros masculino y femenino muestran diferencias anatómicas, funcionales y bioquímicas en todas las etapas de la vida^{24,25}. En los cerebros femeninos, las neuronas se agrupan con fuerza, de modo que

ciertas capas de la corteza cerebral están más densamente pobladas. Algunas mujeres incluso tienen hasta 12% más neuronas que los hombres²⁶. Aunque los volúmenes cerebrales son mayores en los hombres, la proporción de materia gris / blanca es más alta en los lóbulos frontal, temporal, parietal, occipital, la circunvolución cingulada e ínsula en las mujeres respecto a los hombres^{25,27}. Estas diferencias regionales pueden estar relacionadas con la distribución de los receptores de estrógenos y andrógenos. El flujo sanguíneo cerebral global es más alto en las mujeres que en los hombres, mientras que el metabolismo cerebral global es equivalente²⁵. Los resultados sugieren que la unidad funcional cortical tiene una relación diferente de entrada y componentes de salida en hombres y mujeres que podrían tener implicaciones para las diferencias de sexo en la cognición y el comportamiento²⁶.

Un hecho destacable es la velocidad del balón. Lewis ML *et al*²⁸ observaron que los jugadores están expuestos a una fuerza de aceleración media de 49 G al cabecear el balón a una velocidad de 39,3 millas por hora (63 km/hora). La exposición a golpes repetitivos en la cabeza presenta el riesgo de cambios microestructurales y funcionales en el cerebro¹⁷. Nuestros resultados sugieren que los impactos del balón a más de 62 km/h provocan subconmociones, alterando la calidad de la respuesta y empeorando los resultados del test.

Estos impactos pueden producir cambios en el flujo sanguíneo cerebral, neurometabólicos y en la conectividad cortico-subcortical y subcortical-subcortical, produciéndose una disociación entre la corteza prefrontal dorsolateral, implicada en la inhibición de la respuesta y la corteza cingulada anterior que afecta al control de la atención, papel importante en el procesamiento regulativo del conflicto perceptual y en la detección del conflicto de respuesta²⁹⁻³¹, dificultando la planificación de la respuesta de las funciones ejecutivas. En consecuencia, los errores de comisión se deberían a una activación tardía, en lugar de una baja actividad de estas mismas áreas de inhibición de la respuesta como sugiere Garavan H, *et al*¹⁵. Hemos observado que la restauración de la conectividad y del tiempo de activación de la respuesta se recuperan a partir de la segunda fase del test.

En cambio, cuando no aparece el conflicto de respuesta, se trata más de un acto reflejo hacia la consecución del objetivo, no se ve afectado por la velocidad del balón. En la automatización de la respuesta, se produce un aprendizaje de la aparición del conflicto de respuesta. En las tareas irrelevantes (efecto Stroop apagado) cuando no es necesaria la implicación de inhibición, no se produce una interferencia con la ejecución de la tarea y esto nos hace sospechar de la no implicación de la corteza prefrontal dorsolateral.

Por lo que respecta a los errores en las ejecuciones de los tests, no se observó la existencia de relación entre el número de errores y la edad de la jugadora, ni los años que llevan jugando, ni la posición en la que juega y ni la frecuencia de cabezazos. Pero el efecto negativo agudo, inmediato, sobre las funciones ejecutivas es evidente. Parece ser que no se producen efectos acumulativos de subconmociones entre nuestras jugadoras, a consecuencia del remate de cabeza en las funciones ejecutivas. Un historial de conmoción cerebral se asocia con un mayor riesgo de la depresión clínicamente diagnosticada y los síntomas depresivos, pero no está claro si estos hallazgos son generalizables más allá de los ex jugadores de fútbol profesionales masculinos³². En jugadores de fútbol se ha observado un mayor adelgazamiento cortical con la edad

y un deterioro cognitivo temprano como consecuencia al impacto repetitivo del balón³³. Para evitar la posibilidad de un efecto negativo acumulativo crónico al cabecear el balón, se propusieron diferentes recomendaciones y la técnica de juego correcta³⁴.

