

Article

¿Son Intercambiables los Métodos de Frecuencia Cardíaca Basados en Cicloergómetro y en la Marcha a Nivel en Cinta Rodante?

Karin Olsson, Jane Salier Eriksson, Hans Rosdahl y Peter Schantz

Research Unit for Movement, Health and Environment, The Åstrand Laboratory and Laboratory of Applied Sport Science, The Swedish School of Sport and Health Sciences, GIH, Stockholm, Sweden

RESUMEN

El método de frecuencia cardíaca (FC) es un enfoque prometedor para evaluar el consumo de oxígeno (VO₂), las demandas de energía y la intensidad del ejercicio en diferentes formas de actividades físicas. Sería valioso que el método de FC, establecido en el cicloergómetro, fuera intercambiable con otras actividades habituales, como caminar a nivel. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo examinar la intercambiabilidad del método de FC para estimar el VO₂ para el ciclismo en ergómetro y la caminata a nivel en cinta rodante en condiciones submáximas. Se establecieron dos modelos de ecuaciones de regresión del VO₂ para el ejercicio en cicloergómetro (CEE) y el ejercicio en cinta rodante (TE) con 34 sujetos activos. El modelo 1 consistió en tres intensidades submáximas en cicloergómetro o caminata a nivel, el modelo 2 incluyó también una carga de trabajo adicional de ciclismo o carrera máxima en ergómetro. Las ecuaciones de regresión se utilizaron para estimar el VO₂ con siete valores de FC individuales basados en el 25-85% de la FC de reserva (FCres). Las estimaciones del VO₂ se compararon entre CEE y TE, dentro y entre cada modelo. Sólo se observaron diferencias promedio menores, y en la mayoría de los casos no significativas, al comparar los niveles estimados de VO₂ entre CEE y TE. El modelo 1 osciló entre -0.4% y 4.8% (n.s.) entre 25% y 85% de la FCres. En el modelo 2, las diferencias entre el 25% y el 65% de la FCres oscilaron entre el 1.3% y el -2.7% (n.s.). En las dos intensidades más altas, 75 y 85% de la FCres, el VO₂ fue ligeramente menor (3.7%, 4.4%; P < 0.05), para CEE que para TE. La inclusión del ejercicio máximo en las relaciones del VO₂ redujo las variaciones individuales del VO₂ entre las dos modalidades de ejercicio. Los métodos de FC, basados en cicloergómetro y la marcha en cinta rodante a nivel submáximos, son intercambiables para estimar los niveles promedios de VO₂ entre el 25 y el 85% de la FCres. Esencialmente, lo mismo se aplica al agregar ejercicio máximo en las relaciones de VO₂. La variación del VO₂ interindividual entre el ciclismo en ergómetro y el ejercicio en cinta se reduce cuando se utiliza el método de FC basado en cargas de trabajo tanto submáximas como máximas.

INTRODUCCIÓN

Adquirir conocimientos sobre el consumo de oxígeno humano (VO₂), las demandas de energía y los niveles de intensidad en las actividades físicas es valioso para la educación y la promoción de la salud, así como desde la perspectiva de la investigación. Esto se debe a que gran parte de la comprensión de los efectos del ejercicio sobre el control de peso, la morbilidad, la mortalidad prematura y el rendimiento físico se basa en descripciones de los niveles de intensidad en

relación con el consumo máximo de oxígeno (por ejemplo, [1,2]), el gasto energético (por ejemplo, [3,4]) y los METs por horas (por ejemplo, [5]). En estos aspectos, el método de la frecuencia cardíaca (FC) puede ser un método prometedor. Se basa en la relación lineal entre la FC y el VO_2 durante cargas incrementales de trabajo físico en condiciones de estado estable [6,7]. Gracias a esta linealidad, el VO_2 puede, en principio, estimarse midiendo únicamente la FC y basándose en coeficientes calóricos [8, p. 104] se puede calcular el recambio de energía.

Los primeros estudios de la relación del VO_2 en humanos se publicaron a principios del siglo XX [9,10]. Desde entonces, varios estudios han utilizado el monitoreo de la FC durante distintas actividades físicas para comprender los requisitos energéticos y la intensidad del ejercicio tanto en humanos [7,11-14] como en animales [15]. Una forma precisa de establecer relaciones del VO_2 es crear una para cada individuo, ya que existen grandes variaciones interindividuales, particularmente debido al sexo, la edad, el peso corporal y el nivel de condición física [16-19]. Hoy en día, estas relaciones se establecen generalmente en laboratorios con monitores de FC portátiles y sistemas metabólicos automáticos estacionarios.

