Article

Potencia y Eficiencia Durante una Cicloergometría en Decúbito Supino, Reclinado y Erguido

Anja Wehrle[1,2], Sarah Waibel[3], Albert Gollhofer[2] y Kai Roecker[4]

[1]*Institute for Exercise and Occupational Medicine, Faculty of Medicine, Medical Center, University of Freiburg, Freiburg, Germany*
[2]*Institute of Sport and Sport Science, University of Freiburg, Freiburg, Germany*
[3]*Department of Neurology and Neuroscience, Faculty of Medicine, Medical Center, University of Freiburg, Freiburg, Germany*
[4]*Institute for Applied Health Promotion and Exercise Medicine (IfAG), Furtwangen University, Furtwangen, Germany*

RESUMEN

El ciclismo en decúbito supino y reclinado son modos de ejercicio comunes en entornos clínicos y de rehabilitación, pero la influencia de las posturas sobre la eficiencia del trabajo no está clara. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia metabólica y ventilatoria durante las posturas erguida, recostada y supina. Deben evaluarse las posibles diferencias para un diagnóstico adecuado y para prescripciones de entrenamiento que probablemente se realiza en posturas alternativas. Dieciocho sujetos sanos (edad: 47.2±18.4 años; 10 mujeres, 8 hombres) participaron en el estudio y cada uno completó tres pruebas de cicloergómetro incrementales hasta el agotamiento en posición vertical, reclinada (40°) y supina. Se analizaron el intercambio de gases, la frecuencia cardíaca (FC) y las concentraciones de lactato y posteriormente se calculó la eficiencia. Las sesiones de prueba se realizaron en orden aleatorio dentro de un período de 2 semanas. El ciclismo vertical dio como resultado valores máximos significativamente más altos [potencia, consumo de oxígeno (VO2), FC], así como el rendimiento en los umbrales de lactato y ventilación en comparación con las posiciones recostadas o supinas. La curva del VCO2/VO2 y la eficiencia ventilatoria (curva VE/VCO2) no se vieron afectadas por la postura. La eficiencia del trabajo aeróbico (curva VO2/P) y la eficiencia bruta (GE) difirieron significativamente entre las posturas. Por lo tanto, la GE fue más baja en el ciclismo en decúbito supino, particularmente obvia en una condición principalmente aeróbica a 70 vatios [mediana 11.6 (IQR 10.9-13.3) vs condición reclinada: 15.9 (IQR 15.6-18.3) y en posición vertical: 17.4 (IQR 15.1-18.3)]. La potencia máxima, así como los valores de GE y de eficiencia en el trabajo están influenciados por la posición al hacer ejercicio de pedaleo, lo que refuerza la importancia de ajustar los resultados de las pruebas para las prescripciones de entrenamiento. Sorprendentemente, la eficiencia ventilatoria no se vio afectada en este estudio y, por lo tanto, no parece 'falsear' los resultados de las pruebas para el diagnóstico pulmonar.

INTRODUCCIÓN

El ciclismo es uno de los métodos más comunes para evaluar y promover el fitness cardiorrespiratorio en los deportes recreativos, así como en la rehabilitación y la práctica clínica (Garber y cols., 2011; American College of Sports Medicine y cols., 2018). Los tests de ejercicio cardiopulmonar (CPET) juegan un papel importante en la evaluación de la capacidad física y la obtención de información útil de diagnóstico y pronóstico clínico (Guazzi y cols., 2012, 2016; Arena y cols., 2020)

en pacientes con enfermedades cardiovasculares y pulmonares. Los resultados de la prueba de ejercicio cardiopulmonar se utilizan para prescribir intensidades de entrenamiento adecuadas para estímulos de entrenamiento apropiados (Pedersen y Saltin, 2015) o para evaluar la efectividad de las intervenciones de ejercicio, especialmente en entornos de investigación.
El ciclismo en decúbito o incluso en decúbito supino son alternativas de uso frecuente al ciclismo en posición vertical estándar (comparación en la Figura 1), por razones de seguridad y para evitar movimiento que interfieran en los electrocardiogramas. Al medir la potencia en vatios (W), la cicloergometría proporciona una solución teórica para calificar los resultados entre diferentes variantes de pruebas. Sin embargo, la transferibilidad limitada de una posición a otra (Ray y Cureton, 1991; Bonzheim y cols., 1992) debe considerarse utilizando los resultados del CPET como base para diagnósticos clínicos o de rendimiento. Para proporcionar recomendaciones de entrenamiento adecuadas, también se debe tenerse en cuenta la posición en la bicicleta, especialmente si las posturas de entrenamiento y prueba en el ergómetro son diferentes.

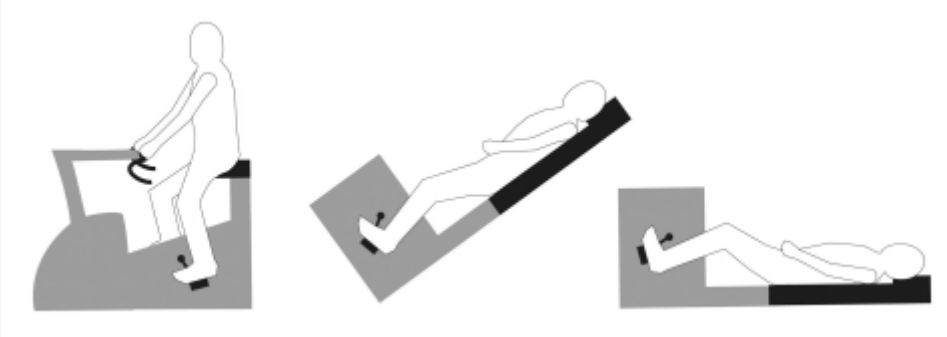

Figura 1. *Ilustración de las tres diferentes posturas en la bicicleta.*

Se ha demostrado en varias investigaciones que la postura en la bicicleta influye en los resultados circulatorios y metabólicos y, por lo tanto, también en el rendimiento del ciclismo (Faria y cols., 2005). Una de las principales razones de las diferencias entre el ciclismo en posición vertical y supina parece ser la distancia vertical entre los músculos activos y el corazón, que altera el efecto gravitacional y, por lo tanto, influye en el retorno venoso, el gasto cardíaco y la presión de perfusión en los músculos activos (Leyk y cols., 1994; Fitzpatrick y cols., 1996; Egaña y cols., 2010a). Distintas investigaciones confirman estas diferencias entre el ciclismo en decúbito supino y en posición vertical en términos de frecuencia cardíaca máxima (FC) más alta y rendimientos máximos más altos, tiempo hasta el fallo o potencia máxima en posición vertical. Los resultados difieren con respecto al pico de VO2. Además, las diferentes posiciones entre la postura de ciclismo en posición vertical y supina, definida por el grado de inclinación hacia atrás, revelan una mayor desviación del resultado en comparación con el ciclismo en posición vertical y supina (Egaña y cols., 2010a, 2013).

Además, Leyk y cols. (1994) informaron un gradiente de concentración de lactato más pronunciado durante las pruebas de ejercicio incrementales en posición supina, lo que implica que los métodos utilizados para las prescripciones de entrenamiento [por ej., el umbral anaeróbico individual por lactato (IAT)] también parecen depender de la postura y, por lo tanto, pueden requerir ajustes al evaluar y la posición de entrenamiento es diferente. Sin embargo, no está claro hasta qué punto cambian las concentraciones de lactato en sangre durante el ejercicio en diferentes posiciones.

