

Sport Performance

Efectos del Tipo de Recuperación Sobre la Oxigenación Muscular Durante el Ejercicio de Sentadilla

Effects of Recovery Type in Muscular Oxygenation During Squat Exercise

Bastida Castillo, Alejandro.¹, Gómez Carmona, Carlos David.², Pino Ortega, José.³

¹Doctorando Universidad de Murcia, Murcia, Sangonera la Verde

²Doctorando Universidad de Murcia, Murcia, Cehegin

³PhD Universidad de Murcia, Murcia, San Javier

Dirección de contacto: alejandrobastidacastillo@gmail.com

Alejandro Bastida Castillo

Fecha de recepción: 10 de Agosto de 2016

Fecha de aceptación: 16 de Noviembre de 2016

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es comprobar los cambios en la oxigenación muscular del recto anterior durante la realización del ejercicio de sentadilla según el tipo de recuperación. Para ello, 11 sujetos varones bien entrenados fueron distribuidos aleatoriamente a tres grupos experimentales: grupo que realiza recuperación pasiva con 2 minutos de descanso (GC), grupo que realiza recuperación activa hasta la estabilización de oxígeno (GA), grupo que realiza recuperación pasiva hasta la estabilización de oxígeno (GP). Todos realizaron la sentadilla hasta los 90° al 65% del 1RM con un 80% del carácter del esfuerzo (CE) (4x10). Los resultados muestran que el tiempo de reoxigenación (TrecSmO₂) fue inferior significativamente en GA (77,94 ± 11,08) que en GC (p<0.001). En las inclinaciones medias de ejecución y reoxigenación el GA obtuvo los menores y mayores valores respectivamente y de forma significativa respecto a GC (p<0.001). Estas dos variables obtuvieron una relación inversamente proporcional con una r=-0.9585 (p<0.001). Estos resultados muestran una mejor reoxigenación en el grupo que realizó descanso de forma activa. Se muestra una relación inversamente proporcional entre la inclinaciones de ejecución y recuperación por lo que cuanto más rápida y completa sea la desoxigenación más lenta resultará la reoxigenación. Además, la saturación de oxígeno puede ser un factor de la fatiga neuromuscular y su control durante el entrenamiento de fuerza podría facilitar los objetivos de entrenamiento. Estos resultados muestran, a priori, una mejor recuperación entre series a nivel oxidativo cuando los sujetos realizan una recuperación de forma activa, en comparación con la pasiva.

Palabras Clave: recuperación activa, recuperación pasiva, intervalo de descanso, entrenamiento de fuerza y oxigenación muscular

ABSTRACT

The objective of this research is to check the changes in muscle oxygenation of the rectus muscle during squat exercise depending on the recovery type. For this purpose, 11 men subjects well-trained were randomly assigned to three experimental groups: group performing passive recovery with 2 minutes rest (GC), a group that makes active recovery to stabilizing oxygen (GA), a group that performs passive recovery up stabilizing oxygen (GP). All the squat performed up to 90° to 65% of 1RM with 80% of the nature of the effort (CE) (4x10). The results show that the time of reoxygenation (TrecSmO₂) was significantly lower in GA (77.94 + - 11.08) to GC (p <0.001). In the middle slopes of execution and reoxygenation the GA obtained the lowest and highest values respectively and significantly compared to GC (p <0.001). These two variables obtained an inversely proportional relationship with r = -0.9585 (p <0.001). These results show a better reoxygenation in the group that performed actively rest. an inversely proportional relationship between the inclinations of execution and recovery so that the more rapid and complete is the deoxygenation result shown slowest reoxygenation. In addition, oxygen saturation can be a factor of neuromuscular fatigue and control during strength training could facilitate training goals.

Keywords: active recovery, passive recovery, rest interval, strength training, muscular oxygenation

INTRODUCCIÓN

En el entrenamiento de la fuerza, el ejercicio de sentadilla, tradicionalmente, ha sido considerado uno de los principales marcadores del rendimiento físico-deportivo e incluido en el plan de entrenamiento en diferentes deportes (López-Gullón et al., 2011; Woods, McKeown, Haff, y Robertson, 2016). Las adaptaciones producidas por el ejercicio de sentadilla, y del entrenamiento de fuerza para el alto rendimiento en general, van a depender de la interacción de diferentes variables del entrenamiento como la intensidad, el carácter del esfuerzo, intervalo de descanso, la frecuencia y el volumen (de Salles et al., 2009; Jakicic et al., 2001) El intervalo de descanso, que durante el entrenamiento de fuerza podrá ser de forma activa o pasiva, representa una de esas variables. Son escasas las investigaciones que han analizado el tipo de recuperación entre series (Mohamad, Cronin, y Nosaka, 2012). La gran mayoría de trabajos se han centrado en variables como la intensidad y el volumen (de Salles et al., 2009). Se ha demostrado que la ejecución de múltiples series resulta más efectivo para el entrenamiento que una única serie (Rhea, Alvar, y Burkett, 2002). Por lo que el intervalo de descanso entre series va a influir en la efectividad del programa de entrenamiento, además se ha demostrado que el tipo de recuperación entre series puede producir diferentes adaptaciones en el sistema neuromuscular y endocrino (Iglesias-Soler, Carballeira, Sánchez-Otero, Mayo, y Fernández-del-Olmo, 2014; Kraemer, Noble, Clark, y Bruce, 1987). Por lo que el intervalo de descanso entre series es comúnmente prescrito basado en el objetivo de entrenamiento (fuerza máxima, potencia, hipertrofia muscular o resistencia muscular) (Willardson, 2006). Parece existir cierta evidencia en cuanto al tiempo del intervalo de descanso, que va a depender del objetivo del entrenamiento, siendo recomendable descansos más duraderos (2-5 minutos) cuando los programas de entrenamiento están dirigidos hacia la fuerza máxima o la potencia y menos duraderos (30-90 segundos) cuando el objetivo de entrenamiento está orientado a la hipertrofia muscular (De Salles et al., 2009; Medicine, 2009; Willardson, 2006). Aunque, el tipo de recuperación no ha sido tan examinado por la investigación (Willardson, 2006), que si ha constatado con bastante evidencia, que la eficacia de la recuperación activa se basa principalmente en su efecto sobre la eliminación de la tasa de lactato en el organismo (Barnett, 2006). Por otro lado, se ha relacionado la recuperación de forma pasiva con un mejor rendimiento en ejercicio intermitente de alta intensidad, así como una mejor reoxigenación muscular (Dupont, Moalla, Guinhouya, Ahmaidi, y Berthoin, 2004).