A pesar de que el método de FC se ha utilizado en varios estudios aplicados, una serie de cuestiones metodológicas relacionadas con él parecen no haberse resuelto por completo, o sólo en un grado limitado. Estos asuntos se pueden agrupar en (1) reproducibilidad de las relaciones del VO_2 y sus resultados al establecer el método de FC en condiciones de estado estable, (2) formas óptimas de establecer relaciones del VO_2 en condiciones de estado estable, (3) validez externa de las relaciones del VO_2 y la método de FC establecido con una forma de ejercicio en relación con otra, y (4) validez externa de las mismas en relación tanto con el ejercicio prolongado a diversas intensidades de ejercicio constante como en condiciones de estado no estable.

Sólo en tiempos recientes se han realizado estudios metodológicos fundamentales en términos de reproducibilidad [20-22]. En general, estos exámenes han demostrado una buena reproducibilidad a nivel de grupo con pequeñas diferencias relativas entre la prueba y la repetición en un rango de intensidad desde el reposo hasta niveles de intensidad vigorosa. Sin embargo, quedan por explorar varias cuestiones de optimización relacionadas con la reproducibilidad y la validez. Por ejemplo, no se sabe cuántos puntos de medición se necesitan o qué tan dispersos deben estar para mejorar la reproducibilidad y, por lo tanto, la validez potencial del método de FC.

Como se indicó anteriormente, se investigará la intercambiabilidad del método de FC entre varias formas de ejercicio. Hasta ahora, es bien sabido que el ejercicio dinámico, con grandes grupos de músculos involucrados, tiene una relación del VO_2 diferente a la del ejercicio estático y dinámico con grupos de músculos de trabajo más pequeños. Por ejemplo, se ha encontrado que el VO_2 es significativamente más bajo durante el ciclismo de brazos en comparación con el ciclismo de piernas, así como el pedaleo combinado de piernas con brazos, en comparación con valores de FC equivalentes [23-25]. Si, en cambio, las comparaciones se limitan al trabajo dinámico de la parte inferior del cuerpo, mediante ejercicios en cicloergómetro y en cinta de correr, las diferencias en las relaciones del VO_2 podrían no ser obvias. Cuando se compara específicamente el ciclismo en ergómetro con la forma más simple de ejercicio en cinta, es decir, caminar a nivel (sin % de inclinación), hasta donde sabemos, sólo hay un estudio previo. Berggren y Hohwü Christensen [26] observaron relaciones similares del VO_2 para el ciclismo en ergómetro en comparación con caminar y correr en cinta rodante horizontal. El examen se realizó en repetidas ocasiones en un amplio rango de medición, que contenía un alto número de cargas de trabajo submáximas en estado estable para cada una de las tres modalidades. Sin embargo, una limitación considerable fue que sólo se investigó a un sujeto, un hombre bien entrenado.

El método FC se puede aplicar principalmente de dos formas diferentes; uno en el que se mide el consumo de oxígeno, el otro en el que se estima el consumo de oxígeno en función del conocimiento sobre el consumo de oxígeno en diversas cargas de trabajo. Para este último fin, es preferible utilizar un cicloergómetro. Esto se debe a que el consumo de oxígeno durante las cargas de trabajo en estado estable de la bicicleta en ergómetro es bastante constante entre varios individuos de ambos sexos [6] e independiente de la experiencia en la bicicleta [27]. Los resultados informados por Åstrand [28] y Ryhming [29] demostraron que dos tercios de los individuos sanos y entrenados (50 hombres y 62 mujeres) tenían niveles de VO_2 dentro de un rango de $\pm 6\%$ alrededor de los niveles medios en diferentes cargas de trabajo. Parte de esta variación puede explicarse por la variación de los niveles de aptitud, debido a las diversas posiciones relativas de los umbrales fisiológicos [30-32], y la variación de la composición del tipo de fibra muscular [33]. Sin embargo, varios estudios han demostrado que el costo de oxígeno en el trabajo en estado estable submáximo en cicloergómetros también depende del peso corporal [18,34-39, p. 87]. Debido a la evolución global del peso corporal durante las últimas tres décadas, este es un factor importante a tener en cuenta al aplicar esta forma de ejercicio. Si se tienen en cuenta estos factores determinantes, y se considera que los sistemas metabólicos son costosos y técnicamente complicados de usar, especialmente en condiciones de ejercicio de campo [40,41], es ventajoso que las relaciones individuales del VO_2 puedan estimarse con varias cargas de trabajo en cicloergómetro. Esto permitiría utilizar el método de FC en la educación y en la promoción de la salud, cuando una alta precisión de medición no es un factor decisivo. También es valioso desde la perspectiva de la investigación en la salud pública cuando se van a investigar muestras grandes, lo que podría ser difícil de lograr en la

práctica si se tienen que utilizar dispositivos de medición metabólica.