Con respecto a la ventilación, estudios previos han demostrado que las posiciones en decúbito supino inducen una ventilación reducida en comparación con el ciclismo en posición vertical. Sin embargo, para aclarar las posibles causas de esta observación, sólo se conocen pocos datos sobre cómo las diferentes posturas influyen en la eficiencia ventilatoria (Armor y cols., 1998; Terkelsen y cols., 1999), aunque se ha demostrado que la eficiencia ventilatoria es un factor pronóstico importante para la mortalidad en pacientes con insuficiencia cardíaca (Arena y cols., 2007). Ambos estudios compararon sólo la posición vertical con la supina. Hasta donde sabemos, no se ha considerado una posición reclinada. Además, se ha demostrado que la postura altera la cinética del VO2 (Leyk y cols., 1994; Koga y cols., 1999; Egaña y cols., 2013), factor que potencialmente refleja la eficiencia metabólica. Sin embargo, la eficiencia del ciclismo se ha investigado principalmente en el ciclismo de carga constante (Hughson y cols., 1991; Leyk y cols., 1994; Koga y cols., 1999; Egaña y cols., 2006) más que durante las pruebas de ejercicio graduadas (DiMenna y cols., 2010a), que se suelen aplicar en los tests de CPET. Además, la mayoría de los estudios compararon sólo dos posturas, mientras que dos grupos de investigación (Quinn y cols., 1995; Egaña y cols., 2013) emplearon posturas adicionales, mejorando así el valor informativo de sus investigaciones, pero los datos sobre la eficiencia del ciclismo en una postura reclinada faltan en este punto.

En la práctica clínica, se utilizan habitualmente posiciones de ciclismo especialmente en decúbito; sin embargo, la

interpretación de los resultados aún está en debate. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia metabólica y ventilatoria, así como las estrategias de respiración durante el ciclismo en tres posturas de trabajo comunes [erguido, recostado (inclinado hacia atrás 40°) y supino] para determinar cómo las posibles diferencias y resultados son mejores evaluados y procesados para diagnósticos clínicos adecuados y prescripciones de entrenamiento.

Esperamos que la inclinación hacia atrás dé lugar a valores máximos más bajos y potencias submáximas más bajas, según la literatura. Se proporcionarán nuevos hallazgos al comparar la eficiencia en las tres posiciones de ciclismo mencionadas, que se espera que se reduzca cuanto más se incline la posición hacia atrás, lo que puede resultar en un aumento de los valores de VO2 submáximos con potencias submáximas más bajas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sujetos

Dieciocho sujetos participaron en este estudio. El reclutamiento se llevó a cabo a través de un posteo en la Universidad de Friburgo. Los sujetos fueron reclutados a través de un stand en la universidad. Después de leer la información del estudio, todos los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito. El presente estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la Comisión de Ética del Centro Médico Universitario de Friburgo, Alemania y registrado de forma prospectiva en el Registro Alemán de Ensayos Clínicos (DRKS00004672).

Test de ejercicio

Los participantes visitaron nuestro laboratorio para tres sesiones de prueba separadas y completaron tres tests de ejercicio de pedaleo incremental hasta el agotamiento en posición vertical, reclinada (40°) y supina (Figura 1). Las pruebas se realizaron en orden aleatorio el mismo día y hora a intervalos semanales. Se pidió a los participantes que evitaran cualquier ejercicio vigoroso 24 hs antes de las sesiones de prueba y que mantuvieran su estilo de vida habitual durante la duración del estudio.

Los tests se realizaron en cicloergómetros con freno electrónico (en posición vertical: Lode Inc., Groningen, Países Bajos; recostado/supino: Ergoline 900, Bitz, Alemania), que miden potencias idénticas. Ambos cicloergómetros se calibraron con regularidad, se mantuvieron y se verificaron periódicamente para verificar la precisión de la medición. Los ángulos de las rodillas se midieron con un goniómetro para mantener constantes las condiciones biomecánicas entre las posturas. Para evitar grandes diferencias en el ángulo de la cadera, los participantes se colocaron en un plano vertical con la parte superior del cuerpo en posición vertical en el ergómetro vertical estándar (ver Figura 1).

El intercambio de gases y la ventilación se registraron continuamente mediante un sistema de análisis de gases respiro a respiro (Oxycon Delta, Jaeger, Hochberg, Alemania). El sensor de volumen se calibró con una jeringa de 3 L antes de cada prueba, y las concentraciones de gas se calibraron diariamente contra una referencia (16.0% O2 y 5.0% CO2) y contra el entorno de la habitación teniendo en cuenta la humedad, todo de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La temperatura ambiente se reguló constantemente para medir 20-21°. Después de recopilar los datos en reposo, las pruebas de ejercicio comenzaron con una carga de trabajo de 20 W y aumentaban en 10 W por minuto. Los participantes eligieron su cadencia de pedaleo preferida entre 60 y 70 rpm en la primera prueba, que se mantuvo y controló en cada uno de los ajustes aplicados.

Se asumió como agotamiento cuando los sujetos no podían mantenerse dentro de su cadencia de pedaleo autodeterminada (menos 5/rpm) durante más de 10 seg.

Recopilación de datos

La frecuencia cardíaca se midió de forma continua mediante electrocardiografía (AT 10 plus, Schiller, Baar, Suiza). En reposo y al final de cada etapa de ejercicio, se tomaron 20 µl de sangre capilar del lóbulo de la oreja hiperemizado para el análisis de la concentración de lactato (Biosen S-Line, EKF-diagnostics, Barleben, Alemania). La presión arterial sistólica y diastólica (PAS, PAD) medida manualmente y el esfuerzo percibido subjetivamente (escala RPE 6-20, Borg, 1982) se documentaron al finalizar la prueba. El umbral de lactato (LT) y el IAT se calcularon utilizando un software especial (Ergonizer, Freiburg, Alemania). El umbral de lactato fue definido como la intensidad de ejercicio más alta antes del inicio de la acumulación de lactato (Wasserman y cols., 1986), y el IAT se describió como un aumento neto de 1.0 mmol/l por encima de la línea de base, correspondiente al LT (Coyle y cols., 1983).

Se definieron valores de VO2 pico y ventilación minuto (VE) como los valores promedio durante los últimos 30 seg de

ejercicio, mientras que el volumen corriente (tidal) máximo (VT) se tomó como el valor promedio más alto para intervalos de 10 seg durante la prueba de ejercicio. Los valores submáximos de VO2 y VCO2 se analizaron en LT, IAT, umbral anaeróbico ventilatorio (AT), punto de compensación respiratoria (RCP), 70W [VO2(70W)] y al 70% de la potencia máxima promedio [VO2(70%)]. El AT de cada sujeto se identificó mediante el método de pendiente V (Beaver y cols., 1986). El RCP se determinó en el punto de aumento sobreproporcional en la gráfica de VE/VCO2 (Beaver y cols., 1986; Meyer y cols., 2005) y fue estimada visualmente por dos investigadores experimentados de forma independiente. En caso de discrepancia, el valor utilizado para el análisis fue el de mejor concordancia. Si no se llegó a un acuerdo, un tercer supervisor independiente tomó la decisión.

