






## CONTROL DE LA MUSCULATURA FLEXO-EXTENSORA DE LA RODILLA EN JUGADORAS DE VOLEIBOL DE ALTO NIVEL

*Monitoring of the flexor-extensor musculature of the knee in high-performance female volleyball players*

Juan José Molina , David Rodríguez-Ruiz , Ignacio Díez-Vega , Adam L. Kelly , Sergio L Jiménez Sáiz <sup>5\*</sup> 

1 Universidad Politécnica de Madrid, España; 2 Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España  
3 Universidad de León, España; 4 Birmingham City University, Reino Unido; Universidad Rey Juan Carlos, España

\* Correspondence: sergio.jimenez.saiz@urjc.es

Recibido: 19/07/21; Aceptado: 01/04/22; Publicado: 19/12/22

### OPEN ACCESS

Sección / Section:

Análisis del rendimiento deportivo /  
Performance analysis in sport

Editor de Sección / Edited by:

Sebastián Feu  
Universidad de Extremadura

Citación / Citation:

Molina, J. J., Rodríguez-Ruiz, D.,  
Díez-Vega, I., Kelly, A. L., & Jiménez-  
Sáiz, S. L. (2022). Control de la  
musculatura flexo-extensora de la  
rodilla en jugadoras de voleibol de  
alto nivel. E-balonmano Com,  
18(3), 221-232.

Fuentes de Financiación / Funding:

Consejo Superior de Deportes  
(06/UPR10/10) y la Universidad  
Europea de Madrid (2010/UEM15;  
2012 UEM/01)

Agradecimientos/  
Acknowledgments:

A los clubes de voleibol femenino  
C.V. Jumper Agüere y JAV  
Olimpico y, en especial a las  
jugadoras y a Borja Wright  
(entrenador del JAV Olimpico),  
Ambrosio González y Rubén  
Martínez (entrenador y preparador  
físico del C.V. Jumper Agüere,  
respectivamente) por su  
colaboración.

Conflicto de intereses / Conflicts of  
Interest: NO

### Resumen

El propósito del estudio fue describir, a través de TMG, los cambios producidos en las características mecánicas de la musculatura responsable de la flexo-extensión de la articulación de la rodilla: antes y después de un periodo de entrenamiento, en jugadoras de voleibol de alto nivel competitivo. Así, se controlaron el Vasto Medial (VM), el Recto Femoral (RF), el Vasto Lateral (VL), el Semitendinoso (ST) y el Bíceps Femoral (BF). Además, se presentan los resultados obtenidos en una batería de saltos realizados sobre una plataforma de contacto durante este mismo periodo de entrenamiento: Squat Jump (SJ), Countermovement Jump (CMJ), Salto de Remate (REM) y Salto de Bloqueo (BLQ). Se evaluaron dieciséis jugadoras (edad 20,3 ± 1,7 años; peso corporal: 67,75 ± 9,13 kg.; altura: 178,2 ± 7,1 cm.; IMC: 21,41 ± 1,75 kg/m<sup>2</sup>) pertenecientes a 2 equipos de Superliga femenina. Los resultados obtenidos muestran claras diferencias en los valores pre-post de todos los parámetros evaluados: Altura de Salto, Velocidad de respuesta normalizada (Vrn), Deformación Máxima radial del músculo (Dm), Tiempo de Activación (Td), Tiempo de Mantenimiento de la contracción (Ts), Tiempo de relajación (Tr); siendo estadísticamente significativos los valores de Vrn del VL (p<0,001; ES=1,11); y encontrando una tendencia estadística en Vrn del RF (p=0,117; ES=0,69). En este sentido, podemos concluir que el entrenamiento produce adaptaciones en la musculatura implicada en la flexo-extensión de la rodilla de jugadoras de voleibol de alto nivel competitivo, y que dichos cambios pueden monitorizarse a través del estudio de la modificación de las características mecánicas musculares evaluadas mediante Tensiomiografía.

**Palabras clave:** Tensiomiografía; Voleibol; Velocidad de respuesta muscular; Capacidad de salto.

### Abstract

The aim of this study was to describe, through TMG, the changes produced in the mechanical characteristics of the musculature responsible for the flexo-extension of the knee joint: before and after a training period, in highly competitive female volleyball players. The sample studied was included 16 female volleyball players (age 20,3 ± 1,7 years; weight: 67,75 ± 9,13 kg.; height: 178,2 ± 7,1 cm.; BMI: 21,41 ± 1,75 kg/m<sup>2</sup>) from two Spanish Super-league teams. The results show clear differences in the pre-post values of all parameters: Jump Height, Normalized response speed (Vrn), Maximum radial displacement of the muscle belly (Dm), Delay Time (Td), Sustain Time (Ts), and Relaxation Time (Tr). The Vrn values of VL (p<0.001; ES=1.11) were statistically significant, and a statistical trend can be seen also in the Vrn values of RF (p=0.117; ES=0.69). We can conclude that TMG is sensitive enough to detect changes in the knee musculature of high-performance female volleyball players after a season training period.

**Keywords:** Tensiomyography; Volleyball; Muscle response; Jump

## Introducción

Para orientar eficazmente el entrenamiento, el entrenador debe evaluar los aspectos fundamentales que condicionan el rendimiento en una modalidad deportiva determinada y comprobar su evolución durante el tiempo que dura la preparación del deportista (Valladares et al., 2016). De ahí que, para ello, se intenten utilizar herramientas eficaces que no afecten negativamente al entrenamiento, que no supongan un riesgo innecesario para el deportista y que no interrumpen de forma prolongada el desarrollo de las sesiones.

La Tensiomiografía (TMG) es un método de diagnóstico, no invasivo, empleado para valorar la respuesta mecánica de un músculo durante una contracción isométrica, inducida por un estímulo eléctrico. Dicha respuesta muscular sirve para determinar, entre otras cosas: el equilibrio existente entre diferentes grupos musculares (agonistas-antagonistas); entre diferentes lateralidades (derecha-izquierda); o entre diferentes individuos, que por su condición genética, tipo de trabajo diario, puesto específico, o deporte practicado, pueden presentar resultados muy dispares en los parámetros analizados con la TMG, así se pueden evaluar y controlar las características mecánicas y la capacidad contráctil de los músculos superficiales tras ser activados por un estímulo eléctrico de intensidad controlada (Dahmane et al., 2005; Dahmane et al., 2001; Simunic, 2012; Pisot et al., 2002; Valencic y Knez, 1997; Valencic et al., 2000).

