

Monograph

# Respuestas Fisiológicas y de Percepción frente a la Incorporación de Vibración al Ciclismo

Billy Sperlich<sup>1</sup>, Heinz Kleinoeder<sup>1</sup>, Markus De Marées<sup>1</sup>, Dieter Quarz<sup>1</sup>, John Linville<sup>2</sup>, Matthias Haegele<sup>1</sup> y Joachim Mester<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Training Science and Sport Informatics and the German Research Centre of Elite Sport, German Sport University Cologne, Alemania.*

<sup>2</sup>*University of Nebraska at Omaha, Estados Unidos.*

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar los efectos de ejercicios de ciclismo con vibraciones localizadas inducidas (a una frecuencia de 20Hz y amplitud de 4mm) sobre el sistema cardiopulmonar, el metabolismo muscular y las respuestas de percepción en comparación con los efectos de ejercicios de ciclismo realizados sin vibración. Doce varones sanos (edad:  $25,3 \pm 1,6$  años, peso:  $74,2 \pm 5,9$  kg, talla:  $181,0 \pm 3,7$  cm,  $VO_2$  máx.:  $56,9 \pm 5,1$  mL.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>) realizaron dos tests incrementales en bicicleta ergométrica con y sin vibración hasta el agotamiento volitivo en un prototipo de bicicleta. El consumo de oxígeno absoluto y relativo, así como también la ventilación por minuto aumentaron significativamente en la condición con vibración a 250 y 300 Watts ( $p < 0,05$ ). No se observaron diferencias estadísticas en la concentración de lactato, frecuencia cardíaca, índice de esfuerzo percibido y percepción de esfuerzo muscular ( $p > 0,05$ ) entre los tests. Los resultados demuestran que el ciclismo realizado con un estímulo de vibración superpuesto en comparación con el ciclismo realizado sin vibración, provoca una mayor demanda respiratoria. Este fenómeno puede ser el resultado de las micro-contracciones de los músculos de los miembros, debido a una mejora en el reclutamiento de fibras musculares y reflejo tónico de vibración que se produce con cargas de trabajo elevadas.

**Palabras Clave:** vibración, consumo de oxígeno, índice de esfuerzo percibido, sensación muscular

## INTRODUCCION

La vibración en todo el cuerpo es un método de entrenamiento que se aplica durante la rehabilitación y se considera una medida para contrarrestar la amiotrofia y la pérdida ósea durante la inmovilización (1-3). La vibración localizada activa el reflejo monosináptico de estiramiento que provoca el acortamiento en el músculo estimulado (4). Por consiguiente, este estímulo muscular inducido por vibración se utiliza para aumentar la fuerza en diferentes tipos de ejercicio. En trabajos previos se han estudiado los efectos de vibraciones superpuestas en las plantas, que afectan todo el cuerpo, sobre los efectos cardiopulmonares y metabólicos (3, 5, 6). Algunos autores observaron un aumento en el consumo de oxígeno y en el metabolismo muscular (6, 7) y dilatación de arteriolas (8) mediante la exposición a la vibración en todo el cuerpo. Un solo trabajo estudió los efectos de la vibración sobre la frecuencia cardíaca, presión arterial y tiempo de ejercicio durante la práctica de ciclismo dinámico (9). En este estudio, se montó una bicicleta ergométrica directamente sobre una plataforma de vibración que transmitía la vibración a todo el cuadro de la bicicleta e iniciaba el reflejo de estiramiento.

Este diseño facilitaba la transmisión de grandes cantidades de vibración desde la plataforma de vibración, directamente a través del cuadro, asiento y manubrio, hacia las piernas, brazos y pelvis.

Nosotros construimos un dispositivo especial para reducir la cantidad de ondas de vibración que se transmiten, principalmente a la zona posterior del cuerpo. La adición de vibración a la práctica de ciclismo podría influir en el sistema cardiopulmonar y en el índice de esfuerzo percibido respectivamente, a través de la activación de una mayor cantidad de unidades motoras. Esto provocaría a una mayor demanda de oxígeno, que a su vez, provocaría un aumento en la actividad cardiopulmonar. Según nuestro conocimiento, hasta el momento, no hay ningún estudio que haya sido diseñado para valorar los efectos cardiorrespiratorios, metabólicos y de percepción, que produce la vibración localizada, durante la realización de ejercicios de ciclismo. El objetivo del estudio fue evaluar si la vibración localizada afecta las respuestas cardiopulmonares y de percepción en comparación con los ejercicios de ciclismo realizados sin vibración.