La eficiencia metabólica y ventilatoria se calculó off-line. La eficiencia ventilatoria está representada por las pendientes de los ajustes lineales para VE/VCO2 (Habedank y cols., 1998) y VCO2/VO2 (Cooper y cols., 1992; Honold y cols., 2008) desde el comienzo de la fase de carga hasta el AT. La eficiencia del trabajo aeróbico se describe mediante la pendiente del VO2/P hasta el RCP y sin datos de inicio para excluir el comportamiento del VO2 no lineal (Pokan y cols., 1995; Zoladz y cols., 1995). La eficiencia bruta (GE) se determinó aplicando la siguiente ecuación (Ettema y Lorås, 2009):

$$GE\,(\%) = \frac{Ritmo\ de\ Trabajo\ (W)}{Energía\ gastada}\left(\frac{J}{s}\right) \cdot\ 100,$$

mientras que el gasto energético se calculó según lo descrito por Faria y cols. (2005) utilizando la fórmula de Brouwer (1957), que incluye una corrección contra el cambio de la relación de intercambio respiratorio (RER) durante el ejercicio:

$$\frac{J}{s} = [(3.869 \cdot \dot{V}O_2) + (1.195\dot{V}CO_2)] \cdot (4.186/60), \qquad (2)$$

La GE se calculó en Pmáx y en AT y con una carga de trabajo de 70W (GE70w). Elegimos 70W porque era la carga de trabajo más alta en la que todos los sujetos permanecían muy por debajo del RER de 1.0 en posición vertical; por lo tanto, esta carga de trabajo representa una condición principalmente aeróbica con ausencia de producción de CO2 “no metabólico”, independiente de la capacidad de trabajo individual.

Análisis estadístico

Los supuestos de distribución normal se verificaron mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Debido a que algunas variables no se distribuyen normalmente, las diferencias entre las posturas se analizaron utilizando la prueba no paramétrica de Friedman. Se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0.05$. Si se detectaban diferencias significativas, se utilizaba una prueba de rango con signo de Wilcoxon con corrección de Bonferroni ($a = 0.017$) para las comparaciones por pares. Todos los datos se presentan como mediana y cuartil superior-inferior, excepto las características de los sujetos, que se expresan como media ±desviación estándar (SD). Los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS versión 22.0.

RESULTADOS

Dieciocho sujetos con actividad recreativa (0.5-12.5 hs de actividad física/semana) participaron en este estudio (sexo: 10 mujeres, 8 hombres; edad: 47.2±18.4 años; altura corporal: 172.0±8.5 cm; peso corporal: 74.2±12.8 kg). Se excluyeron los sujetos con infecciones agudas, pulmonares agudas o crónicas o enfermedades cardiovasculares.

Los resultados del CPET en tres posturas de ciclismo diferentes se presentan en la Tabla 1.

El ciclismo en posición vertical resultó en valores de Pmáx y de VO2pico significativamente mayores en comparación con una posición reclinada y supina ($P < 0.001$). Además, en el nivel submáximo (70% de Pmáx) Los valores de VO2 fueron más altos cuando se pedaleó en posición vertical ($P = 0.016$). Esta diferencia no fue detectable en condiciones principalmente aeróbicas (70W). Los umbrales de lactato y ventilación revelaron las mismas respuestas en términos de umbrales aumentados en la posición erguida cuando se realizaron comparaciones individuales entre las posiciones (LT $P < 0.001$, IAT $P < 0.001$, AT $P = 0.001$, RCP $P = 0.006$). Además, en la posición erguida se detectaron umbrales a VO2 y VCO2 más altos. Las concentraciones de lactato en los umbrales máximo y submáximo no difirieron entre las posturas.

***Tabla 1**. Resultados de la prueba de esfuerzo cardiopulmonar en tres posturas de ciclismo diferentes*

	Postures						
	Upright		Recumbent		Supine		*P*-value
P_{max} (Watt)	201	(160–233)	170	(140–211)[a]	165	(138–204)[a]	**<0.001**
HR_{max} (min^{-1})	170	(156–183)[b]	168	(153–190)[b]	158	(144–181)	**<0.001**
Vo_{2peak} ($L \cdot min^{-1}$)	2.64	(2.15–2.89)	2.38	(2.00–2.74)[a]	2.36	(2.03–2.52)[a]	**<0.001**
Vo_{2peak} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	35.0	(27.8–44.6)	31.6	(25.6–42.1)[a]	31.3	(25.2–40.1)[a]	**<0.001**
VCo_{2peak} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	41.6	(34.6–54.2)	38.3	(31.6–50.5)[a]	36.5	(29.2–47.7)[a]	**<0.001**
O_2pulse_{max} ($ml \cdot beat^{-1}$)	15.8	(13.2–17.8)	15.1	(12.1–17.1)	15.4	(12.4–17.3)	0.056
$Lact_{max}$ ($mmol^{-1}$)	8.69	(7.31–9.77)	8.46	(6.81–10.51)	8.81	(7.22–10.00)	0.881
RER_{max}	1.18	(1.15–1.21)	1.20	(1.13–1.24)	1.16	(1.11–1.22)	0.311
SBP_{max} (mmHg)	185	(165–205)	205	(170–223)	185	(169–203)	**0.009**
DBP_{max} (mmHg)	90	(80–100)	90	(80–101)	85	(80–96)	0.235
RPE_{max} (score 6–20)	19	(18–19)	19	(17–20)	19	(18–20)	0.249
LT (Watt)	100	(79–114)	77	(68–103)[a]	75	(67–79)[a]	**<0.001**
HR_{LT} (min^{-1})	126	(111–133)	115	(102–125)[a]	112	(104–121)[a]	**<0.001**
$Vo_{2(LT)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	19.3	(16.6–24.4)	18.2	(16.0–20.4)[a]	17.9	(15.9–19.0)[a]	**<0.001**
$VCo_{2(LT)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	18.4	(15.5–22.3)	16.5	(13.9–20.0)[a]	15.5	(13.7–18.0)[a]	**<0.001**
O_2pulse_{LT} ($ml \cdot beat^{-1}$)	12.3	(10.6–14.0)	12.0	(11.9–13.7)	11.9	(9.8–13.8)	0.080
$Lact_{LT}$ ($mmol^{-1}$)	1.65	(1.17–2.01)	1.46	(1.03–2.02)	1.59	(1.18–1.86)	0.211
IAT (Watt)	136	(113–156)	110	(95–137)[b]	108	(94–119)[b]	**<0.001**
HR_{IAT} (min^{-1})	141	(128–155)	132	(115–145)[a]	122	(116–139)[a]	**<0.001**
$Vo_{2(IAT)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	23.5	(20.6–30.9)	22.3	(20.4–26.4)[a]	22.3	(19.4–26.3)[a]	**<0.001**
$VCo_{2(IAT)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	24.9	(20.3–30.1)	23.0	(19.2–27.2)[a]	23.0	(18.2–25.4)[a]	**0.001**
O_2pulse_{IAT} ($ml \cdot beat^{-1}$)	13.1	(11.2–15.6)	14.2	(11.1–15.6)	13.1	(11.0–15.4)	0.230
$Lact_{IAT}$ ($mmol^{-1}$)	2.65	(2.19–3.02)	2.47	(2.03–3.03)	2.59	(2.19–2.86)	0.270
AT (Watt)	83	(70–110)	68	(59–90)[b]	65	(50–103)[b]	**0.001**
HR_{AT} (min^{-1})	117	(108–131)	108	(96–126)	109	(99–123)[a]	**0.013**
$Vo_{2(AT)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	19.0	(16.4–22.1)	16.5	(15.7–20.0)	17.0	(12.8–21.8)[a]	**0.002**
$VCo_{2(AT)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	16.6	(14.4–21.0)	15.5	(12.4–18.0)	15.1	(10.6–18.1)[a]	**0.030**
O_2pulse_{AT} ($ml \cdot beat^{-1}$)	11.5	(10.3–14.7)	11.8	(9.7–14.7)	11.4	(9.2–14.2)	0.486
$Lact_{AT}$ ($mmol^{-1}$)	1.57	(1.02–1.98)	1.51	(0.97–1.87)	1.60	(1.13–1.98)	0.546
RCP (Watt)	170	(148–195)	143	(115–173)[a]	135	(120–160)[a]	**0.006**
HR_{RCP} (min^{-1})	152	(145–171)[b]	150	(133–172)[b]	139	(128–161)	**0.001**
$Vo_{2(RCP)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	29.6	(26.2–36.6)	28.0	(22.3–35.4)	26.9	(21.5–32.2)[a]	**0.011**
$VCo_{2(RCP)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	34.0	(28.2–41.0)	28.4	(24.2–38.8)	28.8	(21.8–34.5)[a]	**0.008**
O_2pulse_{RCP} ($ml \cdot beat^{-1}$)	14.9	(11.1–17.0)	14.2	(11.3–17.0)	14.8	(12.1–17.0)	0.127
$Lact_{RCP}$ ($mmol^{-1}$)	5.00	(3.11–5.95)	4.99	(4.12–6.37)	5.08	(3.45–5.57)	0.472
HR_{70W} (min^{-1})	112	(99–126)	112	(95–120)	109	(101–117)	0.741
$Vo_{2(70W)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	16.8	(15.2–18.6)	17.6	(16.2–19.0)	18.1	(15.2–18.7)	0.348
$VCo_{2(70W)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	15.2	(12.8–16.8)	15.4	(13.0–17.7)	15.0	(13.2–17.8)	0.486
O_2pulse_{70W} ($ml \cdot beat^{-1}$)	11.3	(9.3–12.3)	11.6	(10.3–12.8)	11.9	(9.8–12.9)	0.513
$Lact_{70W}$ ($mmol^{-1}$)	1.47	(1.03–1.87)	1.45	(0.77–1.83)	1.51	(1.08–1.80)	0.946
$HR_{70\%}$ (min^{-1})	137	(125–149)	136	(120–157)	135	(121–157)	0.235
$Vo_{2(70\%)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	24.0	(21.8–29.2)	25.2	(22.8–30.2)[a]	25.3	(22.9–30.2)[a]	**0.016**
$VCo_{2(70\%)}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	25.3	(19.5–29.5)	26.6	(22.5–33.2)[a]	26.6	(21.7–34.0)[a]	**0.001**
$O_2pulse_{70\%}$ ($ml \cdot beat^{-1}$)	13.4	(11.0–15.9)	14.3	(11.6–16.9)	14.7	(11.2–17.2)[a]	**0.030**
$Lact_{70\%}$ ($mmol^{-1}$)	2.22	(1.94–2.60)	3.46	(2.96–4.08)[a]	3.43	(3.11–4.46)[a]	**<0.001**

