

Article

Oxigenación Localizada del Tejido Muscular Durante Ejercicios Dinámicos con Vibración Corporal Total

Daniel W Robbins¹, Clare Elwell², Alfonso Jimenez¹ y Mark Goss-Sampson¹¹Centre for Sports Science and Human Performance. University of Greenwich, Chatham Maritim, Kent, UK.²Department of Medical Physics and Bioengineering. University College London, UK.

RESUMEN

A pesar del incrementado uso de la vibración corporal total durante el ejercicio, la comprensión del rol exacto de la vibración y de los mecanismos fisiológicos que respaldan su utilización, es limitada. Un aspecto importante del análisis es la utilización de oxígeno; sin embargo, pocos estudios han considerado los parámetros de oxigenación tisular, particularmente durante ejercicios dinámicos con vibración corporal total (WBV). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de adicionar WBV durante el ejercicio de elevaciones de talón y valorar los cambios en los parámetros de oxigenación del gastrocnemio lateral utilizando Espectroscopia Cercana al Infra Rojo (NIRS). Veinte sujetos saludables completaron diez series alternadas de 15 repeticiones de elevaciones de talones (vibración vs. sin vibración). Se recolectaron datos sincronizados sobre la oxigenación y el movimiento antes del ejercicio para determinar los niveles basales, durante el ejercicio y durante los 20 s del período de recuperación post ejercicio. Tanto la condición que incluyó la vibración como la que no incluyó vibración provocaron un incremento característico la deoxihemoglobina y la reducción en la oxihemoglobina, la hemoglobina total, el índice de oxigenación tisular y en el índice normalizado de hemoglobina tisular que son indicativos de la hipoxia local del tejido. Sin embargo, la adición de vibración provocó una reducción significativamente menor ($p < 0.001$) en las concentraciones de oxihemoglobina, de hemoglobina total, en el índice normalizado de hemoglobina tisular, aunque no se observaron diferencias en la deoxihemoglobina. Estos hallazgos sugieren que la adición de vibración al ejercicio no incrementa el costo del ejercicio para el músculo gastrocnemio lateral, pero atenúa la reducción en los parámetros de oxigenación muscular local, resultando en un potencial incremento del flujo sanguíneo hacia la pantorrilla o en una respuesta vasoespástica en los pies. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para establecer los mecanismos subyacentes a estos hallazgos.

Palabras Clave: vibración, NIRS, oxigenación, gastrocnemio, elevaciones de talones

INTRODUCCIÓN

En recientes años se ha observado un incremento en la popularidad de la vibración corporal total (WBV) como modalidad de ejercicio. Como consecuencia se ha incrementado la necesidad de obtener un mayor conocimiento de los efectos de la adición de la vibración al ejercicio. Los efectos de la WBV sobre el sistema músculo-esquelético han sido sujeto de un gran

volumen e investigaciones en la última década y los diversos hallazgos han sido resumidos en recientes revisiones de la literatura (Cochrane, 2011; Rittweger, 2010; Rauch, 2009). Los estudios acerca de los efectos de la vibración pueden dividirse esencialmente en dos categorías, aquellos sobre los efectos de la vibración en tareas ocupacionales y aquellos sobre vibración como modalidad de ejercicio. Característicamente, el estudio de la vibración en el ámbito ocupacional se lleva a cabo utilizando vibraciones de mucha mayor frecuencia (> 100 Hz) con exposiciones de larga duración; e.g., horas por día (Griffin, 1990). La vibración con propósitos de ejercicio es de mucha menor duración; e.g., minutos en pocos días a la semana, con menores frecuencias y amplitudes (Dolny and Reyes, 2008). Hasta la fecha, pocos estudios han investigado los efectos de la WBV sobre el flujo sanguíneo tisular y los parámetros de oxigenación. Nakamura et al. (1996) fue uno de los primeros investigadores en reportar que la vibración durante el ejercicio provocaba una respuesta del flujo sanguíneo diferente a la vibración ocupacional, indicando que el flujo sanguíneo se incrementaba en los dedos de la mano. Los estudios en los que se utilizó *laser Doppler* han mostrado que la aplicación de vibración local (Maloney-Hinds et al., 2008) como de WBV durante ejercicios isométricos en los que se debía soportar el peso corporal (Lohman III et al. 2008) provocaban un incremento significativo en el flujo sanguíneo cutáneo sin una vasoconstricción subsiguiente durante el período de recuperación. Kerschman-Schindl et al. (2001) reportaron un incremento del 100% en el flujo sanguíneo en la arteria poplítea (desde 6.5 a 13 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$), mientras que Lythgo et al. (2009) hallaron un incremento en la velocidad media de las células sanguíneas en la arteria femoral luego de WBV. Sin embargo, Hazell et al. (2008) no observaron diferencias en la arteria femoral luego de WBV y Button et al. (2007) hallaron que la vibración local no afectó el flujo sanguíneo.

Cardinale et al. (2007) investigaron los efectos de la vibración durante una sentadilla estática sobre la oxigenación del vasto lateral y del gastrocnemio; sin embargo, no se obtuvieron resultados significativos. Recientemente, Coza et al. (2011) investigaron la oxigenación del músculo gastrocnemio durante el ejercicio de elevaciones de talones en condiciones de oclusión arteriolar (AO) con respecto al rendimiento y la recuperación, que son dependientes del flujo sanguíneo.

La Espectroscopia Cercana al Infra Rojo (NIRS) ha mostrado ser una medición válida y no invasiva de los parámetros de oxigenación tisular (Boushel et al., 2001; McCully and Hamaoka, 2000; Suzuki et al., 1999) y provee información combinada sobre las concentraciones arteriulares, capilares y vanulares de hemoglobina (Quaresima et al., 2001). Por lo tanto, la señal obtenida es dependiente del transporte de oxígeno y de la tasa de utilización del mismo. De esta manera, el objetivo del presente estudio fue valorar los efectos de la WBV durante ejercicios dinámicos sobre los parámetros de oxigenación muscular derivados mediante NIRS.