## MÉTODOS

---

### Sujetos

Doce estudiantes de educación física saludables, no fumadores (media $\pm$ SD, edad: 25,3 $\pm$ 1,6 años; peso: 74,2 $\pm$ 5,9 kg, talla: 181,0 $\pm$ 3,7 cm) participaron voluntariamente y dieron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio.

El mismo fue previamente aceptado por el Comité de Revisión Ética de la universidad. Los sujetos ( $\text{VO}_2$  máx. relativo: 56,9 $\pm$ 5,1 mL.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>) fueron familiarizados completamente con los procedimientos de ejercicio en el laboratorio, así como también con la bicicleta ergométrica. Ningún participante tenía experiencia en entrenamiento con vibración. En los días de evaluación se les solicitó que acudieran al laboratorio bien hidratados, luego de por lo menos 2 h de haber ingerido una comida ligera y que no hubieran realizado ejercicio activo 24 h antes de la evaluación.

### Procedimientos

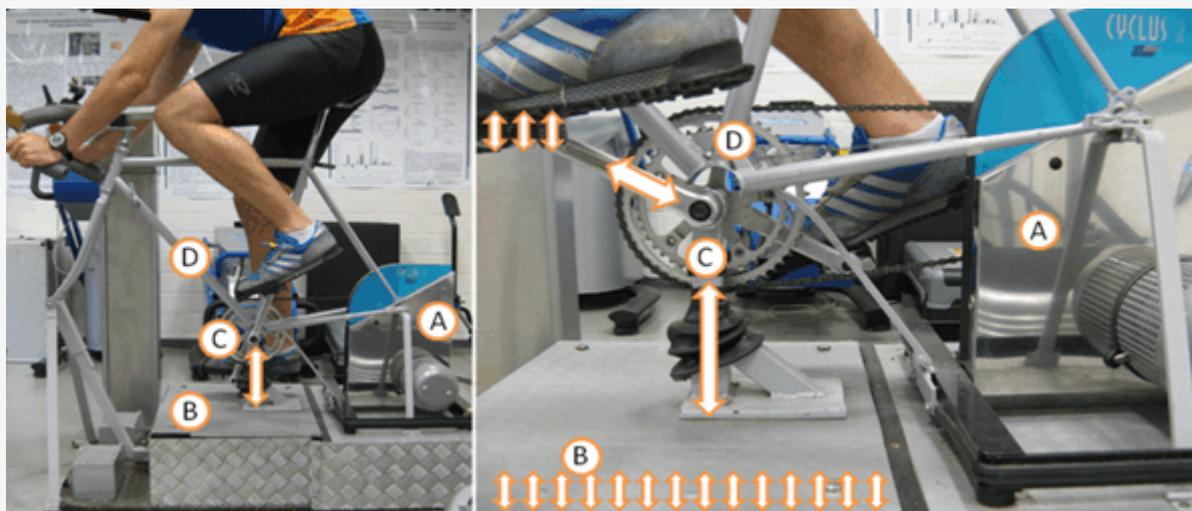
Los sujetos realizaron un protocolo de test incremental en una bicicleta ergométrica (Figura 1) con y sin la vibración en dos días diferentes cuyo orden fue establecido al azar. Se solicitó a los participantes que no realizaran ninguna actividad física por lo menos durante 72 h entre los dos tests.

El protocolo consistió en pedalear a 70 RPM con una carga de trabajo inicial de 100 Watts durante 5 minutos y luego con aumentos incrementales de 50 W cada 5 minutos hasta que alcanzaran el agotamiento volitivo. La altura del asiento medida desde el centro de la caja del pedalier hasta la parte superior del asiento fue ajustada individualmente a 0,885 x la longitud interna de la pierna.

### Equipamiento

Para las sesiones con exposición a la vibración, desarrollamos un prototipo de plataforma en la que solamente la corona de la bicicleta ergométrica tenía conexión con la plataforma de vibración (Figura 1).

La caja del pedalier conectaba las palancas a la bicicleta y permitía que las mismas giraran libremente. El cuadro estaba físicamente desconectado de cualquier estímulo de vibración lo que disminuía las ondas de impacto/vibración hacia la musculatura de los miembros inferiores del cuerpo.