Values presented as median and upper–lower quartile. P-values refer to differences across all three-test conditions. Bold font indicates statistical significance. P_{max}, maximum power; HR_{max}, maximum heart rate; Vo_2peak, peak oxygen consumption; VCO_{2peak}, peak carbon dioxide production; $Lakt_{max}$, maximum lactate concentration; RER, maximum respiratory exchange ratio; SBP_{max}, maximum systolic blood pressure; DBP_{max}, maximum diastolic blood pressure; RPE_{max}, rate of perceived exertion; LT, lactate threshold; IAT, individual anaerobic threshold; AT, aerobic threshold; RCP, respiratory compensation point; $Vo_2(70W)$, oxygen consumption at 70 Watt; $Vo_2(70\%)$, oxygen consumption 70% of averaged peak power output.

[a] *Significant difference from upright.*

[b] *Significant difference from supine.*

***Tabla 2**. Estrategia ventilatoria en tres diferentes posturas de ciclismo.*

	Postures						
	Upright		Recumbent		Supine		*P*-Value
VE_{max} ($L \cdot min^{-1}$)	96.0	(79.1–112.5)	91.8	(76.5–107.4)	88.2	(73.6–101.6)	0.092
VT_{max} (L)	2.33	(2.00–2.91)	2.04	(1.90–2.48)[a]	2.28	(1.82–2.54)[a]	**<0.001**
$VFREQ_{max}$ (min^{-1})	39.7	(32.7–44.7)	43.1	(37.2–47.0)	38.2	(33.2–43.2)	0.223
VE_{RCP} ($L \cdot min^{-1}$)	70.5	(54.8–79.3)	62.8	(48.9–75.8)	62.1	(52.3–63.5)	0.075
VT_{RCP} (L)	2.30	(1.78–2.73)	1.99	(1.77–2.39)[a]	2.00	(1.57–2.56)[a]	**0.005**
$VFREQ_{RCP}$ (min^{-1})	29.0	(26.1–31.4)	30.6	(26.8–34.9)	31.3	(27.0–33.5)	0.472
VE_{AT} ($L \cdot min^{-1}$)	35.0	(30.0–44.0)	30.0	(25.8–39.8)[a]	28.5	(25.8–37.0)[a]	**0.025**
VT_{AT} (L)	1.69	(1.44–2.10)	1.54	(1.15–1.79)[a]	1.44	(1.10–2.06)[a]	**0.005**
$VFREQ_{AT}$ (min^{-1})	21.0	(17.5–22.5)	21.0	(18.8–24.5)	22.5	(18.0–25.3)	0.185

Values are presented as median and upper–lower quartile. P-values refer to differences across all three test conditions. Bold font indicates statistical significance. VE, minute ventilation; RCP, respiratory compensation point; AT, aerobic threshold; VT, tidal volume; VFREQ, ventilation frequency.
[a]*Significant difference from upright.*

***Tabla 3**. Eficiencia ventilatoria y metabólica en tres diferentes posiciones de ciclismo.*

	Postures						
	Upright		Recumbent		Supine		*P*-Value
$VE/Vo_{2(AT)}$	23.6	(20.4–26.5)	23.2	(21.2–25.6)	23.7	(21.9–25.0)	0.801
$VE/VCo_{2(AT)}$	27.2	(22.6–28.6)	27.2	(24.3–29.7)	26.7	(23.7–30.9)	0.066
$VE/Vo_{2(peak)}$	34.2	(32.4–37.0)	34.5	(32.9–39.3)	34.1	(31.7–38.7)	0.389
$VE/VCo_{2(peak)}$	28.9	(27.8–33.6)	30.3	(27.1–33.8)	30.1	(28.7–32.5)	0.211
Slope VE/VCo_2	25.0	(23.8–26.8)	23.4	(23.2–26.1)	24.9	(23.5–27.1)	0.931
Slope VCo_2/Vo_2	0.84	(0.79–0.91)	0.83	(0.67–0.87)	0.79	(0.70–0.88)	0.056
Slope Vo_2/P ($ml \cdot min^{-1} \cdot W^{-1}$)	10.0	(9.5–10.7)	10.8	(10.4–11.9)[a]	10.9	(10.0–12.6)[a]	**<0.001**
GE_{Pmax} (%)	20.6	(20.1–22.1)	19.5	(18.3–21.1)[a]	20.0	(18.7–21.3)	**0.002**
GE_{AT} (%)	18.8	(15.3–20.7)	15.8	(14.7–18.1)	16.9	(14.6–18.7)	**0.034**
GE_{70W} (%)	17.4	(15.1–18.3)[b]	15.9	(15.6–18.3)[b]	11.6	(10.9–13.3)	**<0.001**