La reproducibilidad del método y la validez del protocolo experimental que emplea la TMG han sido estudiadas en diferentes trabajos, presentándose como una herramienta con alta reproducibilidad (Belic et al., 2000, Dahmane et al., 2001; Ditroilo et al., 2011; Krizaj, et al., 2008; Rodríguez-Matoso et al., 2010a; Simunic, 2012; Simunic et al., 2010, Simunic y Valencic, 2001; Tous-Fajardo et al., 2010). De la valoración con TMG se obtienen las siguientes variables o parámetros: magnitud del desplazamiento radial o deformación del vientre muscular (Dm), tiempo de activación (Td), tiempo de contracción (Tc), tiempo de sustentación (Ts) y tiempo de relajación (Tr). Actualmente se han realizado varias revisiones que aseguran la reproducibilidad de la TMG (Martin-Rodríguez et al., 2017) y la aplicabilidad en varios campos profesionales de los parámetros recogidos (McGregor et al, 2018, García-García et al, 2019, Wilson et al., 2019 y Lohr et al., 2019).

Diferentes autores han confirmado que la variación de Dm corresponde con el aumento o disminución del tono muscular en diferentes modalidades deportivas: trabajo de fuerza-resistencia (Dahmane et al., 2005; García-Manso et al., 2011b; García-Manso et al., 2012; Kersevan et al., 2002; Rodríguez-Matoso et al., 2010b), trabajo de resistencia aeróbica (García-Manso et al., 2011a), deportes de equipo (Rodríguez-Ruiz et al., 2012 y 2014). E incluso se ha llegado a afirmar que el valor alcanzado en Dm es proporcional a la fuerza muscular (Valencic, et al., 2001). De todos los datos obtenidos en el desplazamiento radial, la velocidad de respuesta normalizada (Vrn) se ha mostrado como el valor diferenciador de la capacidad funcional de la musculatura evaluada para jugadores de voleibol (Rodríguez-Matoso et al., 2010b y Rodríguez-Ruiz et al., 2011). También se ha comprobado que la fatiga muscular va asociada a incrementos en tiempo de activación (Td) (Simunic et al., 2005), tiempo de sustentación (Ts) (García-Manso et al., 2011<sup>a</sup>; García-Manso et al., 2012), y tiempo de relajación (Tr) (García-Manso et al., 2011b, García-Manso et al., 2012). Por su parte, Simunic et al. (2011), estudiaron 27 sujetos (H: 21; M: 6) de mediana edad (43 años), encontrando una buena correlación entre los valores de Td, Tc y Tr con el valor del porcentaje de fibras musculares tipo I ( $r=0,612$ ;  $0,878$ ;  $0,669$ , respectivamente), siendo este mismo valor de  $r=0,933$  ( $p<0,001$ ).

El control del entrenamiento de fuerza dinámica más utilizado es la batería de saltos propuesta por Bosco et al., (1983). que permite evaluar la capacidad de salto a través de las técnicas: a) Squat Jump (SJ), consistente en la realización de un salto sin contra-movimiento y sin impulso de brazos, durante el cual las manos se mantienen apoyadas en la cadera o agarradas por detrás de la espalda, con la intención de evitar la acción de impulso de las extremidades superiores; b) Countermovement Jump (CMJ), consistente en un salto con contra-movimiento, donde al igual que en la técnica anterior, las manos permanecen apoyadas en las caderas o detrás de la espalda, aislando de nuevo la manifestación de fuerza elástico-explosiva del tren inferior; c) Abalakov Jump (AJ), salto realizado en las mismas condiciones de flexo-extensión

elástico-explosiva del tren inferior, pero al cual se le suma la acción de impulso de brazos, mediante este test se puede determinar el porcentaje de contribución del tren superior al rendimiento final del salto. Una de las variantes incluidas en la mencionada batería de saltos es la de introducir saltos específicos de la modalidad deportiva a la que pertenecen los sujetos analizados, por ejemplo, si la modalidad deportiva es voleibol, suelen incluirse saltos que se desarrollen mediante la acción técnica de batida de remate con un paso previo (REM) (Rodríguez-Ruiz et al., 2012), así como saltos con contramovimiento semejantes a la acción específica de salto al bloqueo con y sin paso previo (BLQ) (Rodríguez-Ruiz et al., 2012 y 2014).

El propósito del presente estudio fue monitorizar, a través de TMG, los cambios producidos en las características mecánicas de la musculatura responsable de la flexo-extensión de la articulación de la rodilla: Vasto Medial (VM), Recto Femoral (RF), Vasto Lateral (VL), Semitendinoso (ST) y Bíceps Femoral (BF), antes y después de un periodo de entrenamiento, en jugadoras de voleibol de alto nivel competitivo. Además, describir los cambios producidos en la batería de saltos realizados sobre plataforma de contacto antes y después de este mismo periodo de entrenamiento, discutiendo el posible el paralelismo de ambas técnicas de valoración (TMG y batería de salto).

## **Materiales y Método**

### ***Diseño y participantes***

Este trabajo utiliza un diseño un descriptivo, con medidas pre-post, evaluando un entrenamiento de cuatro meses de duración. Todos los miembros del equipo de investigación participantes en el estudio siguieron los criterios propuestos por el comité ético de la Universidad Europea de Madrid, teniendo presente la declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos (Adoptada por la 18ª Asamblea Médica Mundial de Helsinki en 1964 y modificada por la 59ª Asamblea General celebrada en Seúl en 2008). Todas las participantes, a través de su representante legal, aceptaron la participación en el estudio.

Se evaluaron jugadoras de voleibol de alto nivel, pertenecientes a 2 equipos de Superliga Femenina de voleibol. La muestra fue elegida a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, para garantizar la colaboración de los entrenadores y de los equipos evaluados.

### ***Instrumentos***

El material utilizado para monitorizar los valores de las características mecánicas del Vasto Medial (VM), Recto Femoral (RF), Vasto Lateral (VL) y Bíceps Femoral (BF) fue un Tensiomiógrafo TMG-BMC (TMG-BMC Ltd, Ljubljana, Eslovenia); siendo el protocolo de dicha valoración un estímulo eléctrico único de 110 miliamperios (mA) a cada músculo monitorizado. Para las mediciones se utilizaron electrodos Dura-Stick CefarCompex pregelados de 5 x 5 cm (DJO Ibérica, Barcelona, España).