**Figura 1.** Prototipo de bicicleta ergométrica con vibración (Pat No.: DE 102004063495): La misma está formada por una plataforma de aluminio, un cuadro de bicicleta de acero (D), una plataforma de vibración (B) y una unidad de resistencia (Cyclus2 Record, Alemania (A)). El dispositivo se coloca en el plástico esponjoso (1200 x 600 x 17mm). Las ondas de estímulo se generan mediante un motor de vibración (HV 2/2-6, Würges). La corona (C), con los pedales unidos, está colocada en la superficie de la plataforma de vibración y no posee conexión física con el cuadro. La unidad de resistencia se conecta al cambio y los pedales a través de la cadena. La resistencia se controla automáticamente a través del control de mando del Cyclus 2 Record, Avantronic. Las flechas indican la dirección de la transmisión de vibración; empezando desde la plataforma hacia las palancas, luego hacia los pedales y finalmente hacia los pies del participante.

La frecuencia de la vibración que se aplicó verticalmente a través de la palanca hacia los pedales fue de 20 Hz, con una amplitud de 4 mm. La producción de potencia se determinó mediante una palancademedición de potencia (SRM Powermeter Cranck) (SRM, Alemania) y fue controlada mediante una bicicleta ergométrica tipo Cyclus 2 (Avantronic, Alemania). El consumo de oxígeno y la ventilación por minuto fueron determinados con un espirógrafo de circuito abierto, respiración-por-respiración (nSpire, ZAN600USB, Alemania) durante todo el test, utilizando algoritmos estándar con conteo/registro dinámico de la demora de tiempo entre el consumo de gas y la señal del volumen. Antes de cada test, el espirógrafo fue calibrado utilizando un gas de calibración (15,8% O<sub>2</sub>, 5% O<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>; Praxair, Alemania) compuesto por el intervalo de concentraciones de gas fraccionadas anticipadas. Para calibrar el volumen se utilizó una jeringa de 1 L (nSpire, Alemania). La frecuencia cardíaca se registró durante los tests, en tiempo real cada 5 segundos mediante telemetría de rango corto (S 710 POLAR, Finlandia). Los datos respiratorios y de frecuencia cardíaca fueron promediados cada 30 segundos. Al finalizar los intervalos de cinco minutos se tomaron muestras de sangre de 20 µL en un tubo capilar del lóbulo de la oreja derecha (Eppendorf, Alemania) y fueron sometidas a un análisis amperométrico-enzimático para determinar la concentración de lactato sanguíneo mediante el dispositivo Ebio Plus (Eppendorf, Alemania).

Adicionalmente, se solicitó a los participantes que clasificaran su esfuerzo percibido (con la escala de BORG de 6 a 20) (18), y el nivel de dolor percibido en los músculos de los muslos utilizando una escala de puntuación con siete puntos (0=sin dolor a 6=muy doloroso).

### Análisis estadísticos

Para calcular los valores medios y la desviación estándar (Media±SD) se aplicaron los métodos estadísticos tradicionales. El efecto de las variables independientes y dependientes se valoró mediante el análisis de la varianza y el test de la mínima diferencia significativa de Tukey. El test-t de Student se utilizó para evaluar los efectos de la vibración sobre los índices de esfuerzo percibido y de dolor muscular. La significancia estadística se expresó de la siguiente manera: p<0,05 (\*), p<0,001 (\*\*). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete estadístico STATISTICA (versión 7,1; StatSoft Inc., EE.UU.) para Windows®.

## RESULTADOS

Se encontraron mayores valores de consumo de oxígeno absoluto y relativo, y mayor ventilación por minuto en la condición de ciclismo con cargas de 250 y 300 Watts con vibración que en la condición sin vibración ( $p < 0,05$ ). No se observaron diferencias en los valores observados con cargas de 100 a 200 Watts. La frecuencia cardíaca (HR) no presentó diferencias entre las condiciones con o sin vibración en ningún nivel (Tabla 1). De manera similar, no se observaron diferencias en los valores de lactato en la condición con vibración vs. la condición de ciclismo normal. El índice de esfuerzo percibido y la sensación de esfuerzo muscular fueron similares entre las sesiones con y sin vibración en todas las cargas de trabajo.