Values are presented as median and upper–lower quartile. P-values refer to differences across all three test conditions. Bold font indicates statistical significance. VE, minute ventilation, AT, aerobic threshold; P, power; GE_{Pmax}, gross efficiency at peak power output; GE_{AT}, gross efficiency at aerobic threshold; GE_{70W}, gross efficiency at 70 W.
[a]*Significant difference from upright.*
[b]*Significant difference from supine.*

La frecuencia cardíaca se redujo significativamente en la posición supina (Pmáx <0.001, LT P <0.001, IAT P <0.001, AT P = 0.013, RCP P = 0.001). En cuanto al pulso de oxígeno (O2pulso), no existen diferencias entre las posturas. La PADmáx no difirió entre las posturas, mientras que se observó una diferencia significativa en la PASmáx entre las posturas (P = 0.009). Sin embargo, después de la comparación por pares, esta diferencia dejó de ser significativa. Los valores de RPE y RER al nivel máximo no difirieron entre las posturas.

Eficiencia ventilatoria

Al analizar los equivalentes ventilatorios de O2 (EQO2: VO2/VE) y de CO2 (EQCO2: VCO2/VE) en AT y al final de la prueba, no aparecieron diferencias entre las posturas. Además, las estimaciones de la eficiencia ventilatoria (pendiente VE/VCO2) y la pendiente VCO2/VO2 no se vieron afectadas por la postura (ver Tabla 3).
Sin embargo, al pedalear en posición supina o recostada, los sujetos mostraron una tendencia hacia una respiración menos profunda en comparación con la posición erguida: la VE disminuyó ligeramente, probablemente como consecuencia de una disminución significativa en el VT (Tabla 2). Este cambio se observó en el RCP (VT RCP, P = 0.005), en la Pmáx (VTmáx, P <0.001) y en AT (VT AT, P = 0.005).

Eficiencia del trabajo y eficiencia bruta

Como se muestra en la Tabla 3, la eficiencia del trabajo aeróbico (pendiente VO2/P) fue significativamente mayor durante el pedaleo en la postura erguida que durante el pedaleo en decúbito y en supino (P <0.001). También notamos diferencias significativas en los resultados de la GE entre las posturas en diferentes cargas de trabajo: en Pmáx (P = 0.002), AT (P = 0.034) y en una carga de trabajo absoluta de 70W (P <0.001). El análisis *post-hoc* indicó que la GEPmáx en el ciclismo en posición vertical fue significativamente más alto que en el ciclismo en reclinado, aunque no en el ciclismo en decúbito supino. Las comparaciones de la GE en AT (GEAT) individuales *post-hoc* no revelaron diferencias significativas entre las posiciones, aunque la GE70w en la postura supina se redujo significativamente en comparación con las posturas recostada y erguida; P <0.001 (ver Figura 2). Los gráficos de Bland-Altman (Figura 3) ilustran la dimensión de las diferencias entre las tres posturas diferentes.

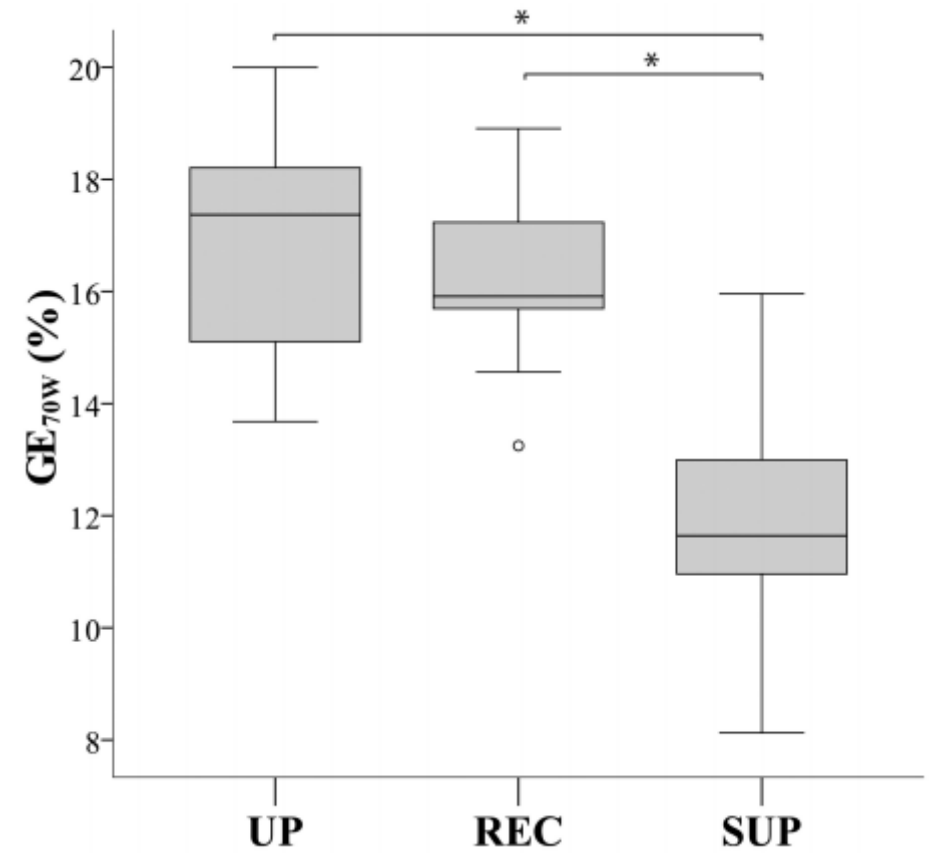

Figura 2*. Diagramas de caja que comparan la eficiencia bruta a 70 vatios (GE70W) entre las posturas de ciclismo. UP, en posición vertical; REC, reclinado; SUP, supino. * Diferencia significativa (P ≤0.001).*