Por otro lado, para la medición de la altura de los saltos se utilizó una plataforma de contacto unida al procesador MuscleLab de BoscoSystem, siendo las técnicas de salto registradas las pertenecientes a la batería de saltos adaptada al voleibol: SJ; CMJ; REM y BLQ, siguiendo las recomendaciones de Bosco et al. (1983).

La talla de los participantes se evaluó mediante un tallímetro de pared Person-Chek (KaWe, Asperg, Alemania) y el peso con una báscula digital PW 1820 (MBO International Electronic AG, Plochingen, Alemania).

### ***Procedimiento***

La primera evaluación se realizó en la primera sesión del proceso de entrenamiento en pretemporada. La segunda evaluación se efectuó cuatro meses después, en el momento culmen de la preparación física, marcado por los propios entrenadores. En consecuencia, la post-evaluación se realizó en un período donde las jugadoras deberían encontrarse al máximo rendimiento tras cumplir la transferencia del trabajo de fuerza a la máxima capacidad de salto. Todas las

valoraciones se realizaron al inicio de la sesión de entrenamiento y antes del calentamiento. Se instruyó a todas las participantes para evitar la práctica de actividad deportiva durante las 72 horas previas a las valoraciones.

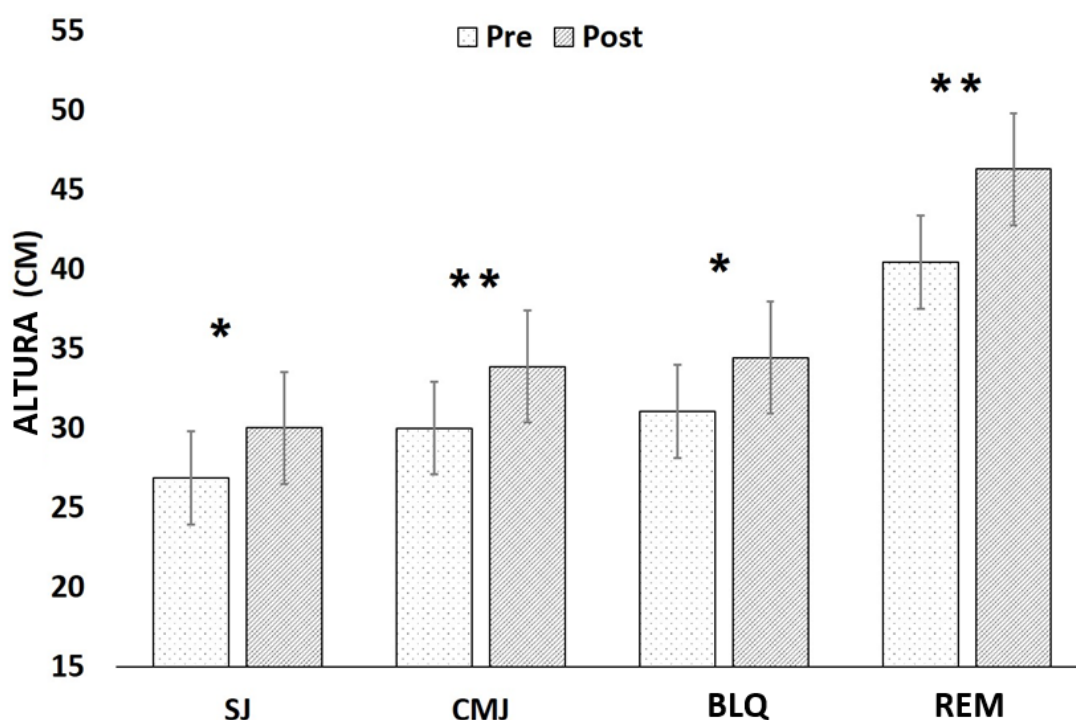
### Análisis estadístico

Todo el análisis se realizó con el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales SPSSv17 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Para comprobar el supuesto de normalidad, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. En segundo lugar, se hizo una prueba de contraste con los datos obtenidos en las dos condiciones evaluadas (pre y post). Se utilizó una t-student para los datos paramétricos y la prueba de la suma de rangos con signo de Wilcoxon para los datos no paramétricos (nivel de significación de  $p \leq 0.05$ ). El cálculo del tamaño del efecto (ES) se realizó mediante el delta de Glass (Thomas et al., 2005).

## Resultados

Se evaluaron dieciséis ( $n=16$ ) jugadoras de 2 equipos de la Superliga Femenina española (edad  $20,3 \pm 1,7$  años; peso corporal:  $67,75 \pm 9,13$  kg.; altura:  $178,2 \pm 7,1$  cm.; IMC:  $21,41 \pm 1,75$  kg/m<sup>2</sup>). Atendiendo al carácter ecológico de la investigación, hay que entender que la muestra se redujera considerablemente. Así, de las veinticuatro jugadoras que iniciaron el proceso de entrenamiento, sólo dieciséis completaron todo el proceso del mismo.

Los resultados obtenidos en la batería de saltos adaptada (figura 1) muestran un aumento (pre-post) significativo para todos los valores (SJ:  $p=0,011$ ; ES=0,87; CMJ:  $p=0,001$ ; ES=1,00; BLQ:  $p=0,007$ ; ES= 0,86; REM:  $p<0,001$ ; ES= 1,00). Puede observarse como el aumento alcanzó los valores cercanos a los 6 cm. de media en REM; siendo las técnicas de salto CMJ y BLQ las que menos aumentaron tras 4 meses de entrenamiento.



**Figura 1.** Valor de las Medias y desviaciones típicas del pre-post en batería de test salto adaptada al voleibol; (\* $p<0,05$ ; \*\* $p<0,001$ ). SJ: Squat Jump; CMJ: Salto con contramovimiento; BLQ: Salto específico de bloqueo; REM: Salto específico de remate.

Paralelamente, en los valores monitorizados con TMG: se observaron cambios pre-post para Tc (Tabla 1) en el RF de la pierna izquierda ( $p < 0,05$ ;  $ES = -0,65$ ) y en el VL de la pierna derecha ( $p \leq 0,001$ ;  $ES = -0,89$ ).

