

Análisis de las características morfofuncionales de la porción larga del bíceps femoral en jugadores de rugby: estudio piloto

Analysis of the morphofunctional ultrasound characteristics of the long head of the biceps femoris in professional rugby athletes: pilot study

Alonso-García L^a, Boj-Cruz E^b, Marín-del-Amo R^c

^a Fisiokid. Alcalá de Henares, España

^b Centro Tándem. Madrid, España

^c Fundación NIPACE. Guadalajara, España

Correspondencia:

Eva Boj Cruz

eva.boj@gmail.com

Recibido: 25 junio 2023

Aceptado: 4 octubre 2023

RESUMEN

Introducción: en el rugby se han relacionado algunas características musculares visibles con ecografía con el riesgo de lesión de la porción larga del bíceps femoral. Sin embargo, la evidencia científica es escasa. *Objetivo:* evaluar los cambios de las características ecográficas morfofuncionales de la porción larga del bíceps femoral en jugadores de un equipo profesional de rugby al final de la temporada. *Material y método:* se realizó un estudio observacional analítico prospectivo en la Universidad de Alcalá, con 19 jugadores pertenecientes al equipo de Rugby División de Honor B. Se llevaron a cabo 3 mediciones ecográficas, midiendo el grosor muscular, perímetro, área de sección transversal y ángulo de penación mediante el software libre Fiji/Image, la velocidad de contracción y relajación con el modo-M, y la fuerza del cuádriceps y de los isquiotibiales con dinamómetro. *Resultados:* se evidenciaron diferencias significativas en las fuerzas del cuádriceps y de los isquiotibiales y en la velocidad de relajación, con tamaños de efecto grande y mediano y significativos. Al comparar *backs* y *forwards*, se encontró un efecto significativo en la fuerza del cuádriceps tanto del factor posición de juego como del factor entrenamiento. En la fuerza de los isquiotibiales solo hubo un efecto significativo del factor entrenamiento. *Conclusiones:* los resultados obtenidos en este estudio revelan, por una parte, la existencia de diferencias estadísticamente significativas en las variables de fuerza muscular del cuádriceps y de los isquiotibiales y de velocidad de relajación, así como en la fuerza muscular del cuádriceps al comparar *backs* y *forwards*; y por otra, que podría existir una relación entre las variables de ángulo de penación y fuerza muscular con la disminución del riesgo de lesión, pudiendo suponer un impulso hacia nuevas investigaciones en este campo. En cuanto a la fiabilidad inter e intraobservador fue de moderada a excelente.

Palabras clave: porción larga del bíceps femoral, rugby, ecografía, fuerza muscular, velocidad de relajación, ángulo de penación.

ABSTRACT

Introduction: in rugby, some muscle characteristics visible with ultrasound have been related to the risk of injury to the long head of the biceps femoris. However, scientific evidence is scarce. *Objective:* to evaluate the changes in the morphofunctional ultrasound characteristics of the long head of the biceps femoris in rugby players of a professional rugby team at the end of the season. *Material and method:* a prospective analytical observational

study was carried out at the University of Alcalá, with 19 players belonging to the Rugby Division Honor B team. Three ultrasound measurements were taken, measuring muscle thickness, perimeter, cross-sectional area and penile angle using the free software Fiji/Image, contraction and relaxation speed with M-mode, and the strength of the quadriceps and hamstring with a dynamometer. Results: significant differences were evidenced in quadriceps and hamstring strength and relaxation speed, with large and medium and significant effect sizes. When comparing backs and forwards, a significant effect was found on quadriceps strength of both the playing position factor and the training factor. In hamstring strength there was only a significant effect of the training factor. Conclusions: the results obtained in this study reveal, on the one hand, the existence of statistically significant differences in the variables of muscle strength of the quadriceps and hamstrings and relaxation speed, as well as in the muscle strength of the quadriceps when comparing backs and forwards; and on the other hand, there could be a relationship between the variables of pennation angle and muscle strength with the reduction in the risk of injury, which could provide a boost towards new research in this field. Regarding inter- and intraobserver reliability, it was moderate to excellent.

Keywords: *biceps femoris longus, rugby, ultrasound, muscle strength, relaxation speed, penile angle.*

DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

Los datos generados y/o analizados en el presente estudio no están disponibles públicamente debido a la privacidad de los sujetos, pero pueden ser proporcionados por el autor de correspondencia mediante solicitud razonada.

INTRODUCCIÓN

El rugby es un deporte en el que las lesiones son muy frecuentes^(1, 2) y aumentan con la carga de trabajo. Por ello, es crucial controlar la carga⁽³⁻⁶⁾ mejorando el rendimiento del equipo^(3, 7), a través de estrategias para reducir las lesiones^(5, 8, 9).

En el rugby, la mayoría de las lesiones no traumáticas se dan en los miembros inferiores⁽⁴⁾ y sobre todo en la rodilla^(2, 10, 11), mayoritariamente en los *backs*⁽¹⁰⁾ debido al evento de placaje⁽²⁾; aunque los delanteros corren más riesgo de lesionarse otras zonas, como la columna cervical^(10, 12). Concretamente, la musculatura más lesionada son los isquiotibiales⁽¹³⁻¹⁵⁾, habitualmente durante la carrera de alta velocidad, debido a los movimientos explosivos o cambios de dirección^(11, 16). También existen factores de riesgo como una mayor edad, lesiones de isquiotibiales previas, debilidad excéntrica y desequilibrio muscular cuádriceps/isquiotibiales^(7, 15, 17).

Las lesiones de isquiotibiales suelen identificarse con ecografía⁽¹⁶⁾, ya que permite medir algunos parámetros morfológicos importantes que describen el tejido como el grosor muscular (GM)⁽¹⁸⁻²⁰⁾, el ángulo de penación (AP)^(19, 20) y el área de sección transversal (AST). Algunos de ellos han sido estudiados, como el AST que aumenta a mayor carga de trabajo⁽²¹⁾, pero que no cambia por la velocidad de contracción (VC)⁽²¹⁾; o el tamaño y la fuerza muscular (FM), que al aumentar podrían disminuir el riesgo de lesión⁽¹²⁾. Timmins y cols.⁽²²⁾ evaluaron la FM y el AP de la porción larga del bíceps femoral (PLBF), pero no pudieron concluir si su variación era causa o consecuencia de las lesiones debido a la falta de estudios prospectivos. Además, alguna de estas variables junto con otras como la VC podrían estar influidas por la posición de juego^(23, 24).

Aunque la prevalencia de las lesiones de isquiotibiales en el rugby es alta y está relacionada con las características morfofuncionales de la musculatura, la evidencia científica es escasa, motivo por el cual son necesarios más estudios prospectivos que evalúen el entrenamiento y su impacto en las características musculares para contribuir a la prevención de lesiones⁽⁴⁾.

Por ello, el objetivo principal de este estudio fue evaluar los cambios de las características morfofuncionales de la PLBF en jugadores de rugby al final de la temporada. Además, los objetivos secundarios fueron evaluar los efectos inmediatos de cada tipo de entrenamiento,

evaluar la relación entre la posición de juego y la FM y VC, determinar qué variables de las estudiadas podrían resultar un factor de protección ante lesiones y determinar el índice de relación intraclase intra e intertestador de las variables ecográficas. La hipótesis fue que los cambios en las características de la PLBF se relacionarían con el tipo de entrenamiento y que además podrían ser factores determinantes del riesgo de sufrir una lesión.

MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó un estudio observacional analítico y prospectivo, como trabajo de Fin de Máster, siguiendo la norma STROBE⁽²³⁾ realizando un seguimiento de un grupo de 19 individuos para analizar los cambios morfofuncionales en la PLBF a lo largo de la temporada 2022/23.

El tamaño muestral se calculó con el programa G*Power 3.1.5 utilizando como variable dependiente principal el AP extraído del estudio de Kellis y cols.⁽³⁰⁾ Se consideró un error α de 0,05, una potencia del estudio del 80 % con un grupo, 3 mediciones de la variable dependiente principal, un tamaño del efecto f de 0,25 con correlación entre las mediciones de 0,5 y una corrección por no esfericidad de 0,75, estimando un posible porcentaje de pérdidas del 10 %; resultando una muestra de 38 sujetos. Sin embargo, no se alcanzó el tamaño muestral deseado y se decidió realizar un estudio piloto para hallar los resultados preliminares y en un futuro, si la hipótesis de investigación tiene un significado relevante, decidir realizarlo con otro equipo de rugby que alcance el tamaño muestral estimado.

La muestra del estudio se formó por sujetos pertenecientes al equipo de Rugby División de Honor B Alcalá de Henares que cumplieron los siguientes criterios de inclusión: sanos, con edad comprendida entre 18 y 40 años y que realizaran al menos 3 entrenamientos semanales. Los criterios de exclusión fueron: reproducción de sintomatología durante el entrenamiento, lesiones de isquiotibiales hace menos de 17 días⁽⁷⁾ y alteración de la marcha, contracción de los isquiotibiales dolorosa en decúbito prono y/o pérdida considerable del rango de movimiento y potencia⁽¹⁶⁾.

Los sujetos que cumplieron con los criterios de selección y desearon participar, fueron informados me-

dante una hoja de información de los detalles del estudio, así como de la posibilidad de renunciar a participar en cualquier momento si así lo deseaban. Los que decidieron participar, dieron su conformidad mediante la firma del consentimiento informado por escrito, del cual los investigadores guardaron una copia.

La población de referencia incluía 100 jugadores de rugby, de los cuales solo 30 cumplían con los criterios de selección. De los 30 jugadores reclutados, 11 declinaron la invitación quedando una muestra inicial de 19 sujetos. A lo largo del estudio hubo 4 pérdidas, por lo que solo se realizó un seguimiento de 15 jugadores hasta el final.

Se realizaron 3 mediciones ecográficas cada 3 meses: en octubre de 2022, enero de 2023 y en abril de 2023. Estas fechas coincidieron con el final de cada etapa de entrenamiento midiendo hipertrofia, potencia y mantenimiento de la fuerza y resistencia; para evaluar si existía alguna relación entre las variables y cada entrenamiento. La hipertrofia se centró principalmente en sentadillas, peso muerto, zancadas, puente glúteo, pecho plano con barra y dominadas, variando las cargas, con ejercicios accesorios de subidas al cajón con peso, peso muerto a una pierna con mancuernas y tijeras con barra; la potencia se basó en ejercicios enfocados en el gesto deportivo y con microciclos de carga con ejercicios derivados del levantamiento olímpico, cargadas de potencia, arranques, segundos tiempos y envión; y en la etapa de mantenimiento se realizaron los ejercicios ya descritos con una carga estable, centrándose en las necesidades de cada jugador.

Se utilizó un ecógrafo marca Sonoscape modelo Sakura P20, con una sonda lineal modelo 12L-A con una frecuencia de 17,0-3,0 MHz; gel ultrasónico; un dinamómetro microFET®2 Digital Handheld Dynamometer Muscle Tester; y una cinta métrica flexible.

Se recogieron variables demográficas; ecográficas de grosor muscular (GM) (cm), perímetro (P) (cm), área de sección transversal (AST) (cm²), ángulo de penación (AP) y velocidad de contracción (VC) y relajación (VR) (m/s); y la fuerza muscular (FM) concéntrica máxima (N) del cuádriceps e isquiotibiales con dinamómetro.

Las mediciones ecográficas se realizaron según los protocolos validados por Kositsky y cols.⁽²⁰⁾ y e Lima y cols.⁽¹⁹⁾ en 2009 y 2015 respectivamente.

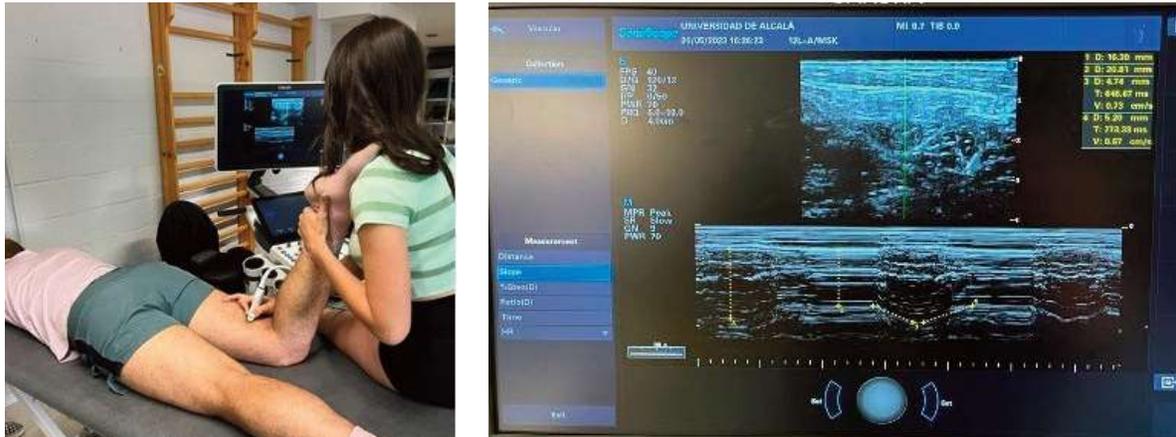


FIGURA 1. Posición del paciente para medir la velocidad de contracción y relajación de la porción larga del bíceps en eje corto en modo M.

Para medir el GM, la AST y el AP, cada paciente se colocó en decúbito prono con la cadera y rodilla a 0°, el tronco relajado, los brazos por fuera de la camilla y la cabeza neutra. Se tomaron todas las imágenes con la sonda aproximadamente al 70 % del trayecto de la PLBF, desde la unión miotendinosa distal hasta el origen proximal, según el protocolo de Kositsky y cols.⁽²⁰⁾

Se determinó el origen de la PLBF en la cara lateral de la tuberosidad isquiática y la inserción distal localizando el margen inferior de la cabeza del peroné. Después, se marcó en la piel la unión miotendinosa distal con la sonda aproximadamente al 70 % del trayecto curvo desde la unión miotendinosa distal hasta el origen proximal según el protocolo de Kositsky y cols.⁽²⁰⁾. Se utilizó una cinta métrica flexible y se dibujó la marca en la piel del sujeto para tomar todas las mediciones a la misma altura, favoreciendo la fiabilidad intraobservador.