Los resultados de nuestro estudio sugieren evitar los fuertes impactos con la cabeza al balón y los remates sucesivos; se tiene que limitar la carga acumulada a lo largo de la temporada, tanto durante los entrenamientos como en los partidos. También es necesario un periodo de descanso después de la temporada de competición para mantener un buen estado de salud cerebral. Las evidencias de un efecto negativo en la funcionalidad cerebral se han de tener presentes para realizar recomendaciones en la práctica deportiva escolar.

Las conclusiones obtenidas en la presente investigación deben ser adoptadas con la cautela necesaria, dado que los resultados provienen de una muestra pequeña de 12 efectivos, lo cual es una limitación del estudio. No obstante, los resultados apuntan en la misma dirección que otras investigaciones y a la vez sugieren que debemos seguir investigando, con lo cual se va a aumentar el número de efectivos para las siguientes investigaciones. Existen también otra limitación inherente al diseño de estudio, como la no aleatorización en la selección de las participantes y la inclusión de un grupo de control, que fueron considerados, pero no fueron posibles llevar a cabo. Se necesitan estudios prospectivos para evaluar relación de los impactos subconmocionales acumulados con las funciones cognitivas y la salud mental en jugadoras de fútbol, tanto federadas como aficionadas. La falta de estudios en jugadoras, a medio y largo plazo, no nos permite conocer las consecuencias en el futuro de los impactos en la cabeza y los síntomas neurocognitivos debidos a la lesión microestructural y metabólica acumulada en el cerebro.

Agradecimientos

A la dirección del CF Arenys de Mar y a las jugadoras del equipo senior femenino.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflicto de intereses alguno.