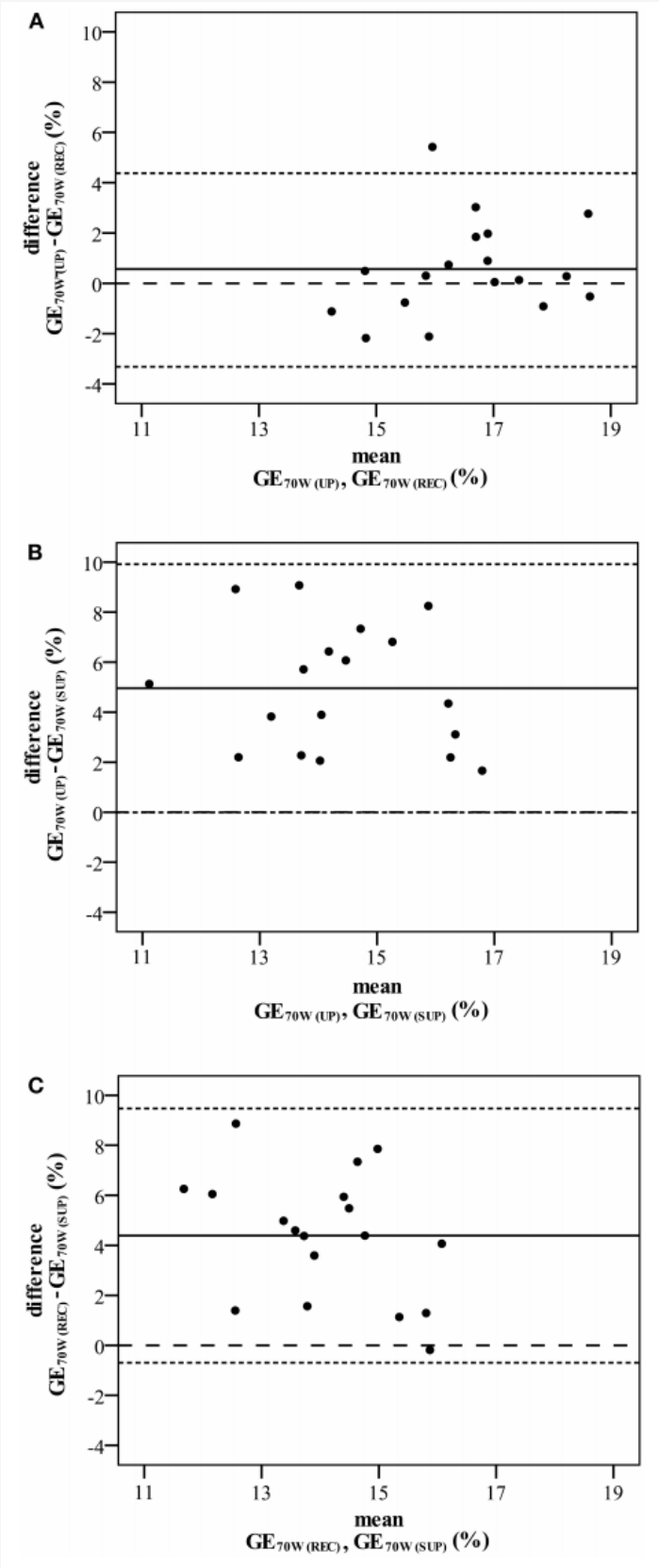

Figura 3. *Gráficos de Bland Altman que comparan la eficiencia bruta a 70 vatios (GE70W) durante el ciclismo en posición vertical y en decúbito (A), ciclismo en posición vertical y supina (B) y ciclismo en decúbito y supino (C). Las líneas horizontales continuas del medio corresponden a la diferencia media entre las posturas, las líneas horizontales punteadas superior e inferior representan los límites de concordancia del 95% dados por la diferencia media ±SD. Las líneas discontinuas significan cero diferencias entre las posturas.*

DISCUSIÓN

Los principales y novedosos hallazgos de este estudio son dobles. En primer lugar, la eficiencia del ciclismo disminuyó al inclinar el cuerpo en una posición reclinada o supina en términos de disminución de la eficiencia del trabajo aeróbico; La GE bajo una condición predominantemente aeróbica, se redujo significativamente en la posición supina. En segundo lugar, sorprendentemente la eficiencia ventilatoria no se ve afectada por la postura, aunque la respiración fue menos profunda en las posiciones recostada y supina con un VT significativamente disminuido.

Estrategia de eficiencia y respiración

Los valores de la pendiente del VO2/P fueron significativamente más altos en las posiciones supina y reclinada que en la posición erguida. Esto parece coincidir con hallazgos anteriores, que mostraron una curvilinealidad ascendente por encima del AT en el pedaleo supino (Koga y cols., 1999; DiMenna y cols., 2010a). Este aumento no proporcional en el costo de oxígeno del trabajo, que ahora también podría mostrarse en una posición reclinada, se puede atribuir al trabajo adicional de ayudar a los músculos con cargas de trabajo más altas, por ejemplo, el tronco y los músculos respiratorios (Jones y cols., 2011). Además, en la posición reclinada o supina, el apoyo proporcionado por el peso corporal del sujeto es menor o está completamente ausente. La fuerza requerida para mover el pedal debe ser proporcionada aquí completamente por la contracción dinámica y menos por la sujeción estática, lo que puede explicar una gran parte de esta diferencia. La contribución aumentada de las fibras musculares tipo II en ejercicios por encima del AT (Barstow y cols., 2000; DiMenna y cols., 2010a; Jones y cols., 2011) y, por lo tanto, el mayor costo de O2 de la producción de ATP, también puede ser responsable de la pendiente más pronunciada y, en particular, mostró un impacto en posiciones de ciclismo poco familiares e ineficientes. Además, se asume una perfusión muscular alterada debido a la posición supina (Koga y cols., 1999; DiMenna y cols., 2010b) o reclinada. La pendiente no se vio afectada sustancialmente por el posible trabajo de la parte superior del cuerpo debido al agarre del manubrio en una posición vertical. Probablemente, la influencia del soporte del peso corporal, ya descrita anteriormente, puede desempeñar un rol de contrapeso.

Curiosamente, la GE70W se redujo significativamente en la posición supina en el presente estudio, revelando que la inclinación del cuerpo afecta significativamente a la eficiencia. Aún ante una carga metabólica baja a 70W para todos los sujetos evaluados, nuestros resultados con respecto a la GE70W ya pueden dar una indicación de la fatiga muscular en una etapa temprana de la prueba. Algunos otros grupos de trabajo presentaron evidencia de que la tasa de fatiga durante el ejercicio aumenta cuando el cuerpo está inclinado en una posición supina o reclinada (Fitzpatrick y cols., 1996; Egaña y Green, 2007). Más concretamente, Egaña y cols. (2010b) confirmaron estos resultados durante el ciclismo de carga constante de alta intensidad en decúbito supino vs una postura más erguida, y esta tasa más alta de fatiga fue acompañada por una mayor activación muscular (Egaña y cols., 2010b). De hecho, esto refleja el mayor costo de energía durante el ciclismo en decúbito supino y puede explicar la eficiencia reducida en las posturas en reclinado y en decúbito supino en este estudio. Aunque la contribución gravitacional mecánica neta a la potencia del pedal es mínima, la proyección del centro de gravedad y, por lo tanto, un mayor contra-confort debido al peso corporal en la postura erguida, así como un patrón de activación muscular diferente (Brown et al., 1996), podría haber influido en la GE. Para una comprensión más profunda de los mecanismos detrás de las diferentes respuestas, el uso de otras técnicas no invasivas (por ejemplo, espectroscopía de infrarrojo cercano, electromiografía) podría considerarse en futuras investigaciones.

De acuerdo con varios otros estudios (Bonzheim y cols., 1992; Quinn y cols., 1995; Egaña y cols., 2013) no se pudieron observar diferencias entre las posturas con respecto a la VE a mayores cargas de trabajo, mientras que la VE en AT fue significativamente mayor en posición erguida. Curiosamente, la respiración se volvió menos profunda de una postura a la otra. El ciclismo en reclinado y/o en decúbito supino condujo a un VT significativamente más bajo y, en consecuencia, la frecuencia respiratoria debe adaptarse para mantener la ventilación (que debería haber inducido más ventilación desperdiciada en el espacio muerto). Se asumió que esto era una indicación de posibles restricciones mecánicas causadas por la posición del cuerpo (Romei y cols., 2010) reforzadas por una inclinación incompleta contra el respaldo. No obstante, los resultados de la eficiencia ventilatoria (pendiente VE/VCO2) permanecieron sin cambios entre las posturas, lo que indica que la ventilación y, por lo tanto, el metabolismo/suministro de oxígeno no se ven influenciados por la posición. Esto también parece clínicamente relevante, ya que las pruebas de esfuerzo en reclinado e incluso en decúbito supino no tienen una influencia significativa en este valor medido clínicamente y, por lo tanto, no parece dar lugar a un diagnóstico falso negativo.