En las primeras imágenes ecográficas, tomadas en octubre de 2022 tras el entrenamiento de hipertrofia, intervinieron los fisioterapeutas 1 y 2 para el análisis de la fiabilidad interobservador. Primero evaluó a los jugadores el fisioterapeuta 1, midiendo el músculo con cinta métrica y dibujando la marca al 70 % con un bolígrafo. Después, borró la marca y el fisioterapeuta 2 repitió el proceso. Cada uno tomó 3 imágenes ecográficas en eje corto y 3 en eje largo. En la segunda y tercera medición, tomadas en enero y abril de 2023, solo intervino el fisioterapeuta 1, tomando 6 imágenes por paciente.

Para medir la VC y la VR, se colocó a cada paciente

en decúbito prono con una flexión de rodilla ligeramente inferior a 90°, como se observa en la figura 1. Se ubicó la sonda en eje corto y se utilizó el modo M. Se dio al paciente la consigna «*lleva el talón al glúteo lo más rápido que puedas*», recalando que no debía ser una contracción lo más fuerte posible. Se realizaron 3 contracciones, obteniendo la gráfica a partir de la cual se identificó la fascia del músculo limitando su borde superior e inferior para calcular la VC y VR, con las herramientas «*distance*» y «*slope*».

El procesamiento y análisis de las imágenes digitales lo realizó el fisioterapeuta 3 mediante el software libre Fiji/Image J2 versión 2.9.0/1.53t, que permitió identificar, aislar y analizar los parámetros de interés de cada imagen. Primero se ajustó la escala de medición de píxeles a cm; después, se procedió a analizar cada uno de los parámetros de las variables descritas. Con las imágenes en eje corto, se analizaron las variables GM (trazando una línea recta desde el punto medio de la fascia superior hasta el punto medio de la fascia inferior con la herramienta «*Straight*»), P y AST (trazando una línea que delimitaba el polígono que forma el paquete muscular lo más precisa posible, utilizando las herramientas «*Polygon Sections*» y «*Measure*»). Después, se analizaron las imágenes en eje largo para el AP, trazando 3 líneas que seguían la fascia superior, la fascia inferior y la fibra más recta apreciada en el fascículo muscular, obteniendo la tabla de valores con los ángulos que formaban cada una de las rectas respecto a la horizontal (figura 2).

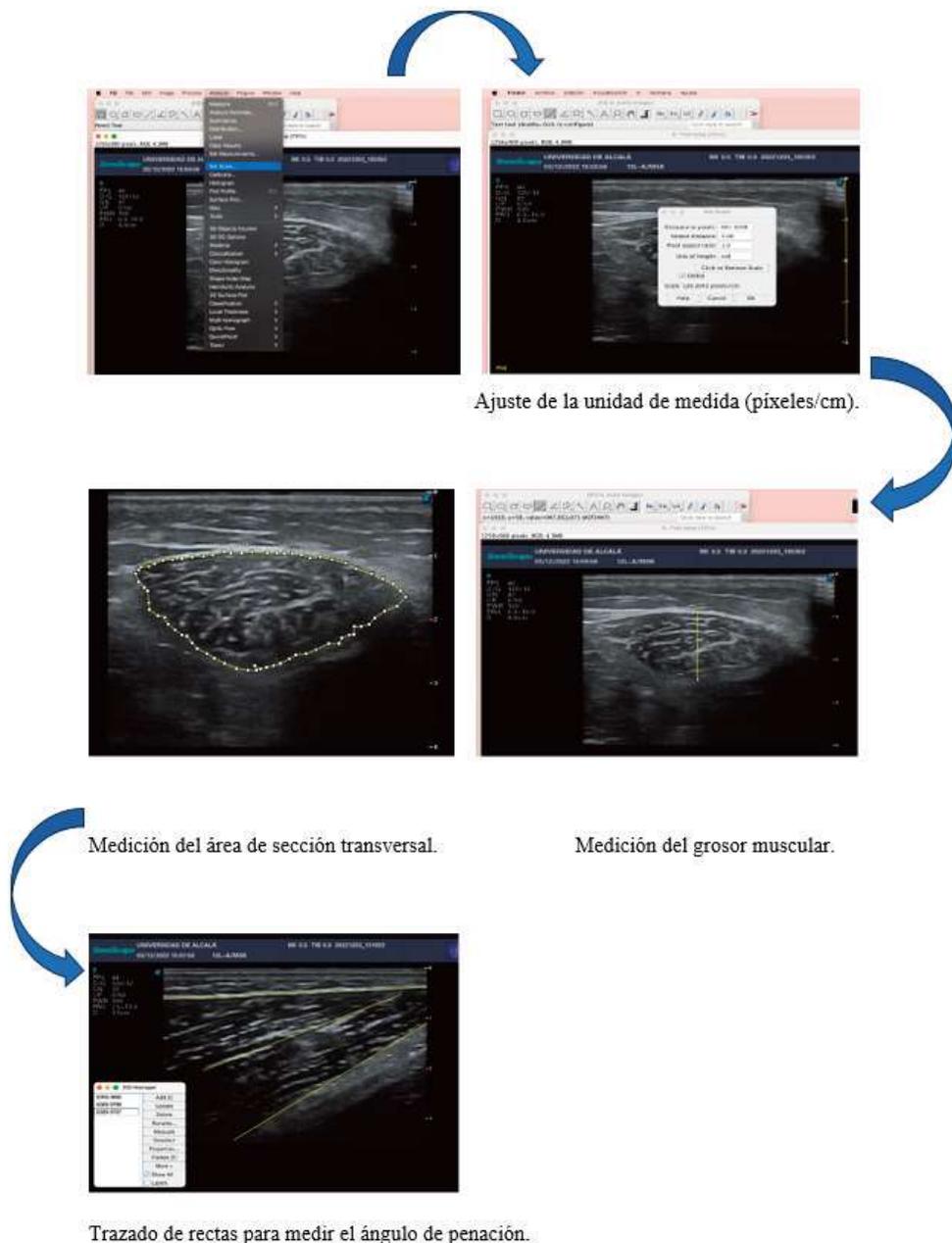


FIGURA 2. Procesamiento de imágenes.

Tras la valoración ecográfica, se midió la FM concéntrica máxima de los isquiotibiales y del cuádriceps, dado que uno de los factores de riesgo de las lesiones de la PLBF descritas en la evidencia científica es el desequilibrio muscular entre ambos. Se tomaron 3 medicio-

nes diferentes manteniendo cada contracción durante 5 segundos y se hizo la media. Primero se midió la FM concéntrica máxima de los isquiotibiales colocando al sujeto en sedestación en una silla con respaldo, apoyada en la pared con la rodilla aproximadamente a 90° de fle-

xión. Se utilizó la consigna: «*contrae con todas tus fuerzas llevando tu talón contra la pata de la silla*» para presionar el dinamómetro utilizando el calcáneo, recalando que debía ser una contracción rápida, pero no lo más fuerte. La FM concéntrica máxima del cuádriceps se midió en la misma posición, pero con la rodilla a 0° de extensión. Se utilizó una camilla como tope. Se dio la consigna: «*contrae con todas tus fuerzas llevando el pie hacia la camilla*» para presionar el dinamómetro con la parte más distal de la pierna, recalando de nuevo en realizar una contracción lo más rápida, pero no lo más fuerte posible. Se hizo una prueba inicial para verificar que cada sujeto entendía las consignas dadas.