La tecnología NIRS es un método de medición no invasivo de la saturación de oxígeno en sangre utilizando rayos de infrarrojo cercano (M. Ferrari, Muthalib, y Quaresima, 2011). Esta tecnología está siendo utilizada en el área de las ciencias del deporte con el fin de comprobar los cambios en la oxigenación de un tejido muscular concreto (Boushel et al., 2001; Marco Ferrari, Mottola, y Quaresima, 2004; Quaresima, Lepanto, y Ferrari, 2003). Bajo contextos de resistencia, las investigaciones que han utilizado la tecnología NIRS son abundantes (Pereira, Gomes, y Bhambhani, 2007). Entre ellas, Quaresima, Ferrari, Ciabattini, Canto, y Colonna, (1999) encontraron diferencias estadísticamente significativas en la saturación de oxígeno entre la pierna derecha e izquierda. Se han encontrado diferencias en la saturación de oxígeno muscular según el nivel de entrenamiento (Takaishi et al., 2002) y además que es mejorable con el entrenamiento (Jones, Hamilton, y Cooper, 2015). En cuanto al tipo de recuperación, Dupont, Moalla, Matran, y Berthoin, (2007) monitorizaron a 12 participantes durante la realización de 2 test Wingate separados por un descanso activo o pasivo y concluyó con una mejor reoxigenación y mejor rendimiento cuando se realizó un descanso de forma pasiva. Por otro lado, son escasos los estudios referentes al entrenamiento de la fuerza que hayan utilizado esta tecnología. En primer lugar, Tamaki, Uchiyama,

Tamura, y Nakano, (1994) monitorizaron la oxigenación muscular del bíceps braquial durante un ejercicio de curl de bíceps. Así, encontraron que cuando se aumentó las repeticiones realizadas respecto al total de repeticiones posibles (carácter del esfuerzo) con cargas submáximas se producía una restricción en el flujo sanguíneo hacia el musculo efector y, consecuentemente, una relativa falta de suministro de oxígeno (anoxia). Por otro lado, Azuma, Homma, y Kagaya (2000), detectaron diferencias en la saturación de oxígeno muscular cuando monitorizaron el vasto lateral y el recto femoral mediante NIRS durante el ejercicio de extensión de cuádriceps. Se sugirió que las diferencias entre estos dos músculos pueden estar relacionadas con el tipo de fibra en su composición, ya que el vasto lateral es reportado como abundante en fibras tipo I. También se investigó la respuesta hormonal y la saturación de oxígeno muscular en el vasto lateral durante la sentadilla a baja y alta intensidad, encontrando un aumento de la respuesta hormonal y un retraso de la reoxigenación muscular cuando se realizó el protocolo a baja intensidad (Hoffman et al., 2003). Finalmente, Tanimoto e Ishii (2005) encontraron una mejor reoxigenación en los sujetos que realizaron las repeticiones de extensión de cuádriceps a alta intensidad y una baja velocidad de ejecución. Resulta evidente a partir de estos estudios, que la cinética de oxigenación muscular medidos por NIRS dependen de los protocolos de entrenamiento, y pueden variar en los diferentes músculos. Además, aunque esta técnica ha sido utilizada extensivamente durante ejercicios dinámicos para aumentar el entendimiento de la oxigenación muscular, aunque durante el entrenamiento de fuerza es muy reducida. Por otro lado, las técnicas y tecnologías para la monitorización de las variables que influyen en el entrenamiento de fuerza, a menudo, no son compatibles con el gesto de análisis (Wilmore y Costill, 2007). Es por ello, que los métodos no invasivos pueden suponer una solución a dicho problema. La tecnología NIRS ha sido considerada idónea para la evaluación de diferentes mecanismos y fenómenos que aun deben ser comprendidos durante el entrenamiento de fuerza (Pereira et al., 2007). Así, este estudio tiene como objetivo comprobar los cambios en la oxigenación muscular del recto anterior durante la sentadilla según el tipo de recuperación.

MÉTODO

Participantes

Once varones entrenados participaron voluntariamente en este estudio. Todos los participantes tenían al menos dos años de experiencia en entrenamiento de fuerza, no presentaban ningún problema de salud y poseían una fuerza normalizada en el ejercicio de sentadillas superior a 1,5, es decir, podían realizar una repetición con una carga que suponía el 150% de su peso corporal. Los participantes fueron informados de la naturaleza del estudio y se les pasó un consentimiento informado. Los sujetos, también se mantuvieron 24 horas previas a la intervención sin consumir alcohol, cafeína y sin realizar actividad física de alta intensidad. Este estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Murcia. En la tabla 1 se pueden observar los datos antropométricos, fisiológicos y de valoración de la fuerza medidos durante la sesión de registro. Estos datos se obtuvieron con un tallímetro de pared (SECA, Hamburgo, Alemania) y mediante un dispositivo de composición corporal modelo BC-601 (TANITA, Tokio, Japón).

Tabla 1. Datos antropométricos, fisiológicos y valoración de la fuerza de los sujetos participantes

Sujeto	Valoración Fuerza		Antropométrico			Fisiológico				
	Media 1RM	FN (Ratio)	Talla	Peso	IMC	MM (en %)	MM (en kg)	MG (en %)	MG (en kg)	A (en %)
1	110	1,56	1,70	70,50	24,39	82	59,00	14	9,08	67
2	135	1,76	1,76	76,50	24,70	84	74,40	12	10,17	63
3	110	1,90	1,71	57,80	19,77	76	51,40	20	13,63	59
4	130	1,62	1,73	80,20	26,80	81	59,50	15	11,14	61
5	140	1,94	1,77	72,00	22,98	84	67,20	11	9,09	65
6	130	1,82	1,72	71,60	24,20	79	66,20	17	10,67	59
7	120	1,53	1,84	78,40	23,16	82	73,60	14	12,51	69
8	140	1,87	1,79	75,00	23,41	74	64,10	18	8,42	63
9	135	1,76	1,77	76,70	24,48	87	53,00	7	4,53	50
10	180	1,93	1,89	93,50	26,18	76	67,60	20	15,64	58
11	190	2,02	1,74	94,20	31,11	76	60,50	21	16,50	56
Media	138,18	1,79	1,77	76,95	24,65	80	63,32	15	11,03	61
Desviación	25,52	0,16	0,06	10,25	2,82	0,04	7,14	0,04	3,64	0,03

Nota. 1RM: 1 Repetición Máxima; FN: Fuerza normalizada (ratio entre el peso y el 1RM en el ejercicio de sentadilla); IMC: Índice de masa corporal; MM: Masa magra; MG: Masa grasa; A: Agua.