MÉTODOS

El estudio fue llevado a cabo de acuerdo con las Normas de Ética de la Universidad y los estándares de ética de la Declaración de Helsinki. Todos los participantes dieron su consentimiento informado y fueron familiarizados con los procedimientos antes de la recolección de los datos. Veinte sujetos físicamente activos (14 hombres, 6 mujeres; edad 29 ± 1.04 años; talla, 1.75 ± 0.09 m; masa corporal, 76.2 ± 17.15 kg; BMI, 24.8 ± 4.3 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), sin historia reciente de desórdenes músculo-esqueléticos en el tren inferior, fueron seleccionados para participar en el estudio.

Diseño del Estudio

Se realizaron ejercicios de elevaciones de talones sobre una plataforma de vibración corporal total (40Hz 1.9mm vertical displacement) Power Plate® Pro6 (Power Plate International Ltd) tanto sin la utilización de vibración (NVIB) como con la utilización de vibración (VIB) en diez series alternadas de 15 elevaciones de talones. La condición experimental de la serie inicial para cada sujeto se seleccionó aleatoriamente (i.e., VIB o NVIB). Los ejercicios se completaron utilizando un metrónomo que operó a 1 Hz para asegurar que todos los ejercicios se completaran al mismo ritmo. Los sujetos fueron instruidos para moverse a un ritmo de 0.5 Hz, i.e., un segundo para la extensión máxima y un segundo para retornar a la posición inicial, y asegurando que cada repetición se realizara hasta la máxima extensión, i.e., que los sujetos elevaran sus talones lo máximo posible. Los sujetos también fueron instruidos para que mantuvieran sus rodillas ligeramente flexionadas y así evitar una excesiva transmisión de la vibración a sus cabezas. Durante el ejercicio de elevaciones de talones con rodillas extendidas, si bien el *soleo* contribuye al movimiento, la actividad muscular principal la realiza el músculo gastrocnemio, el cual se encuentra mecánicamente mejor posicionado para generar tensión cuando la rodilla se encuentra extendida en comparación a cuando se encuentra flexionada (Baechle and Earle, 2008; Palastanga et al., 2004).

Recolección y Procesamiento de los Datos

Los parámetros de la oxigenación tisular fueron obtenidos utilizando un dispositivo NIRO 300 (Hamamatsu Photonics, Japan), para lo cual el emisor y el sensor de registro fueron ubicados en el gastrocnemio lateral derecho manteniendo una distancia entre el emisor y el detector de $1/3$ de la distancia entre la cabeza de la tibia y el calcáneo. Además se mantuvo

una distancia constante de 4 cm entre el emisor y el detector. Una interfase convirtió la señal analógica en digital permitiendo el registro sincronizado de la oxigenación y el movimiento. Se colocó un marcador de retro-reflexión en el maléolo lateral derecho que fue trackeado durante 60 segundos a 20 Hz para determinar la actividad basal, el movimiento del tobillo y el período de recuperación (Oqus 3, Qualysis SB, Sweden).

El marcador de movimiento fue trackeado y todos los datos sincronizados fueron exportados en formato c3d para su subsiguiente análisis en el Visual3D (C-Motion). Los datos del movimiento fueron filtrados (6 Hz, filtro Butterworth de 4^{to} orden y de paso bajo) y se definieron los desplazamientos verticales máximos y mínimos a partir de lo cual se derivó el desplazamiento vertical del tobillo así como también el tiempo total de ejercicio. Se utilizó la calibración del voltaje para convertir las señales de oxigenación en los valores apropiados; luego de lo cual los datos fueron suavizados utilizando un filtro de paso bajo Butterworth de 4^{to} orden a 0.2 Hz. Todas las señales fueron corregidas por el basal en relación a los datos recolectados en los primeros 5 segundos previos a la iniciación del ejercicio. Los valores máximos o mínimos durante el período de ejercicio fueron utilizados para determinar los cambios en la concentración absoluta de deoxihemoglobina (ΔHHb), oxihemoglobina ($\Delta\text{O}_2\text{Hb}$), hemoglobina total (ΔcHb), en el índice de oxigenación tisular (TOI, relación entre la hemoglobina oxigenada y la hemoglobina tisular total), y en el índice normalizado de hemoglobina (nTHI, la concentración de hemoglobina relativa al total).

Análisis Estadísticos

Se calcularon los valores medios de cinco repeticiones VIB y cinco repeticiones NVIB para cada participante y los datos medios grupales se presentan como medias \pm EE. Se evaluó la normalidad de los datos (Shapiro-Wilk) y las correlaciones entre las condiciones fueron analizadas utilizando pruebas T para datos apareados en aquellos datos que se ajustaron a una distribución normal, y utilizando la prueba de signos por rangos de Wilcoxon para los datos que no se ajustaron a una distribución normal. Los análisis de correlación transversal fueron llevados a cabo para identificar cualquier relación entre el movimiento y los cambios cíclicos observados en algunos de los parámetros de oxigenación. Las diferencias entre los sexos fueron valoradas utilizando el análisis de varianza ANOVA de una vía. El nivel mínimo de significancia fue establecido a $p < 0.05$. Los análisis estadísticos fueron llevados a cabo utilizando el software PASW Statistics 18 (IBM Corporation, USA).

RESULTADOS

No se observaron diferencias estadísticas en el rango de movimiento (NVIB: 9.7 ± 0.4 cm, VIB: 9.2 ± 0.02 cm) o en el tiempo que tomó completar cada serie de ejercicios (NVIB: 29.4 ± 0.2 s, VIB: 29.3 ± 0.3 s). Los cambios pico en los parámetros de oxigenación muscular medidos con NIRS durante el ejercicio de elevaciones de talones para las condiciones NVIB y VIB se muestran en la Tabla 1.