Análisis de los datos

Se analizaron 15 sujetos, todos pertenecientes a un único grupo de observación. El análisis estadístico se realizó con los programas R Ver. 4.1.3 y SPSS versión 26.0 para Windows. La distribución de las variables cuantitativas se testó con el test de Shapiro-Wilks, mostrándose con media \pm desviación típica las que se ajustaron a la normal, y con medianas y cuartiles 1° y 3° cuando no se ajustaron. Las variables cualitativas se muestran con valores absolutos y relativos (%).

En las mediciones del primer entrenamiento se calculó el ICC (3,1) medidas simples mixtas bidireccionales (coherencia/acuerdo absoluto) inter e intraobservador, como fiabilidad relativa, definiéndose como pobre (< 0,5), moderado (0,5 a 0,75), bueno (0,75 a 0,9) y excelente (> 0,9). Como fiabilidad absoluta se calculó el error estándar de medida (SEM). Asimismo, se calculó el cambio mínimo detectable (MDC).

Las variables resultado en las que alguna de las mediciones no se ajustó a la normal se analizaron mediante el test de Friedman. Las pruebas post hoc se realizaron mediante la prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon con corrección de Bonferroni. El tamaño del efecto se definió con la W de Kendall como pequeño (< 0,1), mediano (0,10 a 0,25) y grande (> 0,25). En aquellas variables en las que todas las mediciones se ajustaron a la normal se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas, complementado con contrastes tipo Simple y Helmert. Se estimó el tamaño del efecto de las diferencias obser-

vadas calculándose el coeficiente Eta cuadrado parcial (η^2). La asunción de la hipótesis de esfericidad fue testada mediante el uso de la prueba de Mauchly, y en aquellos casos en los que no se cumplió se usó la corrección de Greenhouse-Geisser.

Finalmente, se compararon los valores de las variables FM de cuádriceps e isquiotibiales y VC según la posición de juego. En la FM de cuádriceps e isquiotibiales (en las que todas las mediciones se ajustaron a la normal en cada uno de los grupos) se utilizó un ANOVA factorial mixto. Este diseño se empleó para determinar si las diferencias en las variables dependientes analizadas eran debidas al efecto de la posición, al factor medición (posibles cambios en los valores de las variables producidos entre las mediciones efectuadas) o a la interacción del factor medición y del factor posición en el juego. Consideramos la posición como factor inter-sujetos y la medición (los diferentes entrenamientos) como factor intra-sujetos. La hipótesis de interés fue la interacción posición por entrenamiento (medición) con un nivel alpha a priori de 0,05. Además, se estimó el tamaño del efecto de las diferencias observadas calculándose el coeficiente η^2 . La asunción de la hipótesis de esfericidad fue testada mediante el uso de la prueba de Mauchly. En aquellos casos en los que no se cumplió la asunción de esfericidad usamos la corrección de Greenhouse-Geisser. Se completó el análisis empleándose pruebas de comparaciones múltiples utilizando la corrección de Bonferroni, determinándose el tamaño del efecto calculándose la d de Cohen.

En la variable VC, debido a que una de las mediciones en el grupo *forward* no se ajustó a la normal se efectuaron los siguientes análisis:

- Se compararon las mediciones realizadas de la variable dependiente intragrupo (es decir, considerando cada uno de los grupos de intervención de forma aislada) empleándose en la posición *forward* la prueba ANOVA de Friedman, complementada con pruebas de comparaciones por parejas y en la posición *back* un ANOVA de medidas repetidas, complementado con contrastes tipo Simple y Helmert.
- Para hacer la comparación de dicha variable intergrupo, se calculó la diferencia entre las 3 medicio-

nes y el porcentaje de cambio entre ellas: Porcentajes de cambio en las puntuaciones = (Medición1 – Medición2) *100/ Medición1.

Después se compararon los valores obtenidos en las «Diferencia en las mediciones» y en los «Porcentajes de cambio» en los 2 grupos. Para ello usamos la prueba t Student para muestras independientes en las diferencias y porcentajes de cambio que se ajustaron a la normal pues fueron homocedásticas. En este caso se estimó el tamaño del efecto calculándose el coeficiente d de Cohen. En los porcentajes de cambio que no se ajustaron a la normal usamos la prueba U de Mann-Whitney y se halló el tamaño del efecto calculando la r de Rosenthal con la fórmula: $r = Z/\sqrt{N}$.

RESULTADOS

Las características basales de los sujetos se muestran en la tabla 1. Se evidenciaron diferencias significa-

tivas en los 3 entrenamientos en la FM del cuádriceps ($F_{2,28} = 7,68$; $p = 0,002$, $\eta^2 = 0,354$), FM de isquiotibiales ($F_{2,28} = 3,85$; $p = 0,033$; $\eta^2 = 0,216$) y VR ($X^2(2) = 10,407$; $p = 0,005$) con tamaños de efecto grande y mediano y significativos (tabla 2). Las pruebas post hoc mostraron diferencias estadísticamente significativas en la variable FM del cuádriceps entre el entrenamiento de hipertrofia y el entrenamiento de mantenimiento ($p = 0,001$),

TABLA 1. Características basales de los participantes.

n = 19		
Género n (%)	Hombre	19 (100,0)
Edad	25,00 (20,00;29,50)	
Altura (m)	1,79 ± 0,08	
Peso (kg)	91,29 ± 17,46	
IMC	28,25 ± 4,41	

TABLA 2. Resumen de los resultados obtenidos.

	Entrenamiento de hipertrofia	Entrenamiento de potencia	Entrenamiento de fuerza y resistencia	p valor	Kendall's W (95%CI)
FM del cuádriceps	14,66 ± 4,51	16,23 ± 5,01	19,48 ± 6,14	0,002^a	0,354^b
FM de isquiotibiales	13,60 ± 5,09	17,24 ± 5,62	18,01 ± 7,91	0,033^a	0,216^b
VC	1,12 (0,53; 1,45)	0,93 (0,69; 1,40)	0,60 (0,26; 1,08)	0,42	0,139 (0,003, 0,464)
VR	0,91 (0,62; 1,18)	0,63 (0,45; 0,94)	0,36 (0,24; 0,55)	0,005	0,399 (0,065, 0,629)
GM	1,67 (1,35; 1,90)	1,84 (1,72; 1,94)	1,83 (1,60; 2,08)	0,685	0,02 (0, 0,087)
Perímetro muscular	8,51 (7,22; 9,27)	8,54 (7,27; 9,25)	9,14 (8,47; 9,80)	0,495	0,037 (0, 0,178)
AST	3,21 (2,38; 5,02)	4,37 (3,70; 5,42)	4,80 (4,23; 5,19)	0,321	0,06 (0,001, 0,293)
AP	17,83 (14,64; 20,34)	17,22 (16,23; 19,03)	17,33 (15,40; 20,36)	0,947	0,003 (0, 0,003)

Datos expresados con media ± desviación estándar o con mediana y Q1-Q3 o con valores absolutos y relativos (%).