**Tabla 1.** Medias y desviación típica para el Tiempo de contracción (Tc),

		Media	SD	Tamaño del Efecto	p	% de cambio
BFD	Pre	42,15	14,42	-0,06	0,756	-2,03
	Post	41,29	22,10			
BFI	Pre	42,90	12,07	-0,14	0,642	-4,04
	Post	41,17	22,98			
RFD	Pre	31,31	5,00	-0,66	0,115	-10,54
	Post	28,01	6,31			
RFI	Pre	33,18	6,09	-0,65	0,029	-11,93
	Post	29,22	6,57			
VMD	Pre	31,41	7,66	0,08	0,679	1,99
	Post	32,03	9,62			
VMI	Pre	30,27	6,76	-0,27	0,379	-6,07
	Post	28,43	4,80			
VLD	Pre	27,64	3,78	-0,89	<0,001	-12,21
	Post	24,26	2,72			
VLI	Pre	27,65	5,10	-0,22	0,448	-4,11
	Post	26,51	4,94			

BFD: Biceps Femoral Derecho; BFI: Biceps Femoral Izquierdo; RFD: Recto Femoral Derecho; RFI: Recto Femoral Izquierdo; VMD: Vasto Medial Derecho; VMI: Vasto Medial Izquierdo; VLD: Vasto Lateral Derecho; VLI: Vasto Lateral Izquierdo.

Respecto a la Dm (tabla 2), se detectó una disminución de los valores (pre-post) para todos los músculos evaluados en pierna derecha (BF, RF, VM y VL). Esta disminución del valor de Dm tan sólo fue estadísticamente significativa en el VL de ambas piernas (VLD:  $p < 0,05$ ;  $ES = -0,97$ ; VLI:  $p < 0,05$ ;  $ES = -0,79$  PI) y en el BF ( $p < 0,05$ ;  $ES = -0,60$ ) de la pierna izquierda.

**Tabla 2.** Medias y desviación típica para la Deformación máxima radial (Dm).

		Media	SD	Tamaño del Efecto	p	% de cambio
BFD	Pre	5,99	2,88	-0,25	0,513	-11,78
	Post	5,29	2,92			
BFI	Pre	6,71	2,89	-0,60	0,05	-25,82
	Post	4,98	1,85			
RFD	Pre	7,88	2,20	-0,47	0,207	-13,16
	Post	6,84	2,54			
RFI	Pre	7,61	2,52	0,17	0,444	5,58
	Post	8,04	2,73			
VMD	Pre	7,29	1,90	-0,22	0,441	-5,66
	Post	6,88	1,70			
VMI	Pre	6,71	1,83	0,05	0,848	1,30
	Post	6,80	1,40			
VLD	Pre	5,96	1,42	-0,97	0,002	-23,19
	Post	4,58	1,03			
VLI	Pre	5,51	1,61	-0,79	0,010	-23,02
	Post	4,24	0,92			

BFD: Biceps Femoral Derecho; BFI: Biceps Femoral Izquierdo; RFD: Recto Femoral Derecho; RFI: Recto Femoral Izquierdo; VMD: Vasto Medial Derecho; VMI: Vasto Medial Izquierdo; VLD: Vasto Lateral Derecho; VLI: Vasto Lateral Izquierdo.

En cuanto al tiempo de activación (Td) (tabla 3), se puede observar una respuesta asimétrica en la musculatura analizada. Monitorizándose una disminución significativa en el Td del VL de ambas piernas (VLD:  $p < 0,05$ ;  $ES = -0,96$ ; VLI:  $p < 0,05$ ;  $ES = -0,52$ ); y una disminución no significativa en RF de la pierna derecha, en VL de la pierna izquierda, así como

en BF de ambas piernas. Mientras los valores de Td del RF de pierna izquierda y del VM de ambas piernas se mantuvieron semejantes tras el periodo de entrenamiento.

**Tabla 3:** Medias y desviación típica para el Tiempo de Activación (Td)

		Media	SD	Tamaño del Efecto	p	% de cambio
BFD	Pre	24,66	4,60	-0,11	0,723	-2,10
	Post	24,14	4,03			
BFI	Pre	25,61	4,75	-0,41	0,255	-7,54
	Post	23,68	3,80			
RFD	Pre	24,07	2,07	-0,32	0,347	-2,73
	Post	23,41	1,73			
RFI	Pre	24,22	2,17	0,12	0,626	1,03
	Post	24,47	2,29			
VMD	Pre	23,31	2,06	0,04	0,894	0,38
	Post	23,40	2,19			
VMI	Pre	22,44	2,01	-0,11	0,696	-0,97
	Post	22,22	2,09			
VLD	Pre	23,27	2,00	-0,96	0,002	-8,22
	Post	21,36	1,65			
VLI	Pre	23,28	2,07	-0,52	0,079	-4,67
	Post	22,19	2,02			

BFD: Biceps Femoral Derecho; BFI: Biceps Femoral Izquierdo; RFD: Recto Femoral Derecho; RFI: Recto Femoral Izquierdo; VMD: Vasto Medial Derecho; VMI: Vasto Medial Izquierdo; VLD: Vasto Lateral Derecho; VLI: Vasto Lateral Izquierdo.

En la tabla 4 pueden observarse los valores pre-post del parámetro Tr. Estos valores disminuyeron en RF y VL de pierna derecha, y en BF de ambas piernas, siendo esta disminución significativa en los valores del Tr de la pierna izquierda (BFI:  $p \leq 0,049$ ;  $ES = -0,40$ ). Mientras que los valores de Tr en RF de la pierna derecha y VM de ambas piernas aumentaron, manteniéndose iguales los valores en VL de la pierna izquierda.

**Tabla 4:** Medias y desviación típica para el Tiempo de Relajación (Tr)

		Media	SD	Tamaño del Efecto	p	% de cambio
BFD	Pre	91,31	61,86	-0,46	0,134	-31,36
	Post	62,67	30,84			
BFI	Pre	88,30	48,40	-0,40	0,049	-22,12
	Post	68,77	27,42			
RFD	Pre	116,23	62,14	-0,35	0,301	-18,65
	Post	94,55	77,74			
RFI	Pre	94,78	45,40	0,57	0,219	27,44
	Post	120,79	68,92			
VMD	Pre	55,51	43,14	0,56	0,215	43,41
	Post	79,60	70,70			
VMI	Pre	63,67	36,29	0,10	0,918	5,60
	Post	67,23	46,53			
VLD	Pre	98,30	58,86	-0,31	0,215	-18,67
	Post	79,94	60,42			
VLI	Pre	89,19	73,64	-0,02	0,501	-1,29
	Post	88,04	74,54			

BFD: Biceps Femoral Derecho; BFI: Biceps Femoral Izquierdo; RFD: Recto Femoral Derecho; RFI: Recto Femoral Izquierdo; VMD: Vasto Medial Derecho; VMI: Vasto Medial Izquierdo; VLD: Vasto Lateral Derecho; VLI: Vasto Lateral Izquierdo.