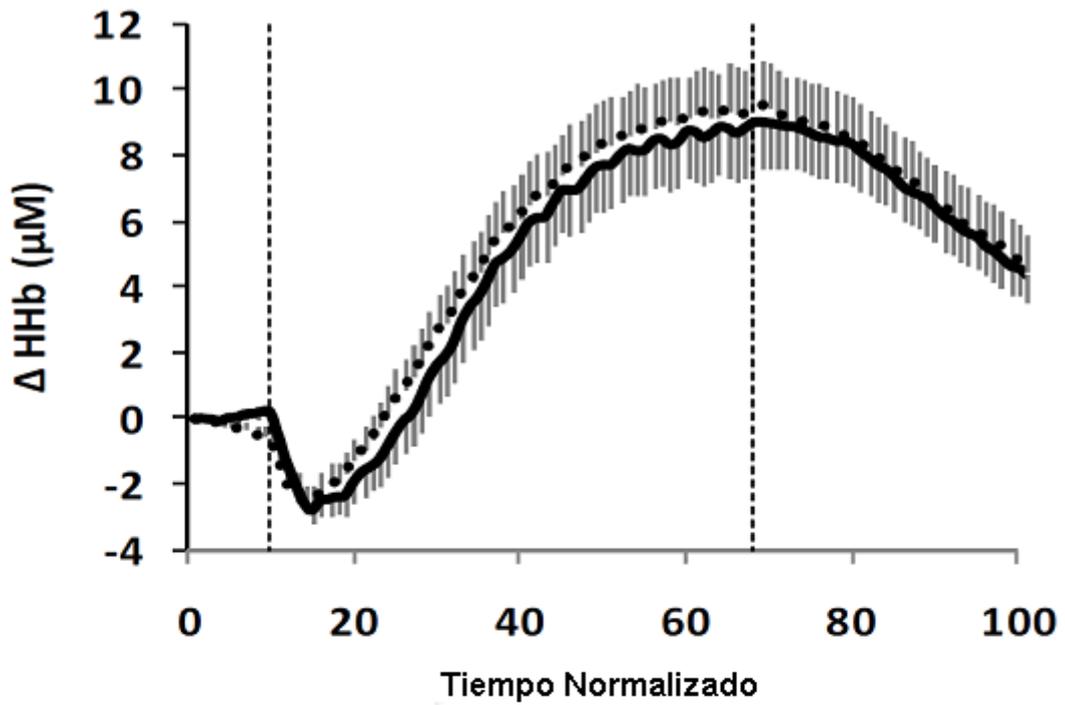
Parámetro	NVIB	VIB
Δ HHb (μM)	13.7 (1.4)	14.1(1.5)
Δ O ₂ Hb (μM)	-18.1 (1.3)	-14.4 (1.4) *
Δ cHb (μM)	-8.1 (1.1)	-3.7 (1.0) *
nTHI (a.u.)	-3.3 (0.5)	-1.6 (0.5) *
TOI (%)	-18.0 (1.0)	-16.9 (1.0)
Pendiente del TOI (% s ⁻¹)	-0.69 (0.05)	-0.663 (0.05)

Tabla 1. Parámetros de oxigenación tisular obtenidos mediante NIRS. Los datos son medias (\pm EE). Los asteriscos denotan diferencias significativas entre las condiciones NVIB y VIB ($p < 0.001$)

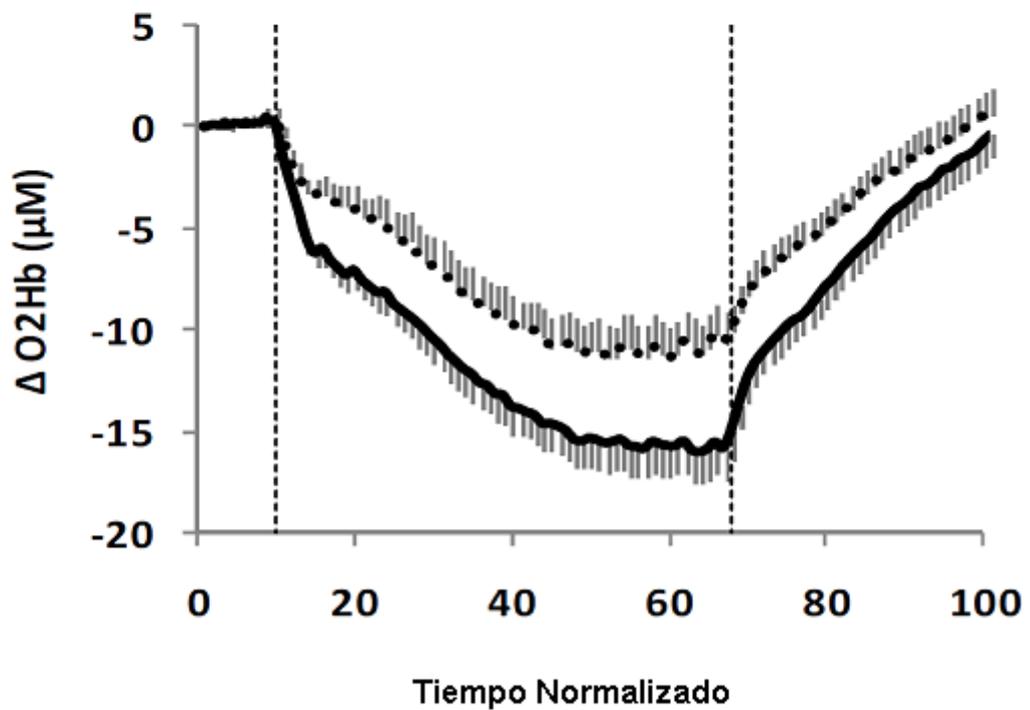
Las series conjuntas de datos temporales que representan el incremento en los perfiles del ΔHHb y la reducción en los perfiles del $\Delta\text{O}_2\text{Hb}$ se muestran en las Figuras 1a y 1b respectivamente, los cuales conjuntamente son característicos de la hipoxia tisular. Las condiciones NVIB y VIB produjeron perfiles similares de ΔHHb sin diferencias significativas en los cambios en la concentración absoluta. Sin embargo, los perfiles del $\Delta\text{O}_2\text{Hb}$ mostraron una mayor depleción de la O_2Hb durante el ejercicio en la condición NVIB. En la condición VIB, la depleción de O_2Hb se redujo significativamente en comparación a la condición NVIB ($p < 0.001$).