Procedimiento

Los sujetos asistieron a una única vez al laboratorio, donde fueron sometidos a la realización de 4 series de sentadilla en máquina Smith (Technogym, Cesena, Italia) hasta los 90º de flexión (rodilla) con parada completa, con el objetivo de eliminar la posibilidad de rebote y para el peso suplementario se utilizaron discos calibrados de 2,5, 5, 10 y 20 kg (Salter, Barcelona, España). Durante los ensayos experimentales, la velocidad media propulsiva (VMP) y la saturación de oxígeno muscular fueron continuamente monitorizadas respectivamente mediante un dispositivo inercial WIMU (RealTrack Systems, Almería, España) con una frecuencia de muestro de 1000Hz y el dispositivo con tecnología NIRS MOXY (MOXY NIRS Monitors; Hutchinson, Minnesota, EEUU). El dispositivo inercial WIMU ha sido utilizado para la monitorización de la VMP mediante acelerometría. La validez y fiabilidad de este dispositivo está pendiente de publicación. El dispositivo inercial se fijó en el centro de la barra mediante cinta adhesiva para evitar la influencia del ruido producido por los railes que guían la barra en la medición de los datos. Los participantes fueron repartidos aleatoriamente en 3 grupos experimentales. El primer grupo experimental fue el grupo control (GC) realizó las 4 series de sentadillas con recuperación pasiva (sentado) durante 2 minutos entre series. El segundo grupo experimental, denominado grupo activa (GA) realizó las 4 series de sentadillas con recuperación activa (realizaron desplazamientos andando por la sala) durante el tiempo en el que su saturación de oxígeno muscular (SmO2) en el recto anterior se estancara o encontrara la estabilización durante al menos 5 segundos. El tercer grupo experimental, grupo pasiva (GP) realizó las 4 series de sentadillas con recuperación pasiva bajo el mismo protocolo expuesto para el GA. Todos los grupos experimentales realizaron las sentadillas bajo las mismas intensidades, volúmenes, y protocolos, solo se distinguían en el tipo de recuperación. La recuperación de forma activa para esta investigación fue andar por la sala, ya que la gran implicación muscular y cardiorespiratoria que conlleva la sentadilla supone una fatiga grande como para llevarse a cabo al 40% VO2max como lo hacen muchos investigadores (Dupont et al., 2004). La determinación del estancamiento del SmO2 se realizó a tiempo real y se determinó en el diseño del estudio a raíz de un anterior estudio piloto donde se observó que cuando la curva de SmO2 alcanzaba una estabilización de entre 3,4 o 5 segundos los valores de esta no aumentaron significativamente, por lo que este fenómeno de estabilización se consideró como el final de la reoxigenación.

Familiarización y test de 1 RM

El ejercicio de sentadilla se realizó siguiendo las siguientes especificaciones: (i) colocar el cuerpo debajo de la máquina Smith, (ii) coger la barra empleando un agarre prono, con una separación ligeramente mayor que la anchura de los hombros (posición cómoda), (iii) la barra descansa sobre el trapecio y los pies se separan a la anchura de los hombros (sin rotación), (iv) se mantiene la espalda en su curvatura normal durante todo el movimiento a la vez que la mirada al frente. (v) flexión de las rodillas a velocidad controlada hasta alcanzar un ángulo de 90º (se determinó a cada sujeto mediante

soportes laterales previamente a la valoración del 1RM), (vi) sin balancear, extender a máxima velocidad hasta la posición inicial. Los sujetos fueron familiarizados con el procedimiento y con los instrumentos de medida previamente a la medición. Este ejercicio se eligió por ser dinámico y multiarticular, y por su utilización tanto a nivel de salud como en rendimiento deportivo, además se monitorizó el recto anterior de la pierna dominante, principalmente, porque no existen datos de esta musculatura en la literatura y tiene una participación importante en la sentadilla. Para la medición del 1RM se realizó un calentamiento general (5 min en cicloergómetro a intensidad moderada) y un calentamiento específico (3 series de 8 repeticiones al 40% del 1RM con las características mencionadas anteriormente). La monitorización de la velocidad media propulsiva (VMP) nos permitió hacer una estimación del 1RM de cada uno de los sujetos desde la primera repetición, por lo que a partir de la VMP de las dos últimas repeticiones del calentamiento se estimó su 70% del 1RM. A partir de esta estimación se fue haciendo un incremento progresivo de cargas hasta alcanzar una carga en la que su VMP sea alrededor al 80% del 1RM ($0,67 \pm 0,02$ m/s) en el ejercicio de sentadilla. Se realizó un incremento progresivo hasta alcanzar el 80% 1RM debido a que a partir de este porcentaje, el 100% de la ejecución del movimiento está dentro de la fase propulsiva y la estimación del 1RM tiene un error muy bajo (Sanchez-Medina, Perez, y Gonzalez-Badillo, 2010). Una vez que se determinó el 1RM, se aplicó el 65% y cuando su oxigenación muscular se encontraba estabilizada comenzó la monitorización de la sentadilla.