Tal y como se observa en la tabla 5, el aumento en los valores pre-post se produjo de forma significativa en el Ts del RF de la pierna izquierda ( $p < 0,05$ ;  $ES = 0,96$ ), y del VM de ambas piernas (VMD:  $p < 0,05$ ;  $ES = 1,11$ ; VMI:  $p < 0,05$ ;



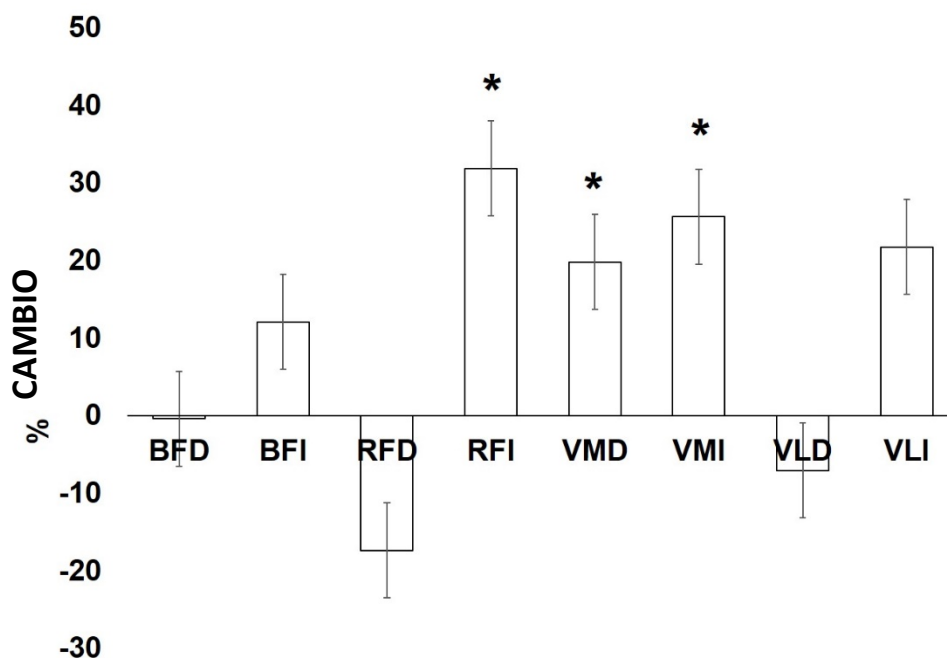
ES=1,68). No encontrándose significación estadística en el resto de las variables, a pesar de que algunos de estos cambios puedan considerarse marginalmente significativos (BFI:  $p=0,088$ ; ES=0,41).

**Tabla 5:** Medias y desviación típica para el Tiempo de Mantenimiento de la contracción (Ts)

		Media	SD	Tamaño del Efecto	p	% de cambio
BFD	Pre	194,84	80,54	-0,01	0,975	-0,41
	Post	194,04	66,13			
BFI	Pre	199,89	58,09	0,41	0,088	12,06
	Post	223,99	50,43			
RFD	Pre	166,63	60,34	-0,48	0,469	-17,40
	Post	137,64	80,52			
RFI	Pre	138,38	46,02	0,96	0,035	31,84
	Post	182,44	62,97			
VMD	Pre	173,37	30,93	1,11	0,003	19,78
	Post	207,67	31,65			
VMI	Pre	170,47	26,01	1,68	0,004	25,63
	Post	214,16	53,77			
VLD	Pre	146,33	81,77	-0,13	0,959	-7,08
	Post	135,97	62,50			
VLI	Pre	123,19	76,06	0,35	0,301	21,71
	Post	149,94	75,94			

BFD: *Bíceps Femoral Derecho*; BFI: *Bíceps Femoral Izquierdo*; RFD: *Recto Femoral Derecho*; RFI: *Recto Femoral Izquierdo*; VMD: *Vasto Medial Derecho*; VMI: *Vasto Medial Izquierdo*; VLD: *Vasto Lateral Derecho*; VLI: *Vasto Lateral Izquierdo*.

Por último, los valores del tiempo de sustentación (Ts), también denominado mantenimiento de la contracción, aumentaron para todos los músculos evaluados en la pierna izquierda (BF, RF, VM, VL), si bien, sólo fueron significativos en el RFI, VMI y en el VMD ( $p<0,05$ ) (figura 2). También se monitorizó una disminución en los valores de Ts del RF y del VL de la pierna derecha, aunque cambios no fueron significativos. También se produjo un mantenimiento de los valores en el BF de pierna derecha.



**Figura 2:** Porcentaje de cambio pre-post entre los valores de Ts para la musculatura evaluada en ambas piernas.

BFD: *Bíceps Femoral Derecho*; BFI: *Bíceps Femoral Izquierdo*; RFD: *Recto Femoral Derecho*; RFI: *Recto Femoral Izquierdo*; VMD: *Vasto Medial Derecho*; VMI: *Vasto Medial Izquierdo*; VLD: *Vasto Lateral Derecho*; VLI: *Vasto Lateral Izquierdo*. \* $p<0,05$

## Discusión

La altura alcanzada en los tests de saltos pre-post (Figura 1) fue similar a la observada en otros estudios que utilizaron muestras similares (Barnes y col., 2005; Bosco y Komi, 1979; Bosco et al., 1983; Clutch et al., 1983; Marques et al., 2008; Nesser y Demchak, 2007; Newton et al., 2006; Rodríguez-Ruiz et al., 2012; Viitasalo, 1985). Estos cambios observados en la capacidad de salto se vieron reflejados en las características contráctiles del músculo. De hecho, Tc mostró una mejora en los valores post entrenamiento en todos los músculos evaluados en las extremidades inferiores de las jugadoras de voleibol (Tabla 1), especialmente en el vasto lateral de la pierna derecha (-12.21%;  $p < 0,001$ ; ES=-0,89). Este cambio de la respuesta muscular podemos considerarla característico en este deporte, ya que se trata de un músculo especialmente relevante en la extensión de la rodilla en el momento del salto de remate (Figura 1). También se detectó una tendencia de cambio moderadamente importante en la misma variable para el RFD aunque no fue estadísticamente significativa, sin embargo si lo fue para RFI (-10.54%;  $p = 0,029$ ; ES=-0,65) y RFD (-11.93%). En el resto de musculatura evaluada: BF, VM y VLI, estos cambios fueron menores.