| Parámetro   | Vibración | Producción de Potencia (Watt) |             |              |              |               |
|---|-----------|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|
|   |           | 100                           | 150         | 200          | 250          | 300           |
| Consumo de Oxígeno Absoluto (L.min <sup>-1</sup> )                    | +         | 1,47 ± 0,07                   | 2,05 ± 0,08 | 2,56 ± 0,11  | 3,17 ± 0,16  | 3,87 ± 0,20   |
|   | -         | 1,37 ± 0,13                   | 1,99 ± 0,12 | 2,52 ± 0,11  | 3,07 ± 0,16* | 3,71 ± 0,20** |
| Consumo de Oxígeno Relativo (mL.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> ) | +         | 20,0 ± 0,6                    | 28,0 ± 2,3  | 35,2 ± 3,1   | 43,2 ± 3,7   | 53,7 ± 4,6    |
|   | -         | 18,6 ± 2,0                    | 27,1 ± 2,2  | 34,3 ± 2,9   | 41,9 ± 3,7*  | 51,6 ± 5,0*   |
| Ventilación por minuto (L.min <sup>-1</sup> )                         | +         | 30,4 ± 2,5                    | 44,5 ± 3,4  | 57,2 ± 4,0   | 78,0 ± 8,3   | 104,1 ± 12,4  |
|   | -         | 28,2 ± 3,3                    | 42,6 ± 4,0  | 56,4 ± 4,4   | 74,8 ± 8,9*  | 97,7 ± 9,7*   |
| Lactato (mmol.L <sup>-1</sup> )                                       | +         | 0,74 ± 0,19                   | 1,25 ± 0,81 | 1,98 ± 1,21  | 4,02 ± 2,00  | 7,81 ± 2,76   |
|   | -         | 0,96 ± 0,32                   | 1,42 ± 0,60 | 2,31 ± 1,30  | 4,28 ± 2,00  | 8,21 ± 3,41   |
| Frecuencia Cardíaca (L.min <sup>-1</sup> )                            | +         | 115,4 ± 7,6                   | 128,5 ± 6,1 | 146,7 ± 7,9  | 165,1 ± 7,3  | 177,2 ± 11,5  |
|   | -         | 117,5 ± 8,4                   | 131,3 ± 8,6 | 150,5 ± 12,1 | 167 ± 8,8    | 182,3 ± 9,8   |
| Índice de Esfuerzo Percibido  | +         | 9,3 ± 2,1                     | 11,3 ± 1,8  | 13,9 ± 1,3   | 15,9 ± 1,3   | 18,0 ± 1,3    |
|   | -         | 9,2 ± 1,8                     | 12,1 ± 1,5  | 14,0 ± 0,9   | 16,1 ± 1,2   | 18,9 ± 1,2    |
| Sensación Muscular  | +         | 0,7 ± 0,5                     | 1,6 ± 0,5   | 2,5 ± 0,7    | 3,3 ± 0,7    | 4,2 ± 0,9     |
|   | -         | 0,6 ± 0,7                     | 1,5 ± 0,5   | 2,6 ± 0,8    | 3,2 ± 0,8    | 4,0 ± 0,7     |

**Tabla 1.** Respuestas fisiológicas y de percepción durante los ejercicios de ciclismo realizados con o sin vibración con diferentes cargas de trabajo. Los datos se presentan como Media ± SD. Las diferencias estadísticas entre las sesiones con (+) y sin (-) vibración se presentan como  $p < 0,05$  (\*) y  $p < 0,001$  (\*\*).

## DISCUSION

El principal resultado de este estudio fue el aumento en el consumo de oxígeno y la ventilación por minuto en las cargas de trabajo más altas, 250 y 300 Watts ( $p < 0,05$ ), que se observó en la condición de ciclismo con vibración respecto a la condición sin vibración.

No se observaron cambios estadísticamente significativos en la frecuencia cardíaca, concentración de lactato, ni en los índices de esfuerzo percibido y de percepción muscular.

En un estudio realizado por Samuelson y colaboradores (9) se encontraron resultados similares.

Los autores analizaron los efectos de la vibración por medio de ejercicios de ciclismo en una plataforma de vibración, y tampoco observaron diferencias en la frecuencia cardíaca y presión arterial. Estos autores diseñaron un dispositivo para provocar vibraciones en todo el cuerpo, transmitiendo el estímulo de la plataforma de vibración a través del cuadro, asiento y manubrio hacia las piernas, pelvis y brazos. La bicicleta ergométrica utilizada en nuestro diseño provoca vibraciones localizadas en los músculos inferiores del tronco, debido al hecho que la corona no se conecta con el cuadro. Estudios previos, realizados con participantes que pedaleaban a 150 Watts y 50 RPM, demostraron a través de sensores de aceleración (BIOVISION), una disminución de 93 y 95%, en la transmisión del estímulo desde la plataforma de vibración hacia la cadera y la cabeza.