Monitorización por espectroscopía de infrarrojo cercano

La oxigenación muscular del recto anterior (RA) fue medida continuamente y a tiempo real mediante espectroscopia de infrarrojo cercano "Near-Infrared Spectroscopy" (NIRS) mediante el dispositivo moxy. La tecnología NIRS ha obtenido una buena fiabilidad intersesión (Scott, Slattery, Sculley, Lockie, y Dascombe, 2014). El dispositivo fue colocado en el vientre del RA, exactamente, el borde inferior del dispositivo, quedó a 15 cm de la grieta de la rótula (figura 1). Antes de colocar el dispositivo se rasuró la zona, se envolvió con papel transparente para eliminar el contacto directo con la piel y así evitar que contaminantes como el sudor pudieran interferir en la señal y tras la fijación del dispositivo con una cinta se envolvió con una banda oscura para prevenir la contaminación de luz ambiente. La señal NIRS penetra en la piel, en la grasa subcutánea y en el músculo subyacente y así es absorbida o dispersada dentro del tejido con el fin de medir la oxigenación del músculo (Dupont et al., 2004). Diversos estudios han reportado que el tejido adiposo tiene un efecto en la propagación de la frecuencia de la luz en el músculo (Yoshimatsu et al., 2013). En el presente estudio los sujetos estaban bien entrenados y familiarizados con la sentadilla y poseían un porcentaje de masa grasa de $15,5 \pm 4\%$. Consecuentemente, como la profundidad de penetración de la señal NIRS es sobre 2-3 cm, se supone que el espesor del tejido adiposo era lo suficientemente pequeño como para que la señal NIRS reflejara los cambios que ocurrieron durante la oxigenación en el recto anterior, en este caso. Durante las mediciones, los datos fueron muestreados a 4Hz y transferidos directamente mediante tecnología inalámbrica ANT+ al dispositivo inercial (wimu) mediante tecnología inalámbrica wifi a un ordenador personal para el visualizado en tiempo real, el almacenamiento y análisis mediante el software (Quiko, RealTrack, Almería). Los cambios en la concentración [HbO₂] y [HHb] se midieron utilizando el índice de saturación de los tejidos (ETI o TSI) al que denominaremos como saturación muscular de oxígeno (SmO₂) que se calculó automáticamente por el dispositivo moxy, para representar la concentración relativa de HbO₂ en relación con la cantidad total de hemoglobina como un parámetro absoluto expresado en porcentaje.



Figura 1. Posición y protocolo de colocación del dispositivo NIRS

Una vez realizado el registro se analizaron y definieron los distintos fenómenos que se producían en las curvas de SmO₂ (figura 2).

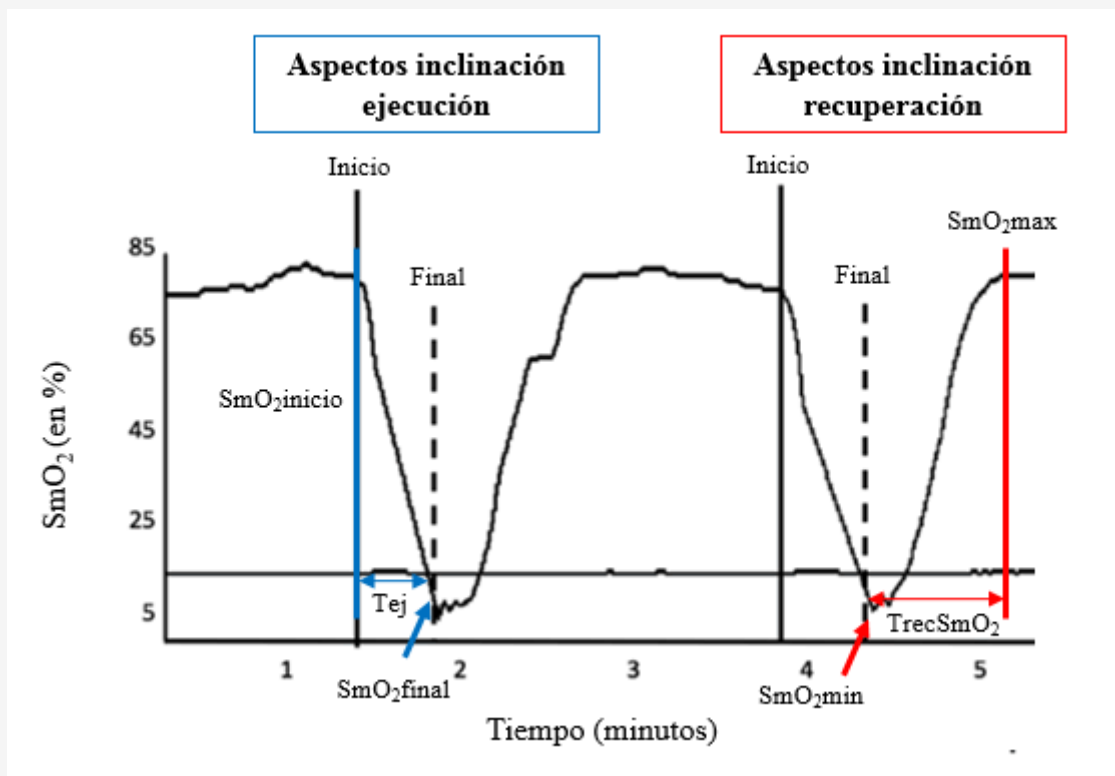


Figura 2. Fenómenos utilizados en el cálculo de las variables objeto de estudio

Tiempo de reoxigenación (TrecSmO2): Esta variable describe el intervalo de tiempo (en segundos) en el que la saturación de oxígeno muscular vuelve a los niveles de estabilización (5 segundos) tras la caída de su estado basal (figura 2).

Inclinación de la ejecución (IE): Esta variable explica la pérdida o caída de la saturación de oxígeno muscular durante la ejecución de una serie de repeticiones en relación con el transcurso del tiempo (en segundos) (figura 2). Se utilizó el cálculo matemático de la inclinación para expresar la pendiente en la gráfica de SmO2 por su sencillez en su cálculo e interpretación. La fórmula para calcular dicha variable se expone en la figura 3, donde SmO2 inicio es la saturación de oxígeno muscular que el sujeto tendría al inicio de la ejecución de la serie, SmO2final es la saturación de oxígeno muscular que el sujeto tendría al finalizar la ejecución de la serie, tEj es el tiempo en completar la ejecución de la serie y tSmO2=0 es el tiempo que emplea el sujeto desde el inicio de la ejecución hasta que la saturación de oxígeno es cero:

$$\frac{\text{SmO}_2\text{inicio} - \text{SmO}_2\text{final}}{\text{tEj o tSmO}_2=0}$$

Figura 3. Fórmula para el cálculo de la inclinación de la ejecución utilizada en esta investigación.

Inclinación de la recuperación (IR): Esta variable explica la recuperación de la saturación de oxígeno muscular tras completar la ejecución de una serie de repeticiones en relación al tiempo de reoxigenación (en segundos) (figura 2). La fórmula para calcular dicha variable se expone en la figura 4, donde SmO2max es la saturación de oxígeno máxima que recupera el sujeto y mantiene durante 5 segundos, SmO2min es la saturación de oxígeno mínima que alcanza el sujeto en la fase 1 o fase 2 y TrecSmO2 es el tiempo de reoxigenación explicado anteriormente:

$$\frac{SmO_2max - SmO_2min}{TrecSmO_2}$$

$$TrecSmO_2$$

Figura 4. Fórmula para el cálculo de la inclinación de la recuperación utilizada en esta investigación.