Significativos si $p < 0,05$ (aparecen en rojo).

^a Se realizó un anova de medidas repetidas.

^b Se calculó el tamaño del efecto determinándose el valor del coeficiente η_p^2 .

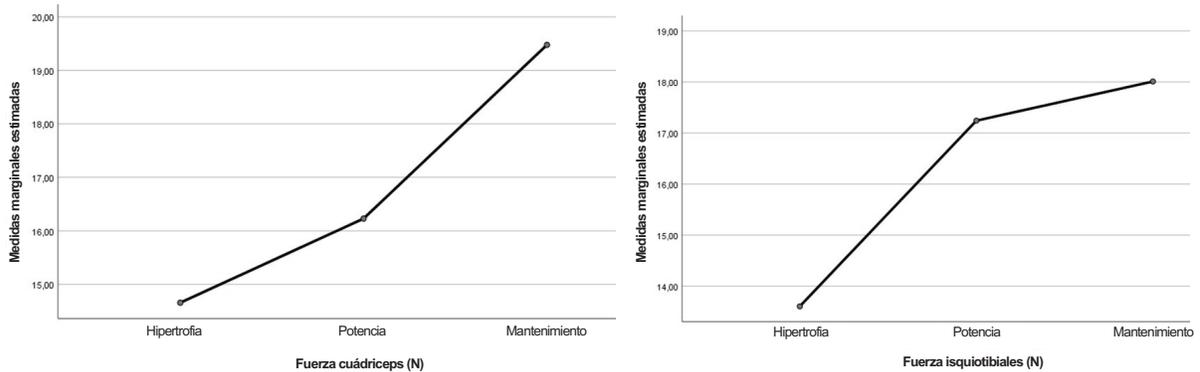


FIGURA 3. Diagrama de medias marginales de las 3 mediciones efectuadas de la fuerza del cuádriceps e isquiotibiales (N).

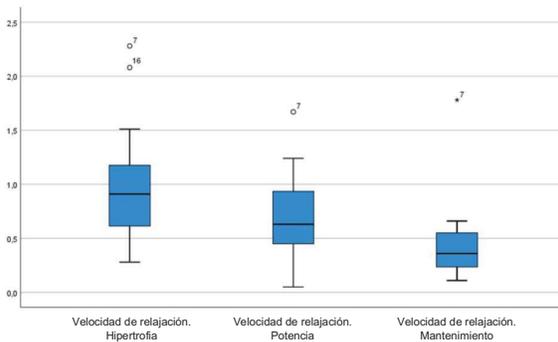


FIGURA 4. Diagrama de cajas y bigotes de las 3 mediciones efectuadas de la velocidad de relajación.

en la FM de isquiotibiales entre el entrenamiento de hipertrofia y el entrenamiento de potencia ($p < 0,001$) (figura 3), y en la variable VR entre el entrenamiento de hipertrofia y el entrenamiento de mantenimiento ($p = 0,003$) (figura 4).

Finalmente, el análisis factorial mixto para comparar la FM del cuádriceps en *backs* y *forwards* indicó que hubo un efecto significativo tanto del factor intersujeto posición en el juego ($F(1, 13) = 5,28$, $p = 0,039$; $\eta^2 = 0,289$) como del factor intrasujeto entrenamiento ($F(2, 26) = 7,82$, $p = 0,002$; $\eta^2 = 0,376$) (tabla 3, figura 5). Para la FM de isquiotibiales se observó un efecto significativo del factor intrasujeto entrenamiento ($F(2, 26) = 3,71$, $p = 0,038$; $\eta^2 = 0,222$), pero no del factor intersujeto posición de juego (tabla 4, figura 6). El análisis de la VR mos-

tró que ambas posiciones no obtuvieron diferencias significativas.

En cuanto a la fiabilidad interobservador, todos los índices de relación intraclase (ICCs) tuvieron valores significativos de moderados a buenos excepto en la segunda y tercera medición del AP que presentaron valores excelentes con unos errores estándar de medida reducidos y precisos (tabla 5). La fiabilidad intraobservador tuvo valores significativos de buenos a excelentes en ambos observadores (tabla 6).

DISCUSIÓN

En primer lugar, se comparó la FM y VC según la posición de juego. Urrea Vázquez y Claros Collazos⁽²³⁾ observaron un aumento de la FM en los *backs* en comparación con los *forwards*, tal y como demuestra este estudio, donde la FM del cuádriceps e isquiotibiales es superior en los *backs* en todos los entrenamientos. Además, Gabbett⁽²⁴⁾ sugiere que los *forwards* presentan una mayor velocidad, lo cual se apoya con nuestros resultados, aunque sin diferencias estadísticamente significativas en el análisis intra e intergrupo, posiblemente debido a una muestra reducida de sujetos.

En cuanto a los cambios en las variables de AP, AST, FM y GM, según López Calbet y cols.⁽²⁵⁾, el AP aumenta a medida que el músculo se acorta, tal y como ocurrió en este estudio donde los valores más altos se registraron tras el entrenamiento de hipertrofia basado en ejer-

TABLA 3. Resultados del ANOVA factorial mixto en la variable fuerza del cuádriceps según la posición en el juego.

Variable: fuerza del cuádriceps (N)

Interacción entrenamiento x posición		$F_{(2, 26)} = 2,39, p = 0,111; \eta p^2 = 0,155$		
Factor intersujetos posición		$F_{(1, 13)} = 5,28, p = 0,039; \eta p^2 = 0,289$		
Diferencia de medias intergrupo e IC	Medición	<i>Back</i>	<i>Forward</i>	Dif. media / p valor
	Hipertrofia	15,61 ± 3,77	13,57 ± 5,32	2,03 (-3,05; 7,12) p = 0,403 d = 0,45
	Potencia	18,37 ± 4,23	13,76 ± 4,96	4,59 (-0,53; 9,71) p = 0,075 d = 1,01
	Mantenimiento	22,97 ± 5,14	15,59 ± 4,91	7,28 (1,65; 12,91) p = 0,002 d = 1,47
Factor intrasujetos entrenamiento		$F_{(2, 26)} = 7,82, p = 0,002; \eta p^2 = 0,376$		
Diferencia de medias intragrupo, IC al 95 %	<i>Back</i>	Hipertrofia vs potencia	-2,76 (-7,03; 1,49) p = 0,294	
		Hipertrofia vs mantenimiento	-7,26 (-10,69; 3,84) p < 0,001	
		Potencia vs mantenimiento	-4,50 (-10,06; 1,06) p = 0,133	
	<i>Forward</i>	Hipertrofia vs potencia	-0,21 (-4,78; 4,34) p = 0,999	
		Hipertrofia vs mantenimiento	-2,02 (-5,68; 1,64) p = 0,459	
		Potencia vs mantenimiento	-1.81 (-7,75; 4,13) p = 0,999	

ηp^2 = Coeficiente Eta cuadrado parcial. d = "d" de Cohen.