Por lo tanto, en nuestro diseño las ondas de vibración se transmitieron principalmente a los miembros inferiores del cuerpo. A partir de los datos de frecuencia cardíaca publicados previamente [9] y los obtenidos en este trabajo, podemos

afirmar que ni la vibración con mayor transmisión del estímulo (9), ni la vibración localizada en la zona inferior del torso, tienen influencia sobre la frecuencia cardíaca cuando se practica ciclismo.

Otros estudios también observaron un aumento en el consumo de oxígeno en los test donde se utilizó vibración en todo el cuerpo en comparación con los tests en donde no se aplicó vibración (7). Está ampliamente documentado que las terminaciones aferentes principales de los husos motores son sensibles a la vibración (10, 11). Es posible sugerir, que la exposición a la vibración causa excitación de estas terminaciones aferentes y el reclutamiento de mayor cantidad de receptores que, a su vez, activan una mayor cantidad de neuronas motoras alfa y provocan contracción en las fibras musculares previamente inactivas (12). Además, a través del estímulo de vibración podrían reactivarse fibras musculares previamente agotadas (13, 14). Las ondas mecánicas transmitidas desde los pedales hacia los miembros inferiores del cuerpo, activarán un gran número de receptores musculares sensibles a la vibración. Como resultado, serán reclutadas un gran número de unidades motoras adicionales, provocando un mayor consumo de oxígeno en el músculo o en todo el cuerpo, especialmente en la carga de trabajo más alta. Este fenómeno explicaría el aumento en el consumo de oxígeno que se produce en las cargas de trabajo más altas de 250 y 300 Watts. Además, la ventilación por minuto aumenta significativamente con las cargas de 250 y 300 Watts, para satisfacer las necesidades de oxígeno de los músculos, lo que también indicaría, tal como se demostrara en los datos, una mayor respuesta respiratoria.

Estos resultados indican que la incorporación de vibración a la práctica de ciclismo puede ser un estímulo de refuerzo para el entrenamiento aeróbico.

Suhr et al. (15) realizaron un estudio con 12 hombres con el mismo dispositivo de vibración utilizado en este estudio, y afirmaron que la vibración mecánica influye en los factores involucrados en la inducción de angiogénesis. Por lo tanto, la adición de vibración al ciclismo podría tener un beneficio positivo en el entrenamiento aeróbico en atletas, así como también en pacientes que padecen enfermedades de obstrucción arterial.

Por otra parte, los resultados de nuestro estudio no revelan ninguna diferencia en la concentración de lactato en ninguna de las carga de trabajo, lo que sugeriría que no hay cambios en la producción de energía de la glucólisis. Esto podría deberse a cambios en el flujo sanguíneo muscular. Yue y Mester (8) demostraron que por efecto de vibración aplicada en todo el cuerpo se producía un aumento considerable en el flujo sanguíneo en los músculos del muslo y dilatación de los vasos pequeños. El análisis hidrodinámico permite visualizar el mecanismo por el cual se produce el aumento en el flujo de sangre a través de la deformación de vasos.

Como reacción de compensación frente a la vibración, se abren mayor cantidad de capilares para mantener los niveles necesarios de gasto cardíaco, dando como resultado un metabolismo más eficaz entre la sangre y las fibras musculares. El músculo esquelético es el mayor productor de ácido láctico del cuerpo, pero sus fibras oxidativas también emplean ácido láctico como combustible durante la respiración (16). Por lo tanto, si la práctica de ciclismo con vibración provoca una apertura adicional de vasos, que permiten un aumento en la distribución de sangre, esto favorecería la eliminación de lactato del tejido muscular (17).

En término medio, no se observaron diferencias estadísticas en los índices de esfuerzo percibido y sensación de esfuerzo muscular, entre ambos tests.

Aunque el consumo de oxígeno aumentó  $100-160 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$  en las intensidades más altas, lo que indicaría posiblemente una mayor actividad muscular; no se registraron diferencias entre las dos sesiones, en las valoraciones de esfuerzo percibido y esfuerzo muscular que realizaron los participantes.

En los datos considerados, las diferencias en el consumo de oxígeno y ventilación por minuto entre los tests son bastante pequeñas. La diferencia máxima entre pedalear con y sin vibración está entre  $100$  y  $160 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ . Por lo tanto, podría considerarse que pedalear con el estímulo de vibración empleado, no afectaría los índices de esfuerzo percibido.