Análisis de datos

La distribución de normalidad de los datos fue realizada mediante la prueba Shapiro-Wilk. Como algunas variables poseían una distribución no normal se utilizó la prueba no paramétrica de Anova de Kruskal Walish para comprobar las diferencias entre los grupos de las variables objeto de estudio. Para identificar las relaciones entre la inclinación media de la fase de ejecución y la inclinación media de la fase de reoxigenación así como la relación entre la variable entropía y la pérdida de velocidad media propulsiva se utilizó la prueba de correlación de spearman. Los resultados se expresan como medias y desviación estándar, y con gráficos de cajas de bigotes y de dispersión. Los datos fueron tratados para el registro, transformación de variables, selección de casos, etc. usando SPSS v23.0 (IBM corporation, Somers, USA) y para la aplicación de las pruebas estadísticas y el desarrollo de los gráficos se utilizó GraphPad Prim v. 7.0 (GraphPad Software, California, USA).

RESULTADOS

La figura 5 muestra un ejemplo de la monitorización de la SmO₂ de un sujeto durante la realización del ejercicio de sentadilla en el estímulo propuesto bajo la recuperación con intervalos de descanso de forma pasiva durante 2 min. El tiempo de reoxigenación y las inclinaciones reportadas por la gráfica durante la ejecución y la recuperación se muestran en la tabla 2. Se encontraron diferencias significativas entre el GC y el GA en todas las variables analizadas (p<0.001). Se examinó la relación existente entre las variables IE e IR (Figura 6). Se comprobó que existe una relación inversamente proporcional con un valor de r= -0.9585 (p<0.0001).

Tabla 2. Medias y desviación estándar para los valores de las variables TrecSmO₂, IE e IR durante el ejercicio de sentadilla con intervalos de descanso de forma activa y pasiva

	TrecSmO ₂ (segundos)	IE	IR
GC	94,13 ± 7,97	4,24 ± 0,37	0,73 ± 0,10
GA	77,94 ± 11,08*	3,65 ± 0,40*	0,93 ± 0,15*
GP	92,92 ± 30,91	4,13 ± 0,72	0,82 ± 0,30
Total	87,91 ± 19,18	4,00 ± 0,55	0,83 ± 0,20

* Existen diferencias significativas respecto a GC con P< 0.001.

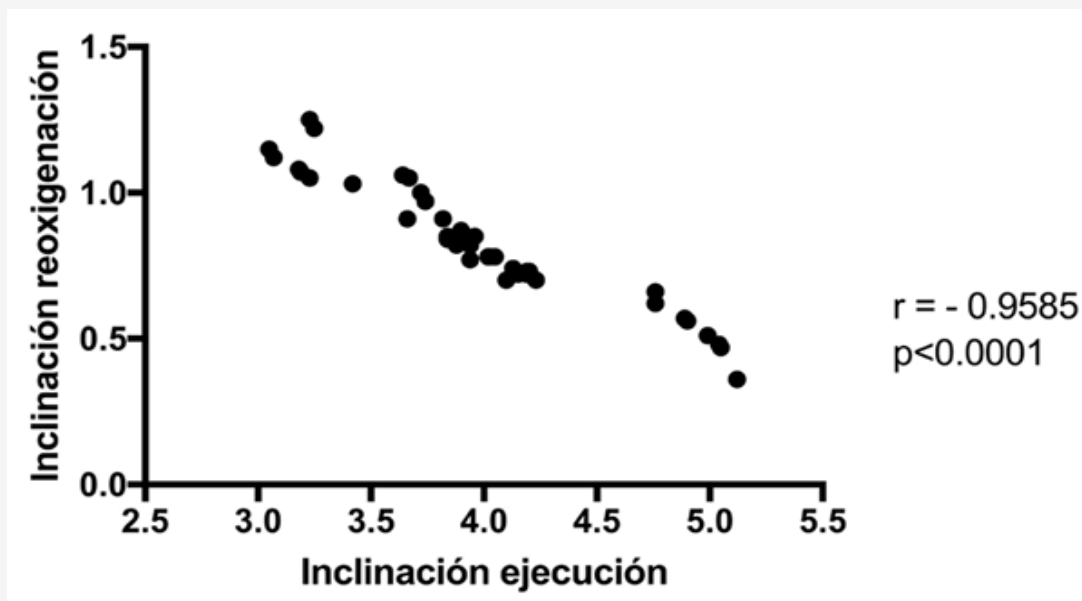


Figura 6. Gráfico de dispersión de la correlación entre IE e IR

En la figura 5 se muestra la monitorización típica de los cambios en la oxigenación durante 4 series de 10 repeticiones al 65% del 1RM con un descanso entre series de 2 minutos. La saturación de oxígeno muscular en el recto anterior comenzó a decrecer en el inicio del ejercicio hasta unos segundos después de finalizar la serie volviendo a los niveles basales con el paso del tiempo de recuperación (en este caso de forma pasiva).