Datos expresados con media±desviación estándar; 95 % IC: 95 % intervalo de confianza.

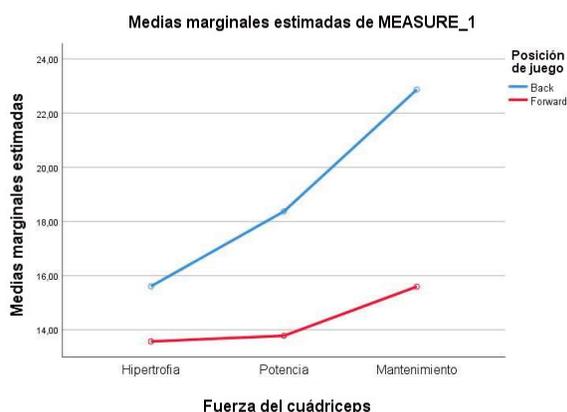


FIGURA 5. Diagrama de medias marginales de las 3 mediciones efectuadas de la fuerza del cuádriceps (N) considerando la posición en el juego.

cicios de FM concéntrica. Routledge y cols. concluyeron que, en el rugby, se favorece el aumento del AST(26), lo cual también se registró en el presente estudio. Además, Benítez Martínez⁽²⁵⁾ afirma que existe una alta correlación entre el AST y la FM, que también se observa en este estudio en el que ambas variables aumentaron tras la potencia, en comparación la hipertrofia (tabla 7).

En cuanto a los tipos de entrenamiento el de hipertrofia conduce a un aumento de la FM. De hecho, Kongsgaard y cols.⁽²⁷⁾ observando un incremento significativo (15 ± 4 %, p < 0,05) al aplicar resistencias pesadas, en comparación con resistencias ligeras. Esto concuerda con los resultados del presente estudio para la variable FM del cuádriceps durante la hipertrofia, donde se obtuvieron resultados estadísticamente significativos (p = 0,001). En cuanto al entrenamiento de potencia, en 2017 Seymore

TABLA 4. Resultados obtenidos en el ANOVA factorial mixto en la variable fuerza de isquiotibiales según la posición en el juego.

Variable: fuerza isquiotibiales (N)

Interacción entrenamiento x posición		$F_{(2, 26)} = 1,30, p = 0,291; \eta_p^2 = 0,091$		
Factor intersujetos posición		$F_{(1, 13)} = 1,29, p = 0,277; \eta_p^2 = 0,090$		
Diferencia de medias intergrupo e IC	Medición	<i>Back</i>	<i>Forward</i>	Dif. media / p valor
	Hipertrofia	14,15 ± 5,83	12,98 ± 4,46	1,18 (-4,69; 7,04) p = 0,671; d = 0,22
	Potencia	17,98 ± 6,23	16,40 ± 5,17	1,58 (-4,86; 8,03) p = 0,606; d = 0,27
	Mantenimiento	20,84 ± 8,30	14,78 ± 6,54	6,06 (-2,39; 14,48) p = 0,144; d = 0,80
Factor intrasujetos entrenamiento		$F_{(2, 26)} = 3,71, p = 0,038; \eta_p^2 = 0,222$		
Diferencia de medias intragrupo, IC al 95 %	<i>Back</i>	Hipertrofia vs potencia		-3,83 (-6,82; -0,83) p = 0,012
		Hipertrofia vs mantenimiento		-6,59 (-14,32; 0,95) p = 0,096
		Potencia vs mantenimiento		-2,86 (-10,09; 4,38) p = 0,893
	<i>Forward</i>	Hipertrofia vs potencia		-3,42 (-6,62; -0,23) p = 0,035
		Hipertrofia vs mantenimiento		-1,80 (-9,97; 6,36) p = 0,999
		Potencia vs mantenimiento		1,82 (-6,11; 9,36) p = 0,999

η_p^2 = Coeficiente Eta cuadrado parcial. d = "d" de Cohen.

Datos expresados con media ± desviación estándar; 95 % IC: 95 % intervalo de confianza.

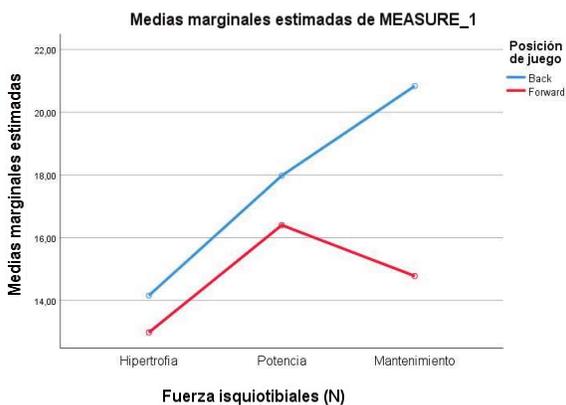


FIGURA 6. Diagrama de medias marginales de las tres mediciones efectuadas de la fuerza de los isquiotibiales (N) considerando la posición en el juego.

y cols.⁽²⁸⁾ observaron que aumentó el AST, tal y como se demuestra en este estudio con los datos obtenidos en la segunda medición tras el entrenamiento de potencia, en comparación con el entrenamiento de hipertrofia.

Núñez y cols.⁽²⁹⁾ observaron que los deportistas sin lesiones previas no mostraron una reducción significativa del GM en los miembros inferiores lesionados, lo cual coincide con nuestros valores, en los que esta variable se mantuvo estable durante los 3 entrenamientos, sin producirse ninguna lesión, disminuyendo al final.

En lo referido a la fiabilidad, los artículos de referencia muestran una fiabilidad intraobservador excelente para la medición del AST, con un ICC entre 0,9490 y 0,983 al medir sobre la PLBF, sobre todo al tomar las mediciones al 70 % de la longitud del músculo, tal y como

TABLA 5. Fiabilidad interobservador.

	ICC (95 %CI)	Media (95 %CI)	SEM (95 %CI)	MDC
GM medición 1	0,668 (0,387, 0,835)	1,624 (1,44, 1,809)	0,241 (0,158, 0,324)	0,669
GM medición 2	0,68 (0,407, 0,842)	1,608 (1,426, 1,789)	0,234 (0,156, 0,312)	0,649
GM medición 3	0,767 (0,548, 0,888)	1,62 (1,432, 1,807)	0,205 (0,142, 0,268)	0,569
Perímetro medición 1	0,628 (0,328, 0,813)	8,18 (7,572, 8,788)	0,852 (0,537, 1,167)	2,362
Perímetro medición 2	0,656 (0,369, 0,828)	7,977 (7,214, 8,74)	1,037 (0,702, 1,372)	2,874
Perímetro medición 3	0,791 (0,59, 0,9)	8,009 (7,313, 8,704)	0,697 (0,452, 0,943)	1,933
AST medición 1	0,77 (0,552, 0,889)	3,796 (3,16, 4,431)	0,673 (0,452, 0,894)	1,866
AST medición 2	0,775 (0,561, 0,892)	3,709 (3,106, 4,312)	0,63 (0,423, 0,838)	1,747
AST medición 3	0,732 (0,489, 0,87)	3,736 (3,064, 4,409)	0,776 (0,493, 1,06)	2,152
AP medición 1	0,548 (0,214, 0,767)	15,851 (13,204, 18,497)	4,311 (2,553, 6,068)	11,949
AP medición 2	0,919 (0,83, 0,963)	16,394 (13,815, 18,974)	1,591 (1,001, 2,18)	4,409
AP medición 3	0,902 (0,795, 0,954)	16,062 (13,662, 18,461)	1,6 (1,108, 2,091)	4,434

CCI: Coeficiente de correlación intraclass; SEM: error estándar de medición; MDC: cambio mínimo detectable; 95%CI: intervalo de confianza del 95%.