Las series conjuntas de datos temporales que representan los perfiles del ΔcHb y del $n\text{THI}$ se muestran en las Figuras 2 y 3 respectivamente. Durante el ejercicio en ambas condiciones experimentales (NVIB y VIB) las series de datos temporales mostraron patrones similares, con una rápida reducción inicial en respuesta al comienzo del ejercicio y una recuperación lenta pero lineal durante el período de recuperación, seguido de un rápido incremento tanto en ΔcHb como en $n\text{THI}$ hasta alcanzar valores mayores a los niveles basales pre-ejercicio. No se observaron diferencias significativas en los componentes lentos de la recuperación durante el protocolo de ejercicio; sin embargo, la reducción en el volumen sanguíneo (indicado por los valores de ΔcHb y $\Delta n\text{THI}$) durante la condición VIB fue menos de la mitad de la observada durante la condición NVIB ($p < 0.001$).

Las series conjuntas de datos temporales que representan los perfiles del TOI se muestran en la Figura 4. Se observaron perfiles similares tanto en la condición NVIB como en la condición VIB con una reducción lineal inicial en la oxigenación tisular luego del comienzo del ejercicio y el correspondiente incremento lineal luego de la finalización del ejercicio. Se observó un mayor nivel de desaturación tisular en la condición NVIB comparado con la condición VIB; sin embargo, los cambios absolutos a partir del nivel basal y hasta los valores mínimos de TOI no fueron significativos ($p = 0.151$) así como tampoco la pendiente de la tasa lineal inicial de cambio en el TOI ($p = 0.158$).



a



b

Figura 1. (a) Perfil de ΔHHb ; (b) Perfil de $\Delta\text{O}_2\text{Hb}$; (Medias \pm EE). Las líneas continuas indican la condición NVIB y las líneas punteadas indican la condición VIB. Las líneas punteadas verticales indican el comienzo y final del protocolo de ejercicio.

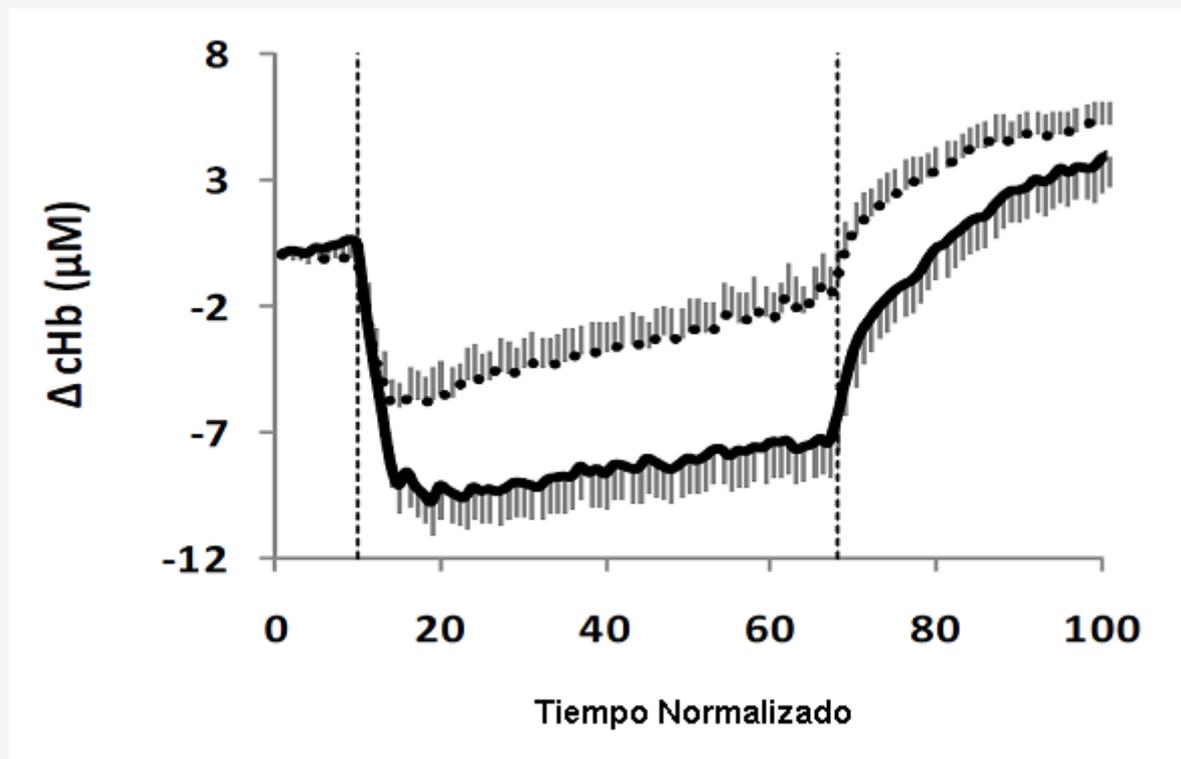


Figura 2. Perfil de ΔcHb (Medias \pm EE). Las líneas continuas indican la condición NVIB y las líneas punteadas indican la condición VIB. Las líneas punteadas verticales indican el comienzo y final del protocolo de ejercicio.

Al investigar las diferencias sexuales mediante el uso de ANOVA solo se observaron diferencias en el ΔHHb , con las mujeres exhibiendo una menor HHb durante las condiciones NVIB y VIB en comparación con los hombres ($p < 0.05$).

Todos los perfiles de las series temporales de los parámetros de oxigenación exhibieron cambios cíclicos durante el protocolo de ejercicio. Estos datos fueron comparados con las series temporales del movimiento del tobillo utilizando análisis de correlación cruzada. Esto mostro que la naturaleza cíclica del movimiento del tobillo y los cambios en los parámetros de oxigenación tuvieron el mayor nivel de correlación ($r = 0.473$) con una diferencia de retraso de solo 0.6 s.