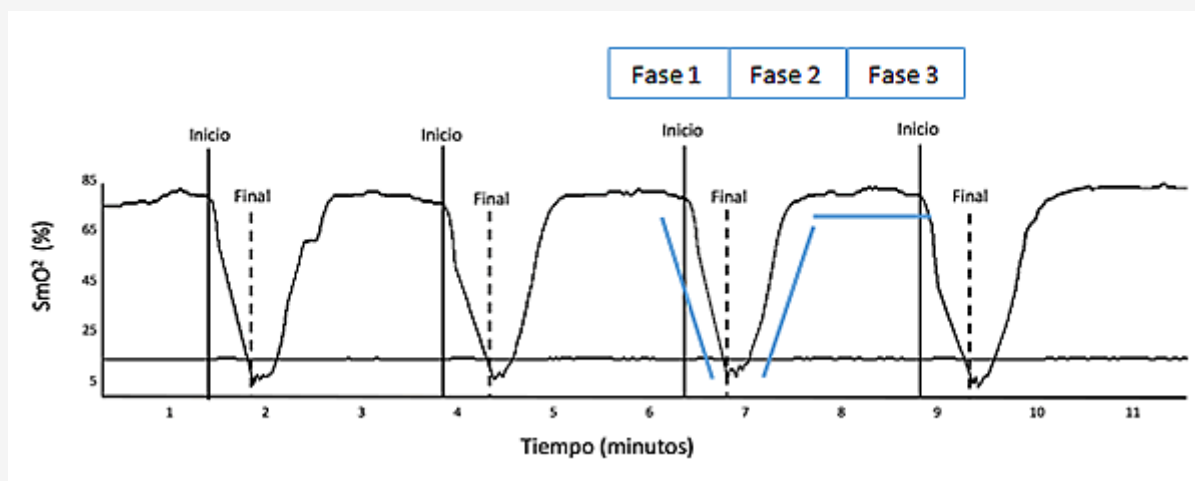


Figura 5. Monitorización típica de la saturación de oxígeno muscular de un sujeto

La saturación decae tras la realización de cada serie hasta entrar en anoxia y vuelve a los niveles basales antes de terminar el intervalo de descanso propuesto (establecido en 2 minutos). Se observa como la gráfica de SmO₂ del sujeto sigue un patrón similar en la desoxigenación y reoxigenación tras la realización de series. Así podemos definir tres fases perfectamente diferenciadas: (i) la fase de ejecución (primera fase), donde se observa una pendiente de inclinación descendente de 2,79% de media en todos los casos, (ii) una pendiente de recuperación (segunda fase) o reoxigenación del tejido muscular monitorizado donde se observa una pendiente de inclinación ascendente de 1,23% y (iii) una fase de estabilidad o mantenimiento del nivel basal (tercera fase) que se mantiene casi constante hasta el inicio de la nueva serie.

En la tabla 3 se muestran las diferencias de la PVMP en función del conjunto de repeticiones realizado.

Tabla 3. PVMP reportada en las diferentes series realizadas

Serie	PVMP (%)
1*	21,6±0,4
2*	23,4±1,1
3*	27±2,2
4*	27±2,2
Total	30,2±2,3

* Las diferencias entre grupos son estadísticamente significativas $P < 0.001$.

Como podemos observar en la tabla 3, existe un aumento del valor medio del porcentaje de PVMP conforme aumenta la serie realizada. Cuando se examinaron estas diferencias más específicamente en el Post-Hoc se encontraron diferencias entre todas las comparaciones excepto entre la serie 1 y 2.

DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue comparar las variables en SmO₂ entre GC, GA, y GP. Se hipotetizó que TrecSmO₂ podría ser menor para GA respecto a GC y GP, y que IE e IR son menores y mayores respectivamente para GA respecto a GC y GP. Los resultados obtenidos confirman parcialmente esta hipótesis donde GA fue diferente respecto al resto de grupos aunque de forma significativa solo respecto a GC. TrecSmO₂ fue significativamente menor ($p < 0.001$) para GA respecto a GC (figura 9). Consecuentemente IR fue mayor ($p < 0.001$) en GA respecto a GC (figura 8). Evidentemente, conforme a la correlación obtenida entre IE e IR, IE fue mayor ($p < 0.001$) en GA respecto a GC (figura 7).

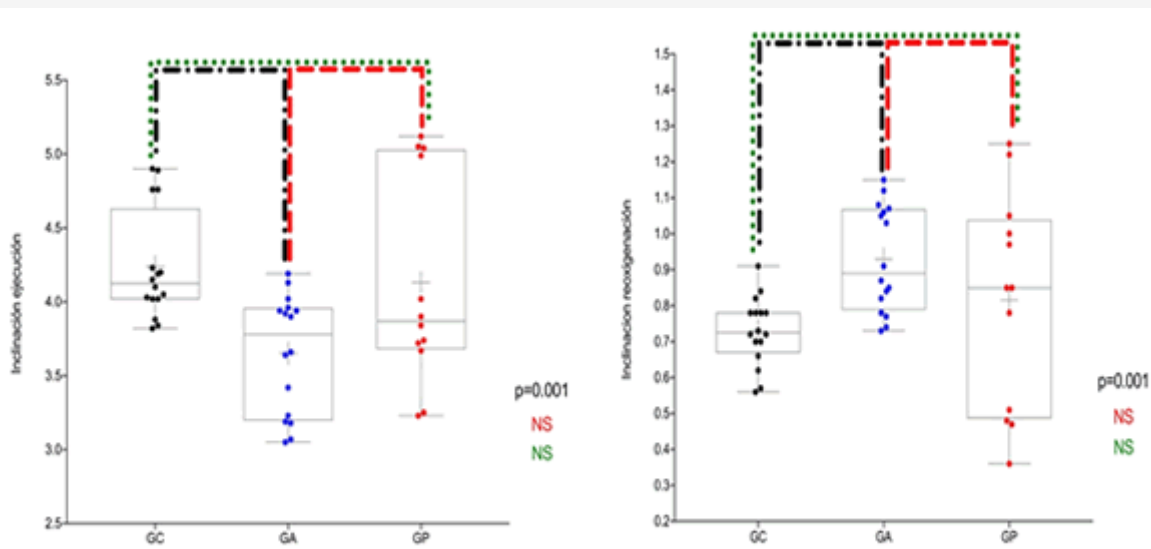


Figura 7. Gráfico de cajas y bigotes de IE para GC, GA y GP / **Figura 8.** Gráfico de cajas y bigotes de IR para GC, GA y GP

Como se puede observar en la figura 7 aunque GA solo obtuvo diferencias estadísticamente significativas respecto a GC se aprecia una diferencia sustancial respecto a GP en todas las variables objeto de estudio. Uno de los impedimentos para alcanzar la diferencia de forma estadística podría ser la dispersión del conjunto de datos en GP que se puede apreciar de forma clara en los gráficos de cajas de bigotes de las figuras 7, 8 y 9. También puede deberse a una pequeña diferencia del nivel de entrenamiento de los sujetos, aunque, como podemos comprobar en la tabla 1, esta diferencia no parece importante. En esta investigación se realizaron 4 series de sentadillas, pero, no hubo diferencias significativas entre series

en las variables de análisis de la cinética de oxigenación muscular, aunque si se comprobaron diferencias significativas en cuanto a la PVMP. En este sentido, creemos que este fenómeno puede ser clave para la comprensión de muchos aspectos relacionados con la fatiga neuromuscular. La PVMP fue validada por Sánchez-Medina y González-Badillo, (2011) como indicador de fatiga neuromuscular durante el entrenamiento de fuerza. Por otro lado, la saturación de oxígeno muscular, por concepto, podría tratarse de un factor de la fatiga, pero en este caso, no sigue una tendencia a disminuir con el paso de las series. Por lo que, nosotros suponemos dos cosas: (i) La saturación de oxígeno muscular va a describir una fatiga únicamente de unos requerimientos de energía concretos (que utilizan oxígeno), y/o (ii) puede suponer un indicador de la fuente de energía utilizada durante el entrenamiento, incluso indicador de entrenar en anoxia muscular, que puede suponer incluso una causa de mayor proporción de fibras tipo I (Tamaki et al., 1994)