TABLA 6. Fiabilidad intraobservador.

	Observador 1			
	ICC (95%CI)	Media (95%CI)	SEM (95%CI)	MDC
FM del cuádriceps	0,816 (0,686, 0,906)	14,49 (12,246, 16,733)	2,129 (1,416, 2,842)	5,902
FM de isquiotibiales	0,817 (0,687, 0,906)	12,816 (10,204, 15,428)	2,474 (1,565, 3,383)	6,857
GM	0,942 (0,894, 0,972)	1,646 (1,436, 1,856)	0,108 (0,077, 0,138)	0,299
Perímetro muscular	0,791 (0,648, 0,892)	8,202 (7,482, 8,923)	0,736 (0,465, 1,008)	2,040
AST	0,914 (0,844, 0,957)	3,914 (3,236, 4,593)	0,433 (0,291, 0,576)	1,202
AP	0,612 (0,402, 0,784)	16,158 (13,754, 18,562)	3,693 (2,245, 5,141)	10,236

TABLA 6. Fiabilidad intraobservador (continuación).

Observador 2				
	ICC (95%CI)	Media (95%CI)	SEM (95%CI)	MDC
FM del cuádriceps	0,966 (0,937, 0,984)	1,588 (1,405, 1,771)	0,071 (0,049, 0,092)	0,196
FM de isquiotibiales	0,972 (0,947, 0,986)	3,58 (2,926, 4,234)	0,234 (0,162, 0,305)	0,647
GM	0,872 (0,774, 0,936)	16,046 (13,539, 18,554)	1,965 (1,259, 2,67)	5,446
Perímetro muscular	0,966 (0,937, 0,984)	1,588 (1,405, 1,771)	0,071 (0,049, 0,092)	0,196
AST	0,972 (0,947, 0,986)	3,58 (2,926, 4,234)	0,234 (0,162, 0,305)	0,647
AP	0,872 (0,774, 0,936)	16,046 (13,539, 18,554)	1,965 (1,259, 2,67)	5,446

CCI: Coeficiente de correlación intraclass; SEM: error estándar de medición; MDC: cambio mínimo detectable; 95 % CI: intervalo de confianza del 95 %.

TABLA 7. Comparación de la fuerza según la posición de juego de los participantes.

	Entrenamiento de hipertrofia		Entrenamiento de potencia		Entrenamiento de fuerza y resistencia	
	Media de la fuerza del cuádriceps (N)	Media de la fuerza de los isquiotibiales (N)	Media de la fuerza del cuádriceps (N)	Media de la fuerza de los isquiotibiales (N)	Media de la fuerza del cuádriceps (N)	Media de la fuerza de los isquiotibiales (N)
<i>Backs</i>	15,40	13,86	18,96	18,27	19,71	20,83
<i>Forwards</i>	13,47	10,99	14,81	15,85	15,59	14,77

CCI: Coeficiente de correlación intraclass; SEM: error estándar de medición; MDC: cambio mínimo detectable; 95% CI: intervalo de confianza del 95%.

se ha realizado en este estudio⁽²⁰⁾. Gracias a ello, todos nuestros ICCS también tuvieron valores significativos excelentes en relación a la variable AST en ambos observadores (entre 0,844 y 0,957 para el observador 1 y entre 0,947 y 0,986 para el observador 2).

Durante la realización del estudio se encontraron determinadas limitaciones, tales como: falta de evidencia científica, ausencia de lesiones de los isquiotibiales impidiendo evaluar dichos casos, tamaño muestral reducido, disponibilidad de espacios y tiempo limitada y

falta de experiencia de los investigadores en la realización de ecografías.

CONCLUSIONES

La evidencia científica relacionada con el rugby, los tipos de entrenamiento y la ecografía es escasa. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio revelan, por una parte, las diferencias estadísticamente significa-

tivas en las variables de FM del cuádriceps e isquiotibiales y VR, así como en la FM del cuádriceps al comparar *backs* y *forwards*; y por otra, que podría existir una relación entre las variables de AP y FM con la disminución del riesgo de lesión, pudiendo suponer un impulso hacia nuevas investigaciones en este campo.

Por ello y considerando que el presente estudio se basó en un tamaño muestral reducido que pudo condicionar la ausencia de diferencias significativas en otras variables, es necesario realizar otros estudios prospectivos con un tamaño muestral y un seguimiento en el tiempo mayores, en los que se evalúe la relación del entrenamiento de hipertrofia y potencia con las mismas variables ecográficas, sobre todo incidiendo en el AP y la FM; ya que estas podrían ser un factor de protección ante lesiones.

En cuanto la fiabilidad inter e intraobservador, todos los ICCs tuvieron valores significativos de moderados a excelentes.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales. Los procedimientos que se han seguido en este estudio cumplen los principios básicos de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, actualizada en 2013 en Fortaleza (Brasil) y completada con la declaración de Taipéi de 2016, sobre las consideraciones éticas sobre las bases de datos de salud y los biobancos.

Confidencialidad y consentimiento informado. Las autoras declaran ser las responsables de llevar a cabo los protocolos establecidos por su centro para evaluar a los sujetos participantes con finalidad de investigación y divulgación científica, y garantizan haber cumplido la exigencia de haber informado de forma verbal y escrita a todos los participantes que formaron parte del estudio, estando en posesión del consentimiento informado firmado por los sujetos.

Confidencialidad de los datos y derecho a la privacidad. Las autoras declaran la garantía de la privacidad de los datos de los voluntarios y manifiestan que el manuscrito publicado no incumple la normativa de

protección de datos de carácter personal. No se utilizan nombres, ni iniciales ni cualquier tipo de dato para la investigación que pudiera identificar a los participantes.

Declaración de conflictos de interés. Las autoras declaran no tener conflictos de interés.

Financiación. Este estudio no estuvo financiado. En este estudio no hubo subvención, ni algún otro apoyo para su desarrollo.

Fuente de apoyo. Universidad de Alcalá, equipo de Rugby División de Honor B Alcalá de Henares.