Rodríguez-Ruiz et al. (2012), encontraron diferencias entre la musculatura extensora y flexora de la rodilla de ambas piernas tras evaluar a jugadoras de vóley-playa de alto nivel, afirmando que estas diferencias responden a su localización en el campo y a la especialización de los gestos de su puesto específico dentro de la pareja. En otro estudio de Rodríguez-Ruiz et al. (2014), analizaron la velocidad de respuesta normalizada (Vrn) de la misma musculatura que en nuestro estudio y, encontrando diferencias significativas entre la posición de juegos en jugadores y jugadoras de alto nivel. Este descenso en los valores de Tc encontrados en nuestra muestra coincide con los resultados obtenidos por García-García et al. (2013) en ciclistas profesionales, después de un periodo de preparación para VL y BF.

Los valores de Dm mostraron una disminución de sus valores para todos los músculos evaluados, excepto en RFI y VMI (Tabla 2). Los descensos en los valores de este parámetro en la evaluación post-entrenamiento, son considerados como adaptación al proceso de entrenamiento (García-García et al., 2013; García-Manso et al., 2012; Rodríguez-Matoso et al., 2012). Estos datos coinciden con los observados por Rodríguez-Ruiz et al. (2012 y 2014) para jugadores y jugadoras de vóley-playa y voleibol indoor. Por el contrario, aumentos de Dm después de un proceso de entrenamiento se asocian a procesos de fatiga (García-Manso et al., 2011). En este sentido, se puede observar que RFI y VMI son los únicos músculos que aumentaron sus valores (5,58% y 1,30% respectivamente). Rodríguez-Ruiz et al. (2012) explica estos valores debido a la sobre sollicitación específica de estas estructuras musculares durante la batida y el aterrizaje en los jugadores de voleibol.

En cuanto a Td, la literatura científica sostiene que los valores que alcance este parámetro dependen directamente del nivel de potenciación y activación de la fibra muscular (Dahmane y col., 2005), y que su aumento refleja estados de fatiga muscular (Praprotnik et al., 2000; Simunic et al., 2005). Por tanto, tras los procesos de entrenamiento basados en acciones de tensión muscular explosiva, los valores de Td disminuyen (Simunic y col., 2005; Rodríguez-Matoso et al., 2012; García-Manso et al., 2012). En el presente trabajo, Td (Tabla 3) mostró una tendencia a la disminución para todos los músculos evaluados en las extremidades inferiores de las jugadoras, excepto en RFI y VMD. Atendiendo a las consideraciones expuestas por los autores anteriormente citados y teniendo presente que, durante el momento de la segunda evaluación, las jugadoras se encontraban en el periodo de la competición donde debían estar al máximo rendimiento (Rodríguez-Ruiz, et al., 2012), podemos entender que Td, en nuestra muestra se comporta de forma esperada en toda la musculatura evaluada. Y dado que Td presenta una correlación positiva con el porcentaje de cadenas pesadas de miosina (%MHC-I), a menor valor de Td menos %MHC-I, y a mayor valor de Td mayor %MHC-I (Simunic et al., 2010), podemos entender los valores bajos de este parámetro en los sujetos de nuestra muestra.

El análisis de estos tres parámetros (Tc, Dm y Td) suponen para la bibliografía especializada una información especialmente relevante en el control del proceso de entrenamiento (García-García y col., 2013; García-Manso et al., 2011a y 2012; Rodríguez-Matoso et al., 2012) debido a que reflejan el grado de rigidez muscular, el nivel de activación y potenciación de las fibras musculares y la velocidad de respuesta a la contracción muscular (Valencic y Knez, 1997). Por



otro lado, el tiempo de mantenimiento (Ts) y el tiempo de relajación muscular (Tr) representan la capacidad de relajación después de la acción de contracción producida por el estímulo eléctrico (Valencic y Knez, 1997), de tal forma que su aumento puede reflejar estados de fatiga potencial (García-Manso et al., 2011b y 2012; Krizaj et al., 2008; Rodríguez-Matoso et al., 2012; Rodríguez-Ruiz et al., 2012). Aun así, estos valores no pueden ser bien interpretados por sí solos sin tener presente la evolución de los demás parámetros, las características específicas del deportista y las solicitaciones de las acciones técnicas de la actividad deportiva (Rodríguez-Matoso et al., 2012).

Atendiendo a lo expuesto anteriormente, y a que Simunic (2012) nos enuncia que un valor menor de Tr podría representar una mejor coordinación intramuscular a la hora de la relajación después de alcanzar la deformación máxima, podemos afirmar que los sujetos de nuestra muestra consiguen una optimización de los valores de Tr (Tabla 4) para BF, VL y RFD, mientras que hay un aumento de RFI y VM que coincide con los datos de sobre-solicitación expuestos en el análisis de Td, Tc y Dm a la hora de la realización de las acciones técnicas de batida y aterrizaje después de un salto en voleibol. Los valores del tiempo de sustentación (Ts) o de mantenimiento de la contracción (Tabla 5) para esta misma musculatura muestran un aumento estadísticamente significativo (RFI: 31,84%, VMD: 19,78% y VMI: 25,63%).

Por otro lado, los valores de Ts reflejan una asimetría funcional entre ambas piernas: derecha e izquierda, para BF, RF y VL (Figura 2) que puede dar respuesta a la dominancia en las acciones técnicas. El salto como acción repetida en voleibol representa una de las tareas físicas que más pueden sobrecargar la musculatura flexo-extensora del tren inferior, si realizamos un análisis de cada una de las fases de las acciones que implican en su realización un salto, es fácil observar que la acción de las piernas no es simétrica. El remate, por ejemplo, en ninguna de sus fases: carrera, impulso, batida, golpeo y aterrizaje; es simétrico. El trabajo de cada uno de los músculos implicados es diferente en función de la pierna que analicemos. Si tenemos en cuenta que un jugador puede rematar, durante un entrenamiento o un partido, entre 20 a 30 veces; que durante el periodo de entrenamiento controlado se han realizado 4 sesiones de entrenamiento más el partido; y que el periodo pre-post ha durado de 4 meses, el número de remates en este periodo puede haber superado con facilidad las 2000 repeticiones.