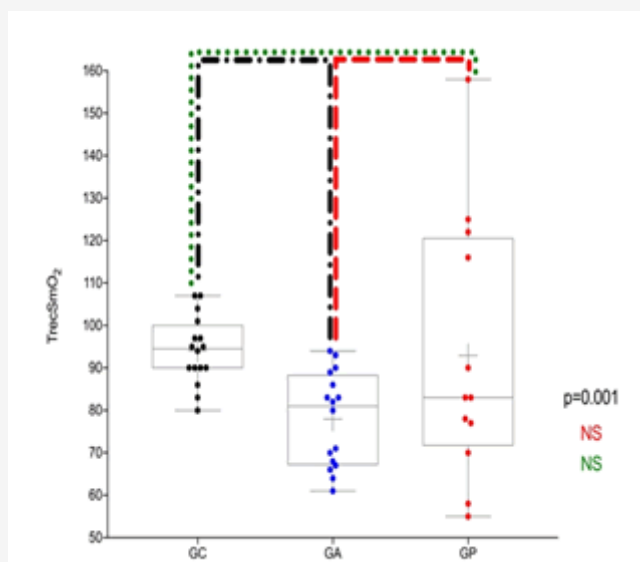


Figura 9. Gráfico de cajas y bigotes de TrecSmO2 para GC, GA y GP

Por otra parte, se produjo una mayor desoxigenación (IE) con descanso de forma pasiva respecto al descanso de forma activa y al contrario durante la reoxigenación. Esta observación, nos indica que para que exista una mejor reoxigenación más lenta debe ser la desoxigenación. Esto puede suponer información importante cuando entre los objetivos del entrenamiento se persigue el control de una supuesta fatiga neuromuscular. En cuanto al tipo de recuperación, los resultados del presente estudio concuerdan, en principio, con el apoyo de la literatura sobre la recuperación de forma activa en contextos de rendimiento (Bogdanis, Nevill, Lakomy, Graham, y Louis, 1996). Aunque, un estudio de (Dupont et al., 2004) encontró una mejora del rendimiento en el tiempo hasta la extenuación cuando se realizó ejercicio intermitente de alta intensidad con intervalos de descanso de forma pasiva en comparación al descanso de forma activa. Sin embargo, este estudio se centra en la comparación del tipo de intervalo de descanso durante el entrenamiento de fuerza y centrándonos en una musculatura específica a analizar (RA). Una explicación a los resultados obtenidos en esta investigación podría deberse a la pequeña estimulación provocada por la realización del descanso de forma activa que a su vez causará una mejor irrigación y por ende una mejor oxigenación. En cuanto a los mejores tiempos de reoxigenación obtenidos por el grupo que realizó un descanso de forma activa, gracias a la correlación obtenida entre IE e IR donde se determina que la recuperación pasiva produce una mayor desoxigenación produciendo así una precoz fatiga que con recuperación activa y resultando en menores tiempos de reoxigenación, explicación que coincide con otros estudios aunque en contextos fuera del entrenamiento de fuerza (Dupont et al., 2004; Remijn y Kojima, 2010). Parece interesante añadir que los tiempos de reoxigenación producidos por los sujetos que realizaron un descanso de forma activa ($87,91 \pm 19,18$) no han superado 1,5 minutos en la realización del ejercicio de sentadilla, que ya por constructo supone un ejercicio con una gran implicación física. Si en este mismo sentido, consideramos la oxigenación muscular como un factor o indicador de la fatiga, sería interesante replantear los tiempos del intervalo de recuperación para el entrenamiento de fuerza o incluso su determinación de forma individual.

En conclusión, los principales hallazgos de esta investigación fueron que TrecSmO2 fue significativamente inferior para los sujetos que realizaron un descanso de forma activa y que IE e IR fueron menores y mayores respectivamente. Esto parece ser debido a que una menor desoxigenación (IE) va a resultar una más rápida reoxigenación, como ha determinado la

correlación entre IE e IR. Bajo estos resultados, la monitorización de la saturación de oxígeno muscular para el control del entrenamiento, podría resultar una herramienta útil para identificar la utilización de oxígeno de una musculatura determinada y sus posibles implicaciones como el control de un factor fatigante o la entrada en anoxia de dicha musculatura. Además, teniendo en cuenta la variable TrecSmO₂, la realización de una recuperación activa durante el entrenamiento de fuerza, bajo este tipo de estímulo, va a suponer una mejor reoxigenación a nivel muscular. Es preciso contrastar estos resultados con otros estudios que utilicen la tecnología NIRS para medir la oxigenación muscular durante el entrenamiento de fuerza bajo diferentes estímulos, de forma concurrente con otros tipos de medición y tecnología, e incluso bajo diferentes niveles de entrenamiento para contrastarlos entre si. Además creemos que la tecnología NIRS supone un método idóneo para el estudio de la oxigenación y fisiología muscular gracias a su composición no invasiva y así poder aportar más sobre la oxigenación muscular y su relación con la fatiga muscular o local.