Impacto de la postura sobre los valores máximos y los umbrales metabólicos

Nuestros hallazgos de FC replican los de estudios anteriores, ya que también notamos valores más altos en la posición vertical y recostada que en posición supina. El pulso de O2 al máximo y en los umbrales no cambia, un indicio de que el volumen sistólico no cambia con la postura. Sólo al 70% de la potencia pico promedio es evidente un cambio significativo: un pulso de O2 más bajo en posición supina, lo que indica una carga metabólica más alta, que también se refleja en los

valores de lactato, VO2 y VCO2. Las diferencias estadísticas entre las posturas en la PASmáx perdieron su validez después de las comparaciones por pares. De hecho, esto tiene un papel importante que desempeñar en la práctica clínica: cuando las presiones sanguíneas máximas en diferentes posturas son similares a pesar de una Pmáx más alta en el ciclismo en posición vertical, se debe preferir el ciclismo en posición vertical en ciertas situaciones, en particular cuando se debe evitar el estrés físico.

Como se mencionó anteriormente y según otros estudios, la Pmáx y el VO2pico fueron más altos en posición vertical que en reclinado y en decúbito supino (Proctor y cols., 1996; Egaña y cols., 2006, 2010a, 2013; DiMenna y cols., 2010a; Kato y cols., 2011). Sin embargo, algunos investigadores no informaron diferencias en el VO2pico (Bonzheim y cols., 1992; Quinn y cols., 1995) o incluso resultados opuestos con respecto a la Pmáx (Bonzheim y cols., 1992). Esas investigaciones se llevaron a cabo en pacientes que padecían enfermedades cardíacas, que podrían haber arrojado resultados desviados ya que esos pacientes probablemente no lograron un agotamiento completo. Los presentes resultados revelan valores disminuidos en las posiciones reclinado y supino, lo que puede indicar que la fatiga muscular y, por lo tanto, el agotamiento apareció antes con una carga de trabajo más baja y, por lo tanto, los valores máximos no pudieron alcanzar el mismo nivel que en la posición erguida. Además, el trabajo adicional de la parte superior del cuerpo antes mencionado debido al agarre del manubrio en posición vertical también podría haber causado valores de VO2pico más altos (Stenberg y cols., 1967). Por lo tanto, al clasificar los resultados de las pruebas individuales, se deben tener en cuenta las influencias de la posición en el ejercicio de ciclismo.

Las respuestas circulatorias en los umbrales de referencia (respiratorio y de lactato) fueron significativamente más altas en la posición erguida en nuestro estudio, un hallazgo que parece muy relevante en términos de sus implicaciones para la práctica clínica. Desde la perspectiva del ejercicio terapéutico, parece importante que la carga de entrenamiento calculada por los valores medidos en una postura específica necesite ajustarse cuando se ejercita en otra postura para asegurar que el estímulo de entrenamiento sea el adecuado. Además, hay indicios de que la postura puede afectar las adaptaciones cardiorrespiratorias del entrenamiento en bicicleta (Ray y Cureton, 1991).

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra por primera vez el efecto de la postura sobre la eficiencia del ciclismo no sólo en la posición supina o erguida, sino también en una posición reclinada, clínicamente relevante durante la prueba de ejercicio graduada.

Los resultados muestran una mayor producción de potencia y una mayor eficiencia del pedaleo en el ciclismo erguido en comparación con la postura reclinada y supina, aunque la eficiencia ventilatoria se vio menos afectada por la postura. Por lo tanto, esto indica que un test CPET se puede realizar en posición supina o reclinada sin desencadenar resultados falsamente negativos con respecto a los valores ventilatorios pronosticados como la pendiente VE/VCO2. Sin embargo, al considerar los rendimientos submáximos y máximos como valores pronósticos, es fundamental considerar las diferencias debidas a la postura.

Nuestro resultado también refuerza la importancia de ajustar los resultados de las pruebas, según las posiciones de las pruebas, al prescribir programas de entrenamiento para garantizar un estímulo de entrenamiento adecuado. Por lo tanto, es esencial mencionar la posición de la prueba al informar los resultados de un CPET.

Declaración de ética
Los estudios con participantes humanos fueron revisados y aprobados por la Comisión de Ética del Centro Médico Universitario de Freiburg, Alemania. Los pacientes/participantes proporcionaron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio.

Financiamiento
El cargo por procesamiento de artículos fue financiado por el Ministerio de Ciencia, Investigación y Arte de Baden Wuerttemberg y la Universidad de Friburgo en el programa de financiación Open Access Publishing.

Agradecimientos
Agradecemos a todos los participantes su colaboración. También agradecemos a Anne-Kathrine Höchner y Friederike Klinghammer por su apoyo en el reclutamiento y la recopilación de datos. Además, agradecemos a Manfred Baumstark por su asistencia estadística.