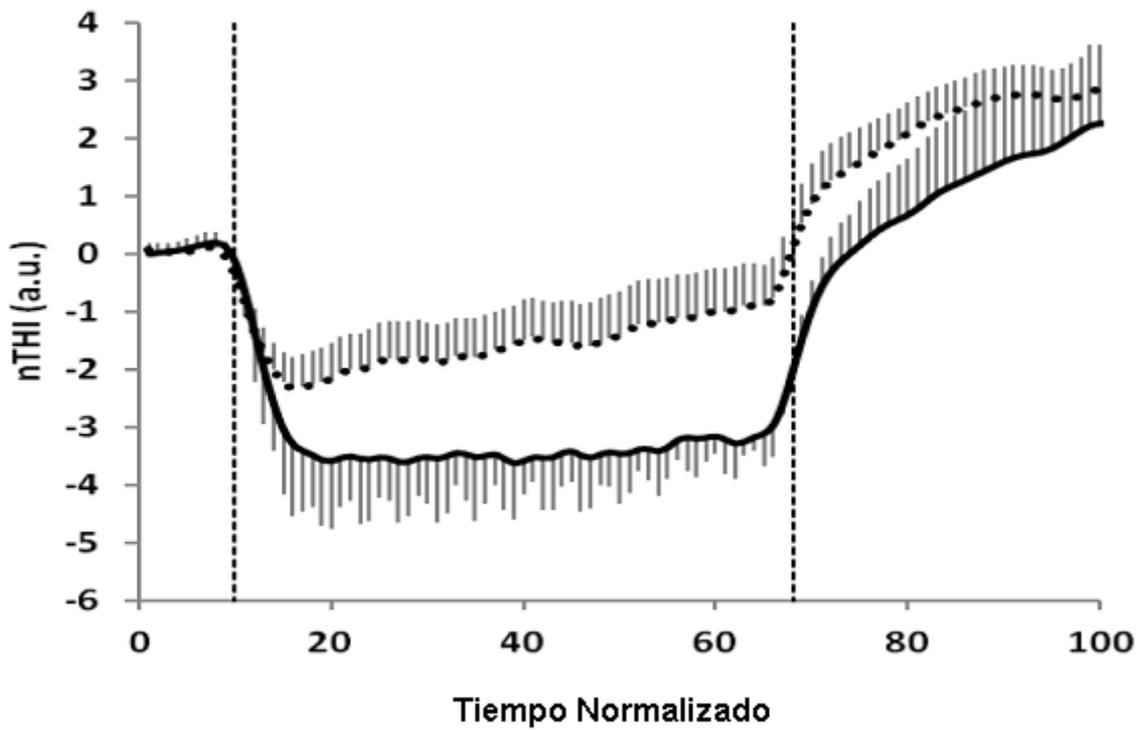


Figura 3. Perfil de nTHI (Medias \pm EE). Las líneas continuas indican la condición NVIB y las líneas punteadas indican la condición VIB. Las líneas punteadas verticales indican el comienzo y final del protocolo de ejercicio.

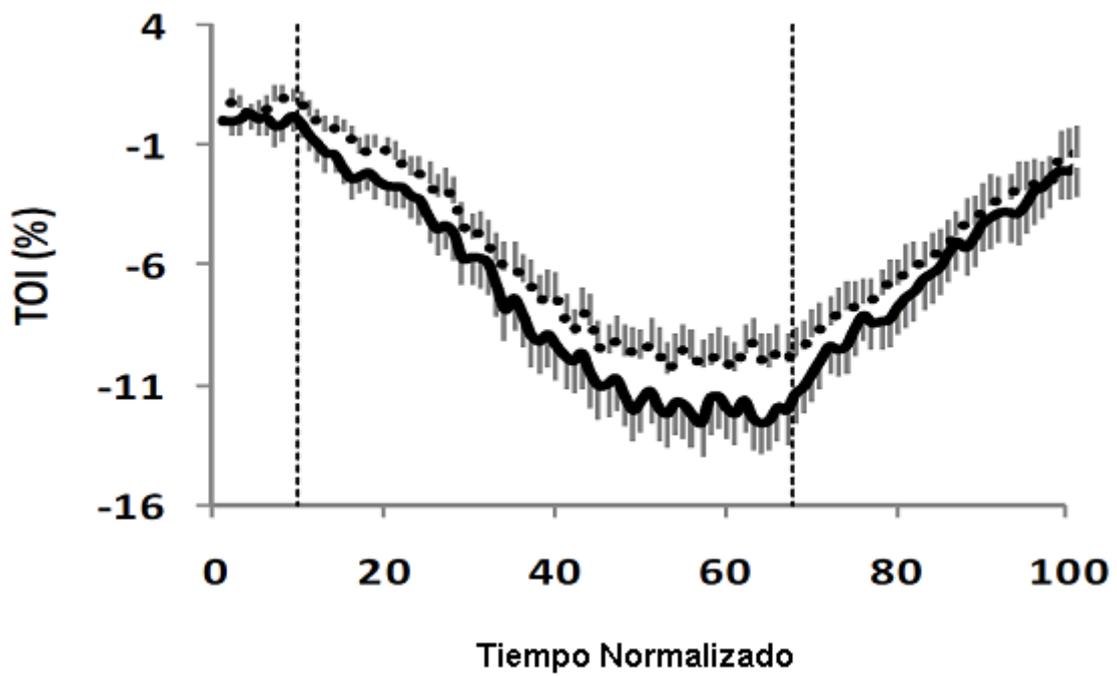


Figura 4. Perfil de TOI (Medias \pm EE). Las líneas continuas indican la condición NVIB y las líneas punteadas indican la condición VIB. Las líneas punteadas verticales indican el comienzo y final del protocolo de ejercicio.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que existen diferencias significativas en la oxigenación tisular que resultan de la adición de vibración corporal total al ejercicio de elevaciones de talones. Si bien el NIRS no mide con precisión el flujo sanguíneo, los cambios en los niveles de hemoglobina serían indicativos del volumen sanguíneo en el área valorada (Boushel et al., 2001; Bhambhani et al., 2000; Mileva et al., 2006) y los cambios pueden ser una indicación del transporte y utilización de oxígeno en condiciones de no oclusión (McNeil et al., 2006).

Los cambios en la cHb observados en este estudio sugieren una reducción inicial en el volumen/flujo sanguíneo, que probablemente sea una consecuencia del “costo inicial” del ejercicio, seguido de un incremento en el volumen/flujo sanguíneo. Las diferencias observadas en la cHb, nTHI y en la O₂Hb sugieren que la adición de vibración durante el ejercicio reduce la depleción de estas variables. Debido a que el nTHI se basa en la valoración de una longitud de paso desconocida, el volumen tisular real valorado no puede determinarse. Por lo tanto, las unidades obtenidas son unidades arbitrarias; sin embargo, el nivel relativo de los cambios son indicativos de los cambios en el volumen o en el flujo sanguíneo, con el potencial de discriminar entre oclusiones arteriales (reducción del nTHI) o venosas (incremento del nTHI) (Myers et al., 2009).