Contribuciones de autoría. Todas las autoras tuvieron el mismo peso en el estudio, tanto en su realización como en su redacción, reconocen que han contribuido intelectualmente al desarrollo del estudio, y declaran que han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito, cumpliendo los requisitos para la autoría.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Samuel Fernández Carnero, que nos ha acompañado y asesorado durante todo el proceso de elaboración de este proyecto; a los jugadores y equipo técnico del Rugby Alcalá, por su disponibilidad e interés para participar; y a la Universidad de Alcalá, por facilitarnos el material y las instalaciones necesarios para desarrollar todas las exploraciones; este proyecto no habría sido posible sin ninguno de ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cruz-Ferreira E, Cruz-Ferreira A. Shoulder injuries in rugby: Report of its incidence and severity in a group of Portuguese male players during a season. *Rev Andal Med Deport.* 2018; 11(2): 75–8.
2. Yeomans C, Kenny I, Cahalan R, Warrington G, Harrison A, Hayes K, et al. The Incidence of Injury in Amateur Male Rugby Union: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2018 Apr; 48(4): 837–48.

3. Cummins C, Welch M, Inkster B, Cupples B, Weaving D, Jones B, et al. Modelling the relationships between volume, intensity and injury-risk in professional rugby league players. *J Sci Med Sport*. 2018; 22(6): 653–60.
4. Murias-Lozano R, Mendía L, Sebastián-Obregón F, Solís-Mencia C, Hervás-Pérez J, Garnacho-Castaño M, et al. The Epidemiology of Injuries in Spanish Rugby Union División de Honor. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Mar 24; 19(7): 3882.
5. Cousins B, Morris J, Sutherland C, Bennett A, Shahtahmassebi G, Cooper S. Match and Training Load Exposure and Time-Loss Incidence in Elite Rugby Union Players. *Front in Physiol*. 2019 Nov 19; 10: 1413.
6. Hulin B, Gabbett T, Lawson D, Caputi P, Sampson J. The acute:chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *Br J Sports Med*. 2016; 50(4): 231–6.
7. Gabbett T. Influence of training and match intensity on injuries in rugby league. *Journal of Sports Sciences*. 2004; 22(5): 409–17.
8. Severo-Silveira L, Dornelles M, Lima-E-Silva F, Marchiori C, Medeiros T, Pappas E, et al. Progressive Workload Periodization Maximizes Effects of Nordic Hamstring Exercise on Muscle Injury Risk Factors. *J Strength Cond Res*. 2021; 35(4): 1006–13.
9. Blanch P, Gabbett T. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *British Journal of Sports Medicine*. 2016 Feb; 50(8): 471–5.
10. Roberts S, Trewartha G, England M, Shaddick G, Stokes K. Epidemiology of time-loss injuries in English community-level rugby union. *BMJ Open*. 2013 Nov 15; 3(11): e003998.
11. King D, Hume P, Milburn P, Guttenbeil D. Match and Training Injuries in Rugby League: A Review of Published Studies. *Sports Medicine*. 2010 Feb 1; 40(2): 163–78.
12. Hemelryck W, Calistri J, Papadopoulou V, Theunissen S, Dugardeyn C, Balestra C. Ultrasonographic assessment of neck muscular size and range of motion in rugby players. *Int J Sports Phys Ther*. 2018 Feb; 13(1): 28–38.
13. Egocheaga J, Urraca J, Rozada A. Estudio epidemiológico de las lesiones en el rugby. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2002; (93): 22–6.
14. Mainini S, Martínez G, Milikonsky P, Gerosa N, Marconi G. Lesiones en el rugby: estudio prospectivo epidemiológico en plantel superior del Club Atlético del Rosario (CAR). *Rev Asoc Argent Traumatol Deporte*. 2015; 22(1): 98–121.
15. McGrath T, Hulin B, Pickworth N, Clarke A, Timmins R. Determinants of hamstring fascicle length in professional rugby league athletes. *J Sci Med Sport*. 2020 May; 23(5): 524–8.
16. Chang J, Kayani B, Plastow R, Singh S, Magan A, Haddad F. Instructional review management of hamstring injuries: current concepts review. *Bone Joint J*. 2020 Oct; 102-B(10): 1281–8.
17. Ribeiro-Alvares J, Dornelles M, Fritsch C, de Lima-E-Silva F, Medeiros T, Severo-Silveira L, et al. Prevalence of Hamstring Strain Injury Risk Factors in Professional and Under-20 Male Football (Soccer) Players. *J Sport Rehabil*. 2020; 29(3): 339–45.
18. Tosovic D, Muirhead J, Brown J, Woodley S. Anatomy of the long head of biceps femoris: An ultrasound study. *Clinical Anatomy*. 2016 Sep; 29(6): 738–45.
19. e Lima K, Carneiro S, de Alves D, Peixinho C, de Oliveira L. Assessment of Muscle Architecture of the Biceps Femoris and Vastus Lateralis by Ultrasound After a Chronic Stretching Program. *Clin J Sport Med*. 2015 Jan; 25(1): 55–60.
20. Kositsky A, Lauri G, Stenroth L, Barrett R, Diamond L, Saxby D. Reliability and validity of ultrasonography for measurement of hamstring muscle and tendon cross-sectional area. *Ultrasound Med Biol*. 2020 Jan; 46(1): 55–63.
21. Tsang S, Chan K, Ho P, Kwok J, Tse D, Tsoi H. Comparison between velocity-specific exercise and isometric exercise on neck muscle functions and performance: a randomised clinical trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021 Jan 14; 22(1): 81.
22. Timmins R, Ruddy J, Presland J, Maniar N, Shield A, Williams M, et al. Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *MedSciSportsExerc*. 2016 Mar; 48(3): 499–508.
23. Urrea Vásquez H, Claros Collazos J. Características morfológicas y funcionales del equipo universitario de Rugby Lobos de la Universidad del Valle. Trabajo fin de grado [recurso electrónico]. [Internet]. 2013 [citado: 2023, octubre].
24. Gabbett T. Physiological and anthropometric characteristics of amateur rugby league players. *Br J Sports Med*. 2000 Aug; 34(4): 303–7.
25. Benítez-Martínez J. Valoración ecográfica de la atrofia

- muscular del supraespinoso y su relación con la patología del manguito rotador del hombro del deportista. Tesis doctoral. [Murcia]: UCAM; 2011.
26. Routledge H, Bradley W, Shepherd S, Cocks M, Erskine R, Close G, et al. Ultrasound does not detect acute changes in glycogen in vastus lateralis of man. *Med Sci Sports Exerc.* 2019; 51(11): 2286–93.
 27. Kongsgaard M, Reitelseder S, Pedersen T, Holm L, Aagaard P, Kjaer M, et al. Region specific patellar tendon hypertrophy in humans following resistance training. *Acta Physiologica.* 2007; 191(2): 111–21.
 28. Seymore K, Domire Z, DeVita P, Rider P, Kulas A. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *Eur J Applied Phys.* 2017; 117: 943–53.
 29. Núñez F, Ritzmann R, Hernández-Abad F, Martínez J, Suárez-Arrones L. Muscle Architecture, Morphology, and Mechanical and Functional Properties of Biceps Femoris Long Head in Professional Soccer Players with a Prior Healed Injured Hamstring. *J Clin Med.* 2022 Dec 5; 11(23): 7222.
 30. Kellis E, Galanis N, Natsis K, Kapetanios G. Validity of architectural properties of the hamstring muscles: Correlation of ultrasound findings with cadaveric dissection. *J Biomech.* 2009; 42(15): 2549-54.