Esto nos lleva a pensar que las asimetrías aparecidas con la TMG son producto de la carga asimétrica que la propia actividad deportiva conlleva.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran las adaptaciones producidos tras un proceso de entrenamiento en la musculatura implicada en el mecanismo de extensión y flexión de la articulación de la rodilla de jugadoras de voleibol de alto nivel competitivo. Dichos cambios se manifiestan a través de la capacidad de salto de las jugadoras y también pueden ser monitorizados a través de la modificación de las características mecánicas de la musculatura evaluada mediante Tensiomiografía,

## Aplicaciones prácticas

El control y monitorización de la carga de la musculatura del tren inferior se hace cada vez más necesaria para técnicos, preparadores, re-adaptadores y fisioterapeutas deportivos. En este sentido, la Tensiomiografía (TMG) se ha mostrado como una herramienta que permite detectar los cambios producidos a lo largo de un proceso de entrenamiento.

**Author Contributions:** Conceptualización, J.J.M. and D.R.; metodología, S.L.J., J.J.M. and D.R.A.; software, I.D-V., A.L.K.; validación, S.L.J., J.J.M. and D.R.; análisis estadístico, I.D-V. and A.L.K.; investigación, S.L.J., J.J.M. and D.R.; preparación de datos, S.L.J., J.J.M. and D.R. and I. D-V; preparación del manuscrito, I.D-V., A.L.K. and J.J.M.; redacción - revisión y edición, S.L.J. and D.R. visualización, A..L.K.; supervisión, D.R. and S.L.J. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

---

## Referencias

- Barnes, J. L., Schilling, B. K., Falvo, M. J., Weiss, L. W., Creasy, A. K., & Fry, A. C. (2007). Relationship of jumping and agility performance in female volleyball athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 21(4), 1192–1196. <https://doi.org/10.1519/R-22416.1>
- Belic, A., Knez, N., Karba, R., & Valencic, V. (2000). Validation of the human muscle model. In: *Proceedings of the 2000 Summer Computer Simulation Conference*. Vancouver, British Columbia. Session 1: Issues on Whole Body Modeling, 2000. p. 16-20
- Bosco, C., & Komi, P. V. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 41(4), 275–284. <https://doi.org/10.1007/BF00429744>
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 273–282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Clutch, D.; Wilson, M.; McGown, C. & Bryce, G.R. (1983) The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 54; 5-10. <https://doi.org/10.1080/02701367.1983.10605265>
- Dahmane, R., Djordjevic, S., Simunic, B., & Valencic, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle Histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of biomechanics*, 38(12), 2451–2459. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.020>
- Dahmane, R., Valen i, V., Knez, N., & Eren, I. (2001). Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. *Medical & biological engineering & computing*, 39(1), 51–55. <https://doi.org/10.1007/BF02345266>
- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., & Richard Steadman, J. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 18(7), 662–669. [https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(03\)00090-1](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(03)00090-1)
- Ditroilo, M., Hunter, A. M., Haslam, S., & De Vito, G. (2011). The effectiveness of two novel techniques in establishing the mechanical and contractile responses of biceps femoris. *Physiological measurement*, 32(8), 1315–1326. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/32/8/020>
- García-García, O., Cuba-Dorado, A., Álvarez-Yates, T., Carballo-López, J., & Iglesias-Caamaño, M. (2019). Clinical utility of tensiomyography for muscle function analysis in athletes. *Open access journal of sports medicine*, 10, 49–69. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S161485>
- García-García, O., Hernández Mendo, A., Serrano Gómez, V. & Morales Sánchez, V. (2013). Aplicación de la teoría de la generalizabilidad a un análisis de tensiomiografía en ciclistas profesionales de ruta. *Revista de psicología del deporte*, 22(1), 53-60.
- García-Manso, J. M., Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., & Calderón, J. (2011a). Effect of cold-water immersion on skeletal muscle contractile properties in soccer players. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 90(5), 356–363. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31820ff352>
- García-Manso, J. M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2012). Effect of high-load and high-volume resistance exercise on the tensiomyographic twitch response of biceps brachii. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 22(4), 612–619. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.01.005>
- García-Manso, J. M., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., de Saa, Y., Sarmiento, S., & Quiroga, M. (2011b). Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of sports sciences*, 29(6), 619–625. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.548822>
- Hughes, G., Watkins, J., & Owen, N. (2008). Gender differences in lower limb frontal plane kinematics during landing. *Sports biomechanics*, 7(3), 333–341. <https://doi.org/10.1080/14763140802233215>
- Kersevan, K., Valencic, V., Djordjevic, S., & Simunic, B. (2002). The muscle adaptation process as a result of pathological changes or specific training procedures. *Cellular & molecular biology letters*, 7(2), 367–369.
-