Durante el ejercicio la reducción en los niveles de hemoglobina oxigenada disponible, conjuntamente con el incremento de los niveles en la hemoglobina desoxigenada, son indicativos de hipoxia muscular localizada; por lo tanto, cualquier intervención que altere estos parámetros tiene el potencial de influenciar la hipoxia muscular local. El patrón de cambio observado en el nTHI es muy similar al reportado por Coza et al. (2011), que investigaron los efectos de la vibración sobre el flujo sanguíneo arterialmente ocluido y no ocluido durante ejercicios vibratorios, y atribuyeron los cambios en el nTHI al incremento en el flujo sanguíneo.

Estos resultados también reflejan estudios previos que han mostrado que la tasa de flujo sanguíneo en la arteria poplítea se duplica durante ejercicios vibratorios (Kerschman-Schindl et al., 2001). El incremento en el flujo sanguíneo potencialmente explica los menores niveles de depleción en la hemoglobina oxigenada observados en el presente estudio. El influjo de la sangre hacia los músculos activos transporta hemoglobina adicional y, en ausencia de oclusión, influenciará los niveles registrados de hemoglobina oxigenada.

Este incremento en el flujo y en el volumen sanguíneo también influenciará la saturación tisular y por lo tanto el TOI (Quaresima and Ferrari, 2009), lo cual podría explicar la falta de diferencias significativas observadas entre las condiciones de ejercicio. Los similares perfiles de Δ HHb observados durante el ejercicio con y sin vibración sugieren que los costos mecánicos y metabólicos de cada protocolo fueron esencialmente los mismos. El único parámetro que mostró una diferencia significativa entre hombres y mujeres fue el Δ HHb. Se podría sugerir que las mujeres estuvieron sujetas a un menor trabajo mecánico (debido a una menor masa corporal), o que las diferencias sexuales en el tejido adiposo subcutáneo afectaron las señales del NIRS (Cooper et al., 2010). Sin embargo, se requieren de futuros estudios en esta área para determinar el impacto relativo del grosor del tejido adiposo subcutáneo sobre cada una de las señales del NIRS. Además, se debería señalar que la muestra de mujeres fue pequeña ($n = 6$); por lo tanto, las conclusiones específicas respecto del sexo deberían ser realizadas con cautela.

Interesantemente, la relación inversa entre los cambios en los niveles del nTHI y la posición del tobillo sugiere que las reducciones sistemáticas en la hemoglobina se producen en el punto de tiempo en que el tobillo se encuentra en el punto más alto del movimiento, i.e., al pico de la contracción muscular. Esta reducción podría ser indicativa tanto de la máxima utilización de hemoglobina al punto en que el trabajo muscular es mayor, como de la reducción en el flujo sanguíneo debido a que el músculo se encuentra bajo tensión isométrica por un breve período de tiempo al punto de la máxima elevación del talón. También debería considerarse que la potencial consecuencia de la vibración durante el ejercicio es un cambio en el tipo de fibras que está siendo utilizado al realizar el ejercicio, desde fibras tipo II a fibras tipo I. Potencialmente esto podría resultar en mayores cambios en los niveles de HHb, los cuales no fueron observados. Sin embargo, se debería señalar que la precisa relación entre la heterogeneidad metabólica y microvascular de los diferentes tipos de fibras musculares no ha sido completamente dilucidada (Koga et al., 2007). Para poder dar respuesta a estas cuestiones, el protocolo de ejercicio podría repetirse a la vez que se registra la actividad electromiográfica para así proveer una mayor comprensión de la posible actividad de los diferentes tipos de fibras musculares.

Estudios previos han investigado el rol de la contracción del gastrocnemio como “bomba” muscular en relación al flujo sanguíneo y el retorno venoso. La validez de los estudios sobre los efectos de las contracciones musculares sobre el retorno venoso es aún un tema controversial, ya que muchos autores han reportado que la contracción muscular no influencia el retorno venoso y sugieren que el incremento en el flujo sanguíneo probablemente es producto del incremento en la vasodilatación (Clifford et al., 2005; 2007; Hamann et al., 2003; 2004; Nagami, 1990).

Se debería considerar que una respuesta más distal, tal como el vasoespasmo en los pies, podría resultar en una resistencia al flujo sanguíneo desde las pantorrillas. Recientemente, Thompson et al (2010) reportaron un caso de exposición ocupacional que resultó en vasoconstricción de los pies pero no de las manos; donde la valoración diagnóstica indicó índices tobillo-braquial normales, pero una reducción en las ondas pletismográficas digitales en los dedos de los pies por exposición al frío. Sin embargo, se debería señalar que en el estudio de un caso se basó en un minero con 18 años de exposición. Si bien este mecanismo potencial no ha sido completamente investigado y, para el conocimiento de los autores, nunca se investigó la respuesta al ejercicio WBV, esta respuesta local típica podría explicar los resultados obtenidos.