## Conclusiones

Este estudio demuestra cambios mínimos, pero estadísticamente significativos, en el consumo de oxígeno medido en las cargas de trabajo más altas, pero no se observaron cambios en el lactato sanguíneo y en las respuestas de percepción, cuando se incorpora vibración a la práctica de ciclismo. En conjunto, los resultados coinciden con los resultados provenientes de estudios que utilizaron plataformas de vibración y revela la posibilidad de observar cambios en el consumo de oxígeno cuando se agrega vibración al ciclismo, especialmente en las cargas de trabajo más altas.

Las futuras investigaciones deberían abordar el estudio de los efectos crónicos de practicar ciclismo con vibración sobre aspectos tales como angiogénesis, daño muscular y cambios en el rendimiento cardiorrespiratorio.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los estudiantes de la German Sport University, Jennifer Wegrzyk y Simon Nitsch por su colaboración en la recolección de datos y en la revisión de la bibliografía.

### Dirección para Envío de Correspondencia

Billy Sperlich, PhD., Institute of Training Science and Sport Informatics, German Sport University Cologne, Germany, Am Sportpark Müngersdorf, 50933 Köln, Alemania, Teléfono (+49-221/4982-4850) -Fax: (+49-221/4982-8180; correo electrónico: sperlich@dshs-koeln.de.

## REFERENCIAS

---

1. Bosco C., Colli R., Intorini E. et al (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 1999; 19:183-187
2. Bosco C., Locovelli M., Tsarpela O. et al (2000). Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* 81:449-454
3. Rittweger J., Beller G., Felsenberg, D (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 2000; 20:134-142
4. Clark F. J., Matthews P. B., Muir R. B (1981). Motor unit firing and its relation to tremor in the tonic vibration reflex of the decerebrate cat. *J Physiol* 313:317-334
5. Goodwin G. M., McCloskey D. I., Matthews P. B (1972). A systematic distortion of position sense produced by muscle vibration. *J Physiol* 221:8-9
6. Da Silva M. E., Fernandez J. M., Castillo E. et al (2007). Influence of vibration training on energy expenditure in active men. *J Strength Cond Res* 21:470-475
7. Rittweger J., Ehrig J., Just K. et al (2002). Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *Int J Sports Med* 23:428-432
8. Yue Z., Mester J (2007). On the cardiovascular effects of whole-body vibration Part I. Longitudinal Effects: Hydrodynamic Analysis. *Studies in Applied Mathematics* 119 (2):95-109
9. Samuelson B., Jorfeldt L., Ahlborg B (1989). Influence of vibration on work performance during ergometer cycling. *Ups J Med Sci* 94:73-79
10. Brown M. C., Engberg I., Matthews P. B (1967). The relative sensitivity to vibration of muscle receptors of the cat. *J Physiol* 192:773-800
11. Burke D., Hagbarth K. E., Lofstedt L. et al (1967). The responses of human muscle spindle endings to vibration during isometric contraction. *J Physiol* 261:695-711
12. Person R., Kozhina G (1992). Tonic vibration reflex of human limb muscles: discharge pattern of motor units. *J Electromyography Kinesiology* 2:1-9
13. Spitzenpfeil P., Schwarzer J., Fiala M. et al (1999). Strength training with whole body vibrations. Single case studies and time series analysis. *Proceedings of the 4th Annual Congress of the European College of Sport Science* 613
14. Mester J., Hartmann U., Hoffmann U. et al (2001). Biological response to vibration load. In: Müller E, Schwameder H, Raschner C, et al. (Eds.) *Science and skiing II*
15. Suhr F., Brixius K., de Marees M. et al (2007). Effects of short-term vibration and hypoxia during High intensity cycling exercise on circulating levels of angiogenic regulators in humans. *J Appl Physiol* 103 (2):474-483
16. Juel C., Halestrap A. P (1999). Lactate transport in skeletal muscle - role and regulation of the monocarboxylate transporter. *J Physiol* 517:633-642
17. Juel C (1997). Lactate-proton cotransport in skeletal muscle. *Physiol Rev* 77:321-358
18. Borg G., Nobel B. J (1974). Perceived exertion. In *Exercise and Sport Science Reviews*. Academic Press, New York

### Cita Original

Sperlich B, Kleinoeder H, DE Marees M, Quarz D, Linville J, Haegele M, Mester J. Physiological and perceptual responses of adding vibration to cycling. *JEPonline*, 12 (2): 40-46, 2009.