- Krizaj, D., Simunic, B., & Zagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 18(4), 645–651. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.01.008>
- Lephart, S. M., Ferris, C. M., Riemann, B. L., Myers, J. B., & Fu, F. H. (2002). Gender differences in strength and lower extremity kinematics during landing. *Clinical orthopaedics and related research*, (401), 162–169. <https://doi.org/10.1097/00003086-200208000-00019>
- Lohr, C., Schmidt, T., Medina-Porqueres, I., Braumann, K. M., Reer, R., & Porthun, J. (2019). Diagnostic accuracy, validity, and reliability of Tensiomyography to assess muscle function and exercise-induced fatigue in healthy participants. A systematic review with meta-analysis. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 47, 65–87. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.05.005>
- Macgregor, L. J., Hunter, A. M., Orizio, C., Fairweather, M. M., & Ditroilo, M. (2018). Assessment of Skeletal Muscle Contractile Properties by Radial Displacement: The Case for Tensiomyography. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(7), 1607–1620. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0912-6>
- Malinzak, R. A., Colby, S. M., Kirkendall, D. T., Yu, B., & Garrett, W. E. (2001). A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 16(5), 438–445. [https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(01\)00019-5](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(01)00019-5)
- Martín-Rodríguez, S., Loturco, I., Hunter, A. M., Rodríguez-Ruiz, D., & Munguia-Izquierdo, D. (2017). Reliability and Measurement Error of Tensiomyography to Assess Mechanical Muscle Function: A Systematic Review. *Journal of strength and conditioning research*, 31(12), 3524–3536. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002250>
- Marques, M. C., Tillaar, R. v., Vescovi, J. D., & González-Badillo, J. J. (2008). Changes in strength and power performance in elite senior female professional volleyball players during the in-season: a case study. *Journal of strength and conditioning research*, 22(4), 1147–1155. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a42d0>
- Nesser, TW & Demchak, TJ. (2007) Variations of preseason conditioning on volleyball performance. *Journal of Exercise Physiology Online*, 10(5), 35–42.
- Newton, R. U., Rogers, R. A., Volek, J. S., Häkkinen, K., & Kraemer, W. J. (2006). Four weeks of optimal load ballistic resistance training at the end of season attenuates declining jump performance of women volleyball players. *Journal of strength and conditioning research*, 20(4), 955–961. <https://doi.org/10.1519/R-5050502x.1>
- Padua, D. A., Carcia, C. R., Arnold, B. L., & Granata, K. P. (2005). Gender differences in leg stiffness and stiffness recruitment strategy during two-legged hopping. *Journal of motor behavior*, 37(2), 111–125. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.2.111-126>
- Paez, L. C., Corrales, B. S., Lora, M. H. & Ochiana, G. (2011). Tensiomyographic Characteristics of Rectus Femoris after a Single Bout of Intense Exercise. *Journal of Social Sciences*, 7(3), 354-357. <https://doi.org/10.3844/jssp.2011.354.357>
- Praprotnik, U., Valenčič, V., Čoh, M., Djordjevič, S., Knez, N., Simunic, B., Krenker, A., Kersevan, K. (2000). Modifications of muscle vastus lateralis belly response to twitch stimulation after high intensity exercise. *Proceedings of the Ninth Electrocehnical and Computer Science Conference ERK, 21-23 September 2000, Portorož, Slovenia. Ljubljana: IEEE Region 8, Slovenian section IEEE, Vol. B, pp. 313-316.*
- Pisot, R., Valencic, V. & Simunic, B. (2002) Influence of biomechanical properties of particular skeletal muscles on child motor development. *Annales Series Historial Natural*. 12, 99-106.
- Rodríguez-Matoso D., Rodríguez-Ruiz D., Sarmiento S., Vaamonde D. Da Silva-Grigoletto M.E. & García-Manso J.M. (2010a). Reproducibility of muscle response measurements using tensiomyography in a range of positions. *Revista Andaluza Medicina del Deporte*, 3(3), 81-86.
- Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Quiroga, M.E., Sarmiento, S., De Saa, Y. & García-Manso, J.M. (2010b) Tensiomiografía, utilidad y metodología en la evaluación muscular. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* 10(40), 620-629.
- Rodríguez-Matoso D. García-Manso J.M, Sarmiento S., de Saa Y., Vaamonde D., Rodríguez-Ruiz D. & da Silva-Grigoletto M.E. (2012) Evaluación de la respuesta muscular como herramienta de control en el campo de la actividad física, la salud y el deporte. *Revista Andaluza Medicina del Deporte*, 5(1), 28-40.

- Rodríguez-Ruíz, D., Rodríguez-Matoso, D., Quiroga, M.E., Sarmiento, S., García-Manso, J.M., da SilvaGrigoletto, M.E. (2012). Study of mechanical characteristics of the knee extensor and flexor musculature of volleyball players. *European Journal of Sport Science*. 12(5), 399-407. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.568633>
- Rodríguez-Ruiz, D., Díez-Vega, I., Rodríguez-Matoso, D., Fernández-del-Valle, M., Sagastume, R., & Molina, J. J. (2014). Analysis of the response speed of musculature of the knee in professional male and female volleyball players. *BioMed research international*, 2014, 239708. <https://doi.org/10.1155/2014/239708>
- Sands, W. A., McNeal, J. R., Ochi, M. T., Urbanek, T. L., Jemni, M., & Stone, M. H. (2004). Comparison of the Wingate and Bosco anaerobic tests. *Journal of strength and conditioning research*, 18(4), 810–815. <https://doi.org/10.1519/13923.1>
- Simunič, B. (2012). Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 22(4), 527–530. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.04.003>
- Simunič, B., Krizaj, D., Narici, M. & Pisot, R. (2010) Twitch parameters in transversal and longitudinal biceps brachii response. *Annales Kinesiologiae*, 1, 61-80.
- Simunič, B., Rozman, S., & Pišot R. (2005) Detecting the velocity of the muscle contraction. III International Symposium of New Technologies in Sport, Sarajevo, 2005.
- Simunič, B. & Valencic, V. (2001) Proceedings of 10th Electrochemical and Computer Science Conference. IEEE Region 8, Slovenian Section IEEE, Vol. B, pp: 363366. 2426 de septiembre de 2001. Portoroz (Eslovenia).
- Thomas, J.R., Nelson, J.K., & Silverman, S.J. (2005). *Research methods in physical activity* (5th Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Doutres, D. M., & Maffiuletti, N. A. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 20(4), 761–766. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.02.008>
- Valencic, V., & Knez, N. (1997). Measuring of skeletal muscles' dynamic properties. *Artificial organs*, 21(3), 240–242. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.1997.tb04658.x>
- Valencic, V., Knez, N. & Simunic, B. (2001) Tenziomiography: Detection of skeletal muscle response by Means of radial muscle belly displacement. *Biomedical Engineering*, 1, 110.
- Valencic, V.; Djordjevic, S.; Knez, N.; Dahmane, R.; Coh, M; JurcicZlobec, B.; Praprotnik; U.; Simunic, B.; Kersevan, K.; Bednarik, J. y Gomina, N. (2000). Contractile properties of skeletal muscles detection by tensiomiographic measurement method. 2000 PreOlympic Congress, Brisbane, Australia, Abstract 507.
- Valladares, N.; Joao, P.V.; García-Tormo, J.V. , J.A. (2016). Análisis de las variables antropométricas y físico técnicas en voleibol femenino. *Ebalonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte* 12(3), 195-206.
- Viitasalo, J.T. (1985) Effects of training on force-velocity characteristics. In Winter, D.A.; Norma, R.W.; Wells, R.P.; Hayes, K.C.; Patla, A.E. *Biomechanics IX* A. pp 91 – 95. Ed. Human Kinetics. Champaign, IL.
- Yu, B., Lin, C. F., & Garrett, W. E. (2006). Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clinical biomechanics* (Bristol, Avon), 21(3), 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.11.003>