Una final explicación a considerar es la respuesta global a la vibración. Investigaciones previas de las extremidades han indicado que la vibración local en las manos resultó en cambios en las alteraciones circulatorias de los pies (Egan et al., 1996; Sakakibara, 1994). Estos cambios han sido atribuidos a un reflejo simpático central vasoconstrictor provocado por la vibración (Egan, 1996). Estos hallazgos parcialmente confirman los resultados de un trabajo previo llevado a cabo por Greenstein y Kester (1992) quienes investigaron el efecto de la vibración unilateral de la mano con y sin bloqueo nervioso. Estos investigadores hallaron que en la mayoría de los casos, se obtenía una respuesta bilateral sugerente de un reflejo simpático vasoconstrictor en ausencia de bloqueo nervioso digital. Cuando se efectuaba el bloqueo nervioso, la respuesta estaba ausente y se observaba vasodilatación. Sin embargo, también debería señalarse que en algunos sujetos, no se observó la vasodilatación en ausencia del bloqueo nervioso. Los autores concluyeron que la vibración aguda puede provocar tanto un reflejo vasoconstrictor como la vasodilatación local activa, compitiendo ambos mecanismos entre sí. En 2002, Schweigert llevó a cabo una revisión sistemática para establecer si las diferentes hipótesis, respecto de los mecanismos subyacentes a las alteraciones circulatorias de las extremidades en respuesta a la vibración, podrían desarrollarse en una teoría establecida. Desafortunadamente, se halló que los estudios tenían significativas fallas en cuanto a su validez tal como la falta de variables independientes, sesgos en la selección y supervivencia de la muestra, valoración de factores de confusión y falta de cegamiento de los investigadores. La conclusión fue que existe cierta evidencia de que los síntomas vasculares de las extremidades inferiores (vasoespasmo inducido por exposición al frío) podrían asociarse con el Síndrome de Vibración de la Mano y el Brazo (*Hand Arm Vibration Syndrome*, HAVS) pero no en trabajadores expuestos a la vibración sin HAVS. El efecto de las estructuras locales vasculares también ha sido investigado valorando la velocidad de la onda pulsátil y la presión sanguínea en los tobillos como una estimación de la rigidez arterial periférica. Si bien es difícil distinguir entre la rigidez arterial central y periférica, se ha sugerido que con la obtención de mediciones en los tobillos, la influencia periférica sería mayor (Otsuki et al., 2008). Los resultados obtenidos indican que la rigidez arterial se redujo luego de aproximadamente 20 min post ejercicio con WBV y duró hasta unos 40 minutos. Los autores propusieron que esto podría reflejar la vasodilatación mediada por la función endotelial vascular. Esto tiene respaldo en evidencia que indica que el ejercicio de ciclismo resultó en un incremento en el factor de crecimiento endotelial vascular (Suhr et al., 2007) lo cual podría ser resultado del incremento en el estrés de corte en los vasos sanguíneos, lo cual fue modelado matemáticamente por Yue et al. (2007a; 2007b).

Los potenciales factores limitantes de este estudio incluyen: el pequeño número de participantes mujeres; el hecho de que se monitoreó solo un músculo para determinar los cambios en la oxigenación; la falta de información adicional tal como el EMG del tríceps sural; los cambios vasculares en los pies y los efectos globales del sistema nervioso simpático (tal como la sudoración y/o los cambios fisiológicos en las manos). Solo una vez que se hayan tenido en cuenta estas cuestiones; en particular el efecto de la vibración sobre el sistema vascular de los pies, se podrían realizar recomendaciones o contraindicaciones para la prescripción del ejercicio. Todas estas áreas presentan una oportunidad para la investigación futura en el campo de la vibración y el ejercicio.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que la adición de vibración al ejercicio de elevaciones de talones no incrementa el costo metabólico en el músculo gastrocnemio lateral. Sin embargo, la adición de vibración durante el ejercicio atenúa la reducción en los parámetros de oxigenación muscular local, indicando una menor reducción potencial en el volumen sanguíneo tisular y/o un incremento en el flujo sanguíneo; y esta respuesta podría ser indicativa de la reducción de la hipoxia tisular inducida por el ejercicio. No obstante, es importante no sobrevalorar estos resultados. Hasta la fecha no se ha establecido completamente si los cambios observados son resultado directo del incremento en el flujo sanguíneo hacia la pierna o son consecuencia de una respuesta vasoespástica en los pies, creando un efecto de acumulación de sangre en las piernas. Se deberían llevar a cabo estudios adicionales para investigar estas explicaciones potenciales antes de llegar a conclusiones definitivas y antes de realizar recomendaciones en el ámbito del ejercicio/rehabilitación.

Puntos Clave

- La vibración corporal total afecta la oxigenación tisular del gastrocnemio lateral.

- Los mecanismos subyacentes podrían ser el incremento del flujo sanguíneo o una respuesta vasoespástica en los pies.
- El costo metabólico local del ejercicio de elevaciones de talones en el gastrocnemio lateral no parece incrementarse por la adición de vibración corporal total.

Agradecimientos

Este proyecto fue parcialmente subvencionado por Power Plate International Ltd. y producido dentro del Instituto de Investigación Power Plate en la Universidad de Greenwich, Medway. El equipo de NIRS fue provisto por el Departamento de Física Médica y Bioingeniería, Universidad de Londres.