REFERENCIAS

- Azuma, K., Homma, S., y Kagaya, A. (2000). Oxygen supply-consumption balance in the thigh muscles during exhausting knee-extension exercise. *Journal of Biomedical Optics*, 5(1), 97. <http://doi.org/10.1117/1.429974>
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. *Sports Medicine*, 9(36), 781-796.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. A., Graham, C. M., y Louis, G. (1996). Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(5), 461-469. <http://doi.org/10.1007/BF02337727>
- Boushel, R., Langberg, H., Olesen, J., Gonzales-Alonzo, J., Bulow, J., y Kjaer, M. (2001). Monitoring tissue oxygen availability with near infrared spectroscopy (NIRS) in health and disease. *Scandinavian Journal of Medicine y Science in Sports*, 11(4), 213-222.
- Salles, B. F., Simão, R., Miranda, F., da Silva Novaes, J., Lemos, A., y Willardson, J. M. (2009). Rest Interval between Sets in Strength Training: *Sports Medicine*, 39(9), 765-777. <http://doi.org/10.2165/11315230-000000000-00000>
- Dupont, G., Moalla, W., Guinhouya, C., Ahmaidi, S., y Berthoin, S. (2004). Passive versus Active Recovery during High-Intensity Intermittent Exercises: *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 36(2), 302-308. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113477.11431.59>
- Dupont, G., Moalla, W., Matran, R., y Berthoin, S. (2007). Effect of Short Recovery Intensities on the Performance during Two Wingate Tests: *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 39(7), 1170-1176. <http://doi.org/10.1249/mss.0b013e31804c9976>
- Ferrari, M., Mottola, L., y Quaresima, V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Canadian journal of applied physiology*, 29(4), 463-487.
- Ferrari, M., Muthalib, M., y Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1955), 4577-4590. <http://doi.org/10.1098/rsta.2011.0230>
- Hoffman, J. R., Im, J., Rundell, K. W., Kang, J., Nioka, S., Speiring, B. A., ... Chance, B. (2003). Effect of Muscle Oxygenation during Resistance Exercise on Anabolic Hormone Response. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 35(11), 1929-1934. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000093613.30362.DF>
- Iglesias-Soler, E., Carballeira, E., Sánchez-Otero, T., Mayo, X., y Fernández-del-Olmo, M. (2014). Performance of Maximum Number of Repetitions With Cluster-Set Configuration. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 637-642. <http://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0246>
- Jakicic, J. M., Clark, K., Coleman, E., Donnelly, J. E., Foreyt, J., Melanson, E., ... Volpe, S. L. (2001). Appropriate strategies for intervention weight loss and prevention of weight regain for adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(12), 2145-2156. <http://doi.org/10.1097/00005768-200112000-00026>
- Jones, B., Hamilton, D. K., y Cooper, C. E. (2015). Muscle oxygen changes following sprint interval cycling training in elite field hockey players. *PLoS one*, 10(3), e0120338.
- Kraemer, W., Noble, B., Clark, M., y Bruce, C. (1987). Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *International Journal of Sports Medicine*, 4(8), 247-52.
- López-Gullón, J. M., Díaz, A., Berengüi Gil, R., Morales Baños, V., Torres-Bonete, M. D., Martínez-Moreno, A., y García-Pallarés, J. (2011). Factores físicos y psicológicos predictores del éxito en lucha olímpica. *Revista de Psicología del Deporte*, 20(2), 0573-588.
- Medicine, A. C. of S. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.*, 3(41), 687-708.
- Mohamad, N., Cronin, J., y Nosaka, K. (2012). The effect of aerobic exercise during the intersit rest periods on kinematics, kinetics and lactate clearance of two resistance loading schemes. *J Strength Cond Res*, 1(26), 73-79.
- Pereira, M. I., Gomes, P. S., y Bhambhani, Y. N. (2007). A brief review of the use of near infrared spectroscopy with particular interest in resistance exercise. *Sports medicine*, 37(7), 615-624.
- Quaresima, V., Ferrari, M., Ciabattini, M., Canto, U., y Colonna, R. (1999). Oxygenation kinetics of different leg muscle groups measured during a 100-m sprint run by a portable near-infrared photometer. *Ital J Sport Sci*, 6(1), 20-3.
- Quaresima, V., Lepanto, R., y Ferrari, M. (2003). The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(1), 1-13.
- Remijn, G. B., y Kojima, H. (2010). Active versus passive listening to auditory streaming stimuli: a near-infrared spectroscopy study. *Journal of Biomedical Optics*, 15(3). Recuperado a partir de ://WOS:000280642900048

- Rhea, M., Alvar, B., y Burkett, L. (2002). Single versus multiple sets for strength: A meta-analysis to resolve the controversy. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(1), 485-493.
- Sánchez-Medina, L., y González-Badillo, J. J. (2011). Velocity Loss as an Indicator of Neuromuscular Fatigue during Resistance Training. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 43(9), 1725-1734. [http:// doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880](http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880)
- Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., y Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Importance of the Propulsive Phase in Strength Assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(02), 123-129. [http:// doi.org/10.1055/s-0029-1242815](http://doi.org/10.1055/s-0029-1242815)
- Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., Lockie, R. G., y Dascombe, B. J. (2014). Reliability of telemetric electromyography and near-infrared spectroscopy during high-intensity resistance exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(5), 722-730.
- Takaishi, T., Sugiura, T., Katayama, K., Sato, Y., Shima, N., Yamamoto, T., y Moritani, T. (2002). Changes in blood volume and oxygenation level in a working muscle during a crank cycle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(3), 520-528.
- Tamaki, T., Uchiyama, S., Tamura, T., y Nakano, S. (1994). Changes in muscle oxygenation during weight-lifting exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(6), 465-469. [http:// doi.org/10.1007/BF00599514](http://doi.org/10.1007/BF00599514)
- Tanimoto, M., e Ishii, N. (2005). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1150-1157. [http:// doi.org/10.1152/jappphysiol.00741.2005](http://doi.org/10.1152/jappphysiol.00741.2005)
- Willardson, J. M. (2006). A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 20(4), 978-984.
- Wilmore, J. H., y Costill, D. L. (2007). Fisiología del esfuerzo y del deporte. Editorial Paidotribo. Barcelona.
- Woods, C. T., McKeown, I., Haff, G. G., y Robertson, S. (2016). Comparison of athletic movement between elite junior and senior Australian football players. *Journal of Sports Sciences*, 34(13), 1260-1265. [http:// doi.org/10.1080/02640414.2015.1107185](http://doi.org/10.1080/02640414.2015.1107185)
- Yoshimatsu, T., Yoshida, D., Shimada, H., Komatsu, T., Harada, A., y Suzuki, T. (2013). Relationship between near-infrared spectroscopy, and subcutaneous fat and muscle thickness measured by ultrasonography in Japanese community-dwelling elderly. *Geriatrics y Gerontology International*, 13(2), 351-357.