Bibliografía

- Más de 30 millones de mujeres juegan al fútbol en todo el planeta - Revista Líderas. Disponible en: <http://www.revistalideras.com/mas-de-30-millones-de-mujeres-juegan-al-futbol-en-todo-el-planeta/> (consultado 03/07/2019).
- Fútbol femenino en la FIFA - Estrategia de Fútbol Femenino - FIFA.com. <https://es.fifa.com/womens-football/strategy/>. (consultado 04/07/2019).
- Femenino Archives - World Football Summit 2017. Disponible en: <http://worldfootballsummit.com/tag/femenino/>. (consultado 03/12/2017).
- Estadística de deporte federado. Disponible en: http://www.mecd.gob.es/dam/jcr:79ce5fb6-29a0-4b9b-950a-85b3f9c25c46/Estadistica_Deporte_Federado_2017.pdf. (consultado 12/06/2018).
- Spiotta AM, Bartsch AJ, Benzel EC. Heading in soccer: Dangerous play? *Neurosurgery*. 2012;70:1-11.
- Bretzin AC, Mansell JL, Tierney RT, McDevitt JK. Sex differences in anthropometrics and heading kinematics among division i soccer athletes. *Sports Health*. 2017;9:168-73.
- Slobounov S, Walter A, Breiter H, Zhu D, Bai X, Bream T, et al. The effect of repetitive subconcussive collisions on brain integrity in collegiate football players over a single football season: A multi-modal neuroimaging study. *NeuroImage Clin*. 2017;14:708-18.
- Niogi S, Mukherjee P, Ghajar J, Johnson C, Kolster R, Lee H, et al. Structural dissociation of attentional control and memory in adults with and without mild traumatic brain injury. *Brain*. 2008;131:3209-21.
- Dashnaw ML, Petraglia AL, Bailes JE. An overview of the basic science of concussion and subconcussion: where we are and where we are going. *Neurosurg Focus*. 2012;33:1-9.
- Pellman EJ, Viano DC, Tucker AM, Casson IR, Waeckerle JF. Concussion in professional football: reconstruction of game impacts and injuries. *Neurosurgery*. 2003;53:799-812.
- Salud femenina - FIFA.com. <http://es.fifa.com/womens-football/womens-health.html>. Accessed December 3, 2017.
- Zhang MR, Red SD, Lin AH, Patel SS, Sereno AB. Evidence of cognitive dysfunction after soccer playing with ball heading using a novel tablet-based approach. *PLoS One*. 2013;8:8-11.
- Stroop JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *J Exp Psychol*. 1935;18:643-62.
- Ardila A. Función Ejecutiva: fundamentos y evaluación. Miami, Florida International University; 2013. p. 9-10.
- Garavan H, Ross TJ, Murphy K, Roche RAP, Stein EA. Dissociable executive functions in the dynamic control of behavior: Inhibition, error detection, and correction. *NeuroImage*. 2002;17:1820-9.
- Lipton M, Kim N, Zimmerman M, Kim M, Stewart W, Branch C, et al. Soccer heading is associated with white matter microstructural and cognitive abnormalities. *Radiology*. 2013;268:850-7.
- Mainwaring L, Pennock KF, Mylabathula S, Alavie BZ. Subconcussive head impacts in sport: A systematic review of the evidence. *Inter. J. Psychophysiol*. 2018;132:39-54.
- Svaldi DO, McCuen EC, Joshi C, Robinson ME, Nho Y, Hannemann R, et al. Cerebrovascular reactivity changes in asymptomatic female athletes attributable to high school soccer participation. *Brain Imaging Behav*. 2017;1:98-112.
- Rodrigues AC, Lasmar RP, Caramelli P. Effects of soccer heading on brain structure and function. *Front Neurol*. 2016;7:38.
- Bigler ED. Structural neuroimaging in sport-related concussion. *Int J Psychophysiol*. 2018;132: 105-23.
- Koerte IK, Ertl-Wagner B, Reiser M, Zafonte R, Shenton ME. White matter integrity in the brains of professional soccer players without a symptomatic concussion. *JAMA*. 2012;308:1859-61.
- Chan S, Evans KC, Rosen BR, Song T, Kwong KK. A case study of magnetic resonance imaging of cerebrovascular reactivity: A powerful imaging marker for mild traumatic brain injury. *Brain Inj*. 2015;29:403-7.
- Brooks BL, Silverberg N, Maxwell B, Mannix R, Zafonte R, Berkner P, et al. Investigating effects of sex differences and prior concussions on symptom reporting and cognition among adolescent soccer players. *Am J Sports Med*. 2018;46:961-8.
- Zaidi ZF. Gender differences in human brain: A Review. *Open Anat J*. 2010;2:37-55.
- Cosgrove KP, Staley JK. Evolving knowledge of sex differences in brain structure, function and chemistry. *Biol Psychiatry Biol Psychiatry*. 2007;15:847-55.
- Witelson SF, Glezer II, Kigar DL. Women have greater density of neurons in posterior temporal cortex. *J Neurosci*. 1995;15:3418-28.
- Allen JS, Damasio H, Grabowski TJ, Bruss J, Zhang W. Sexual dimorphism and asymmetries in the gray-white composition of the human cerebrum. *NeuroImage*. 2003;18:880-94.
- Lewis LM, Naunheim R, Standeven J, Laurysen C, Richter C, Jeffords B. Do football helmets reduce acceleration of impact in blunt head injuries? *Acad Emerg Med*. 2001;8:604-9.
- Kim C, Kroger JK, Kim J. A functional dissociation of conflict processing within anterior cingulate cortex. *Hum Brain Mapp*. 2011;32:304-12.
- Botvinick MM, Carter CS, Braver TS, Barch DM, Cohen JD. Conflict monitoring and cognitive control. *Psychol Rev*. 2001;108:624-52.
- Critchley HD, Tang J, Glaser D, Butterworth B, Dolan RJ. Anterior cingulate activity during error and autonomic response. *NeuroImage*. 2005;27:885-95.
- Hutchison MG, Di Battista AP, McCoskey J, Watling SE. Systematic review of mental health measures associated with concussive and subconcussive head trauma in former athletes. *Int J Psychophysiol*. 2018;132:55-61.
- Koerte I, Mayinger M, Muehlmann M, Kaufmann D, Lin A, Steffinger D, et al. Cortical thinning in former professional soccer players. *Brain Imaging Behav*. 2016;10:792-8.
- Bunc G, Ravnik J, Velnar T. May heading in soccer result in traumatic brain injury? A review of literature. *Med Arch (Sarajevo, Bosnia Herzegovina)*. 2017;71:356-9.