Teniendo en cuenta las ventajas de utilizar el método de FC, establecido a través de cargas de trabajo constantes incrementales de cicloergómetro, sería valioso si su relación de VO_2 y el resultado del VO_2 cuando se usa el método de FC imiten los de otras formas comunes de ejercicio dinámico, como caminar. Por lo tanto, hemos investigado este problema más a fondo, centrándonos en la intercambiabilidad del método FC entre el ciclismo en ergómetro submáximo y la caminata a nivel en una cinta de correr. Al mismo tiempo, hemos investigado si el método FC, basado en el ciclismo en ergómetro y en el ejercicio en cinta rodante, puede optimizarse metodológicamente si se agregan los puntos finales del ejercicio máximo a las relaciones del VO_2 .

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue examinar la intercambiabilidad del método de FC al estimar el VO_2 para el ciclismo en ergómetro y la caminata a nivel en cinta rodante en condiciones submáximas. De acuerdo con nuestros estudios de reproducibilidad anteriores del método de FC [21,22], se construyeron dos modelos diferentes de ecuaciones de regresión del VO_2 para el ejercicio en cicloergómetro (CEE) y el ejercicio en cinta rodante (TE), respectivamente. El modelo 1 consistió en tres cargas de trabajo submáximas en estado estable de ciclismo en ergómetro o caminata a nivel, mientras que el modelo 2 también incluyó una carga de trabajo máxima de ciclismo o carrera en ergómetro. Se aplicaron las ecuaciones de regresión del VO_2 para estimar el consumo de oxígeno, utilizando siete valores de frecuencia cardíaca derivados individualmente basados en el % de reserva de frecuencia cardíaca (% FCEs). Luego se compararon los resultados de CEE y de TE dentro y entre cada modelo (Figura 1).

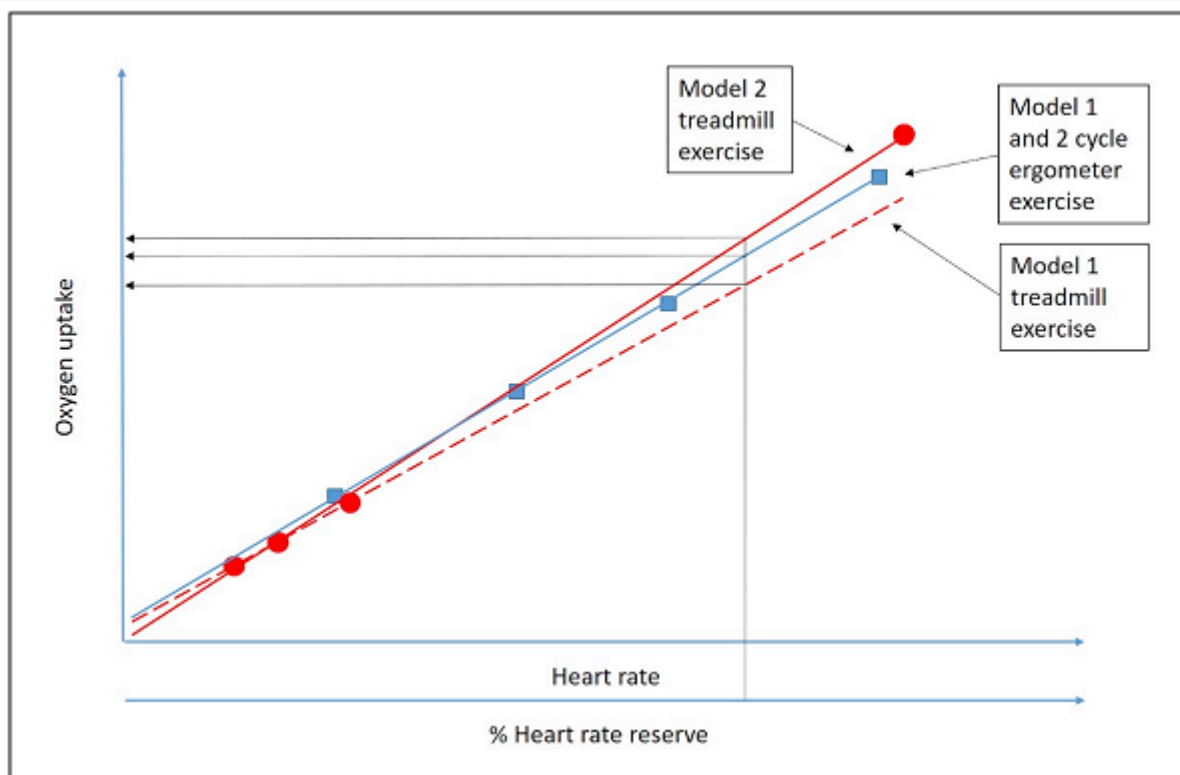


Figura 1. Esquema principal de los modelos analíticos del estudio.