REFERENCIAS

1. Baechle, T.R. and Earle, R.W (2008). Essentials of strength training and conditioning. *Human Kinetics*
2. Boushel, R., Langberh, H., Olesen, J., Gonzales-Alonzo, J., Burlow, J. and Kjaer (2001). Monitoring tissue oxygenation availability with near infrared spectroscopy (NIRS) in health and disease. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 11, 213-222
3. Bhambhani, Y., Tuchak, C., Burnham, R., Jeon, J. and Maikala, R (2000). Quadriceps muscle deoxygenation during functional electrical stimulation in adults with spinal cord injury. *Spinal Cord* 38, 630-638
4. Button C., Anderson N., Bradford C., Cotter, J.D. and Ainslie, P.N (2007). The effect of multidirectional mechanical vibration on peripheral circulation of humans. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 27, 211-216
5. Cardinale, M., Ferrari, M. and Quaresima, V (2007). Gastrocnemius medialis and vastus lateralis oxygenation during whole-body vibration exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(4), 694-700
6. Clifford, P.S., Hamann, J.J., Valic, Z. and Buckwalter, J.B (2005). Counterpoint: The muscle pump is not an important determinant of muscle blood flow during exercise. *Journal of Applied Physiology* 99(1), 372-374
7. Clifford, P.S (2007). Skeletal muscle vasodilatation at the onset of exercise. *Journal of Physiology* 583(Pt. 3), 825-833
8. Cochrane, D.J (2011). Vibration exercise: the potential benefits. *International Journal of Sports Medicine* 32(2), 75-99
9. Cooper, C.E., Penfold, S.P., Elwell, C.C. and Angus, C (2010). Comparison of Local Adipose Tissue Content and SRS-Derived NIRS Muscle Oxygenation Measurements in 90 Individuals. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 66(2), 177-181
10. Coza, A., Nigg, B.M. and Dunn, J (2011). Effects of Vibrations on Gastrocnemius Medialis Tissue Oxygenation. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 43(3), 509-515
11. Dolny, D.G. and Reyes, G.F.C (2008). Whole body vibration exercise: training and benefits. *Current Sports Medicine Reports* 7(3), 152-157
12. Egan, C.E., Espie, B.H., McGrann, S., McKenna, K.M. and Allen, J.A (1996). Acute effects of vibration on peripheral blood flow in healthy subjects. *Occupational and Environmental Medicine* 53, 663-669
13. Greenstein, D. and Kester, R.C (1992). Acute vibration-it's effect on digital blood flow by central and local mechanisms. *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers* 206, 105-108
14. Griffin, M.J (1990). Handbook of Human Vibration. *Elsevier Ltd*
15. Hamann, J.J., Valic, Z., Buckwalter, J.B. and Clifford, P.S (2003). Muscle pump does not enhance blood flow in exercising skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* 94(1), 6-10
16. Hamann, J.J., Buckwalter, J.B. and Clifford, P.S (2004). Vasodilation is obligatory for contraction-induced hyperemia in canine skeletal muscle. *Journal of Physiology (London)* 557, 1013-1020
17. Hazell, T.J., Thomas, G.W.R., DeGuire, J.R. and Lemon, P.W.R (2008). Vertical whole-body vibration does not increase cardiovascular stress to static semi-squat exercise. *European Journal of Applied Physiology* 104, 903-908
18. Kerschan-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V. and Imhof, H (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical Physiology* 221, 377-382
19. Koga, S., Poole, D.C., Ferreira, L.F., Whipp, B.J., Kondo, N., Saitoh, T., Ohmae, E. and Barstow, T.J (2007). Spatial heterogeneity of quadriceps muscle deoxygenation kinetics during cycle exercise. *Journal of Applied Physiology* 103(6), 2049-2056
20. Lohman III, E.B., Petrofsky, J.S., Maloney-Hinds, M. and Betts-Schwab, H. and Thorpe, D (2008). The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Medical Science Monitor* 13(2), CR71-76
21. Lythgo, N., Eser, P., de Groot, P. and Galea, M (2009). Whole-body vibration dosage alters leg blood flow. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 29, 53-59
22. Mileva, K.N., Naleem, A.A., Biswas, S.K., Marwood, S. and Bowtell, J.L (2006). Acute Effects of a Vibration-like Stimulus during Knee Extension Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 38(7), 1317-1328
23. Maloney-Hinds, C., Petrofsky, J.S. and Zimmerman, G (2008). The effect of 30 Hz vs. 50 Hz passive vibration and duration of vibration on skin blood flow in the arm. *Medical Science Monitor* 14(3), CR112-116
24. McCully, K.K. and Hamaoka, T (2000). Near-infrared spectroscopy: what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle?. *Exercise Sport Science Reviews* 28(3), 123-127
25. McNeil, C.J., Murray, B.J. and Rice, C.L (2006). Differential changes in muscle oxygenation between voluntary and stimulated isometric fatigue of human dorsiflexors. *Journal of Applied Physiology* 100, 890-895
26. Myers, D., McGraw, M., George, M., Mulier, K. and Beilman, G (2009). Tissue hemoglobin index; a non-invasive optical measure

- of total tissue haemoglobin. *Critical Care* 13(Suppl. 5), S2
27. Nagami, K (1990). Excess venous return immediately after brief contraction of human calf muscles. *Tokai Journal of Experimental and Clinical Medicine* 15(1), 81-86
 28. Nakamura H., Okazawa T., Nagase H., Yoshida M., Ariizumi M. and Okada, A (1996). Change in digital blood flow with simultaneous reduction in plasma endothelin induced by hand-arm vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 668, 115-119
 29. Otsuki, T., Takanami, Y., Aoi, W., Kawai, Y., Ichikawa, H. and Yoshikawa, T (2008). Arterial stiffness acutely decreases after whole-body vibration in humans. *Acta Physiologica* 194(3), 189-194
 30. Palastanga, N., Field, D. and Soames, R (2004). Anatomy and human movement, structure and function. 4th Edition. Butterworth Heinemann
 31. Quaresima, V., Colierc, W.N., van der Sluijsb, M. and Ferraria, M (2001). Nonuniform Quadriceps O2 Consumption Revealed by Near Infrared Multipoint Measurements. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 2285(4), 1034-1039
 32. Quaresima, V. and Ferrari, M (2009). Muscle oxygenation by near-infrared-based tissue oximeters. *Journal of Applied Physiology* 107(1), 372-373
 33. Rauch, F (2009). Vibration therapy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 551(Suppl. 4), 166-168
 34. Rittweger, J (2010). Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *European Journal of Applied Physiology* 108(5), 877-904
 35. Sakakibara, H (1994). Sympathetic responses to hand-arm vibration and symptoms of the foot. *Nagoya Journal of Medical Science* 57(Suppl.), 99-111
 36. Schweigert, M (2002). The relationship between hand-arm vibration and lower extremity clinical manifestations: a review of the literature. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 75, 179-185
 37. Suhr, F., Brixius, K., de Marées, M., Bölck, B., Kleinöder, H., Achtzehn, S., Bloch, W. and Mester, J (2007). Effects of short-term vibration and hypoxia during high-intensity cycling exercise on circulating levels of angiogenic regulators in humans. *Journal of Applied Physiology* 103, 474-483
 38. Suzuki, S., Ozaki, T. and Amd Kobayashi, Y. A (1999). Tissue oxygenation monitor using NIR spatially resolved spectroscopy. *Proceedings of SPIE* 3597, 582-592
 39. Thompson, A.M., House, R., Krajnak, K. and Eger, T (2010). Vibration-white foot; a case report. *Occupational Medicine* 60, 572-574
 40. Yue, Z. and Mester, J (2007). On the cardiovascular effects of whole-body vibration. I. Longitudinal effects: hydrodynamic analysis. *Studies in Applied Mathematics* 119, 95-109
 41. Yue, Z., Kleinöder, H., de Marées, M., Speicher, U., Wahl, P. and Mester, J (2007). On the cardiovascular effects of whole-body vibration. II: Statistical analysis. *Studies in Applied Mathematics* 119, 111-125

Cita Original

Daniel Robbins, Clare Elwell, Alfonso Jimenez and Mark Goss-Sampson. Localized Muscle Tissue Oxygenation during Dynamic Exercise with Whole Body Vibration. *Journal of Sports Science and Medicine* (2012) 11, 346 - 351