REFERENCIAS

1. American College of Sports Medicine, Riebe, D., Ehrman, J. K., Liguori, G., and Magal, M. (2018). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. *Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.*
2. Arena, R., Canada, J. M., Popovic, D., Trankle, C. R., Del Buono, M. G., Lucas, A., et al. (2020). Cardiopulmonary exercise testing - refining the clinical perspective by combining assessments. *Expert Rev. Cardiovasc. Ther. 18, 563–576.*
3. Arena, R., Myers, J., Hsu, L., Peberdy, M. A., Pinkstaff, S., Bensimhon, D., et al. (2007). The minute ventilation/carbon dioxide production slope is prognostically superior to the oxygen uptake efficiency slope. *J. Card. Fail. 13, 462–469.*
4. Armour, W., Clark, A. L., McCann, G. P., and Hillis, W. S. (1998). Effects of exercise position on the ventilatory responses to exercise in chronic heart failure. *Int. J. Cardiol. 66, 59–63.*
5. Barstow, T. J., Jones, A. M., Nguyen, P. H., and Casaburi, R. (2000). Influence of muscle fibre type and fitness on the oxygen uptake/power output slope during incremental exercise in humans. *Exp. Physiol. 85, 109–116.*
6. Beaver, W. L., Wasserman, K., Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol 60, 2020–2027.*
7. Bonzheim, S. C., Franklin, B. A., DeWitt, C., Marks, C., Goslin, B., Jarski, R., et al. (1992). Physiologic responses to recumbent versus upright cycle ergometry, and implications for exercise prescription in patients with coronary artery disease. *Am. J. Cardiol. 69, 40–44.*
8. Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc. 14, 377–381.*
9. Brouwer, E. (1957). On simple formulae for calculating the heat expenditure and the quantities of carbohydrate and fat oxidized in metabolism of men and animals, from gaseous exchange (Oxygen intake and carbonic acid output) and urine-N. *Acta Physiol. Pharmacol. Neerl. 6, 795–802.*
10. Brown, D. A., Kautz, S. A., and Dairaghi, C. A. (1996). Muscle activity patterns altered during pedaling at different body orientations. *J. Biomech. 29, 1349–1356.*
11. Cooper, C. B., Beaver, W. L., Cooper, D. M., and Wasserman, K. (1992). Factors affecting the components of the alveolar CO2 output-O2 uptake relationship during incremental exercise in man. *Exp. Physiol. 77, 51–64.*
12. Coyle, E. F., Martin, W. H., Ehsani, A. A., Hagberg, J. M., Bloomfield, S. A., Sinacore, D. R., et al. (1983). Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *J. Appl. Physiol. 54, 18–23.*
13. DiMenna, F. J., Bailey, S. J., and Jones, A. M. (2010a). Influence of body position on muscle deoxy[Hb + Mb] during ramp cycle exercise. *Respir. Physiol. Neurobiol. 173, 138–145.*
14. DiMenna, F. J., Wilkerson, D. P., Burnley, M., Bailey, S. J., and Jones, A. M. (2010b). Priming exercise speeds pulmonary O2 uptake kinetics during supine "work-to-work" high-intensity cycle exercise. *J. Appl. Physiol. 108, 283–292.*
15. Egaña, M., Columb, D., and O'Donnell, S. (2013). Effect of low recumbent angle on cycling performance, fatigue, and VO(2) kinetics. *Med. Sci. Sports Exerc. 45, 663–673.*
16. Egaña, M., and Green, S. (2007). Intensity-dependent effect of body tilt angle on calf muscle fatigue in humans. *Eur. J. Appl. Physiol. 99, 1–9.*
17. Egaña, M., Green, S., Garrigan, E. J., and Warmington, S. (2006). Effect of posture on high-intensity constant-load cycling performance in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol. 96, 1–9.*
18. Egaña, M., O'Riordan, D., and Warmington, S. A. (2010a). Exercise performance and VO2 kinetics during upright and recumbent high-intensity cycling exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. 110, 39–47.*
19. Egaña, M., Ryan, K., Warmington, S. A., and Green, S. (2010b). Effect of body tilt angle on fatigue and EMG activities in lower limbs during cycling. *Eur. J. Appl. Physiol. 108, 649–656.*
20. Ettema, G., and Lorås, H. W. (2009). Efficiency in cycling: a review. *Eur. J. Appl. Physiol. 106, 1–14.*
21. Faria, E. W., Parker, D. L., and Faria, I. E. (2005). The science of cycling: factors affecting performance - part 2. *Sports Med. Auckl. NZ 35, 313–337.*
22. Fitzpatrick, R., Taylor, J. L., and McCloskey, D. I. (1996). Effects of arterial perfusion pressure on force production in working human hand muscles. *J. Physiol. 495, 885–891.*
23. Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I.-M., et al. (2011). American College of Sports Medicine position stand. *Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. Med. Sci. Sports Exerc. 43, 1334–1359.*
24. Guazzi, M., Adams, V., Conraads, V., Halle, M., Mezzani, A., Vanhees, L., et al. (2012). EACPR/AHA scientific statement. *Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. Circulation 126, 2261–2274.*
25. Guazzi, M., Arena, R., Halle, M., Piepoli, M. F., Myers, J., and Lavie, C. J. (2016). 2016 Focused Update: Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation 133, e694–711.*
26. Habedank, D., Reindl, I., Vietzke, G., Bauer, U., Sperfeld, A., Gläser, S., et al. (1998). Ventilatory efficiency and exercise tolerance in 101 healthy volunteers. *Eur. J. Appl. Physiol. 77, 421–426.*
27. Honold, J., Geiger, L., Assmus, B., Fischer-Rasokat, U., Schaechinger, V., Zeiher, A. M., et al. (2008). The initial slope of the VCO2/VO2-curve (s1) in cardiopulmonary exercise testing is a strong and independent predictor of outcome in patients with previous myocardial infarction. *Clin. Res. Cardiol. 97, 882–890.*
28. Hughson, R. L., Xing, H. C., Borkhoff, C., and Butler, G. C. (1991). Kinetics of ventilation and gas exchange during supine and upright cycle exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. 63, 300–307.*
29. Jones, A. M., Grassi, B., Christensen, P. M., Krustrup, P., Bangsbo, J., and Poole, D. C. (2011). Slow component of VO2 kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Med. Sci. Sports Exerc. 43, 2046–2062.*

30. Kato, M., Tsutsumi, T., Yamaguchi, T., Kurakane, S., and Chang, H. (2011). Characteristics of maximum performance of pedaling exercise in recumbent and supine positions. *J. Sports Sci. Med. 10, 491–497.*
31. Koga, S., Shiojiri, T., Shibasaki, M., Kondo, N., Fukuba, Y., and Barstow, T. J. (1999). Kinetics of oxygen uptake during supine and upright heavy exercise. *J. Appl. Physiol. 87, 253–260.*
32. Leyk, D., Essfeld, D., Hoffmann, U., Wunderlich, H. G., Baum, K., and Stegemann, J. (1994). Postural effect on cardiac output, oxygen uptake and lactate during cycle exercise of varying intensity. *Eur. J. Appl. Physiol. 68, 30–35.*
33. Meyer, T., Lucía, A., Earnest, C. P., and Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters - theory and application. *Int. J. Sports Med. 26, S38–S48.*
34. Pedersen, B. K., and Saltin, B. (2015). Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scand. J. Med. Sci. Sports 25(Suppl 3), 1–72.*
35. Pokan, R., Schwaberger, G., Hofmann, P., Eber, B., Toplak, H., Gasser, R., et al. (1995). Effects of treadmill exercise protocol with constant and ascending grade on levelling-off O2 uptake and VO2 max. *Int. J. Sports Med. 16, 238–242.*
36. Proctor, D. N., Sinning, W. E., Bredle, D. L., and Joyner, M. J. (1996). Cardiovascular and peak VO2 responses to supine exercise: effects of age and training status. *Med. Sci. Sports Exerc. 28, 892–899.*
37. Quinn, T. J., Smith, S. W., Vroman, N. B., Kertzer, R., and Olney, W. B. (1995). Physiologic responses of cardiac patients to supine, recumbent, and upright cycle ergometry. *Arch. Phys. Med. Rehabil. 76, 257–261.*
38. Ray, C. A., and Cureton, K. J. (1991). Interactive effects of body posture and exercise training on maximal oxygen uptake. *J. Appl. Physiol. 71, 596–600.*
39. Romei, M., Mauro, A. L., D'Angelo, M. G., Turconi, A. C., Bresolin, N., Pedotti, A., et al. (2010). Effects of gender and posture on thoraco-abdominal kinematics during quiet breathing in healthy adults. *Respir. Physiol. Neurobiol. 172, 184–191.*
40. Stenberg, J., Astrand, P. O., Ekblom, B., Royce, J., and Saltin, B. (1967). Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *J. Appl. Physiol. 22, 61–70.*
41. Terkelsen, K. E., Clark, A. L., and Hillis, W. S. (1999). Ventilatory response to erect and supine exercise. *Med. Sci. Sports Exerc. 31, 1429–1432.*
42. Wasserman, K., Beaver, W. L., and Whipp, B. J. (1986). Mechanisms and patterns of blood lactate increase during exercise in man. *Med. Sci. Sports Exerc. 18, 344–352.*
43. Zoladz, J. A., Rademaker, A. C., and Sargeant, A. J. (1995). Non-linear relationship between O2 uptake and power output at high intensities of exercise in humans. *J. Physiol. 488(Pt 1), 211–217.*

Cita Original

Wehrle A, Waibel S, Gollhofer A and Roecker K (2021) Power Output and Efficiency During Supine, Recumbent, and Upright Cycle Ergometry. Front. Sports Act. Living 3:667564. doi: 10.3389/fspor.2021.667564