Se utilizan dos modelos para el método de FC para estimar la absorción de oxígeno en el ejercicio en cicloergómetro frente a las condiciones del ejercicio en cinta rodante, respectivamente. El modelo 1 se basa en tres cargas de trabajo submáximas, mientras que el modelo 2 se basa en las mismas tres cargas de trabajo submáximas, así como una carga de trabajo correspondiente al ejercicio máximo. La figura muestra un ejemplo concebible en el que el modelo 1 y el modelo 2 en el ejercicio en cinta rodante dan como resultado dos ecuaciones de regresión diferentes, mientras que en el ejercicio de cicloergómetro, el modelo 1 y el modelo 2 dan como resultado la misma ecuación de regresión. El último paso en el método de FC se aplica aquí en términos de la absorción de oxígeno que se estima a partir de varios porcentajes de la FC de reserva y las diferentes ecuaciones de regresión.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.g001>

MÉTODOS

Participantes

La aprobación para realizar el estudio se obtuvo del Comité de Ética del Instituto Karolinska en el Hospital Karolinska (Dnr 03-637), Estocolmo, Suecia.

Reclutamiento de los participantes.

El reclutamiento de los participantes comenzó por invitación mediante anuncios en dos importantes periódicos matutinos de Estocolmo. Los criterios de inclusión para la participación fueron: tener al menos 20 años, vivir en la zona de Estocolmo y andar en bicicleta o caminar habitualmente, cualquier distancia, entre el hogar y el lugar de trabajo o estudio y desplazarse activamente de esa manera al menos una vez al año. Se envió un cuestionario (el Cuestionario 1 de Desplazamientos Físicamente Activos en el Gran Estocolmo; PACS Q1, información de apoyo Métodos S1 y Métodos S2) a 2148 voluntarios [42]. El reclutamiento de los participantes para ser incluidos en este estudio se basó en aquellos que tenían su edad y distancia de desplazamiento cerca de los valores medios de las categorías generales del proyecto de ciclistas femeninos y masculinos que sólo iban en bicicleta al trabajo (los llamados ciclistas monomodo) y mujeres y peatones masculinos que sólo caminaban al trabajo (los llamados peatones monomodo), respectivamente. También calificaron su profesión como muy ligera o ligera físicamente. Para obtener detalles sobre el proceso de contratación y categorización, así como el cuestionario utilizado, consulte Stigell y Schantz [42].

A los voluntarios seleccionados se les envió información que describe los estudios fisiológicos, las pruebas y los procedimientos de estandarización, así como una declaración de salud. Esta información recalzó el derecho de los participantes a cancelar en cualquier momento durante el estudio, sin dar una razón. Se ofreció un consentimiento informado de participación firmado. En base a las respuestas de la declaración de salud, se excluyó a las personas con presión arterial alta o que tomaban medicamentos que pudieran afectar la frecuencia cardíaca normal. Los restantes fueron contactados hasta que 10 individuos en cada una de las cuatro categorías (ciclistas femeninos y masculinos en un sólo modo, y peatones femeninos y masculinos en un sólo modo) cumplieron los criterios. Debido al hecho de que no hubo diferencias sistemáticas entre ciclistas y peatones en los análisis de este estudio, se combinaron en un sólo grupo de estudio. Finalmente, con respecto a algunas condiciones de salud obstructivas y problemas técnicos con el equipo, hubo 34 ciudadanos saludables y físicamente activos que tuvieron resultados completos; estos se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características descriptivas de los participantes (media \pm desviaciones estándar (SD)).

| | | Age (years) | Height (m) | Weight (kg) | BMI (kg·m ⁻²) | HR _{rest} (beats·min ⁻¹) |
|-------|----------|----------------|-----------------|----------------|------------------------------|--|
| Women | (n = 17) | 43 \pm 4 | 1.70 \pm 0.05 | 64 \pm 9 | 22 \pm 3 | 62.8 \pm 7.9 |
| Men | (n = 17) | 45 \pm 8 | 1.82 \pm 0.06 | 82 \pm 12 | 25 \pm 3 | 66.7 \pm 9.8 |
| All | (n = 34) | 44 \pm 6 | 1.76 \pm 0.08 | 73 \pm 14 | 23 \pm 3 | 64.7 \pm 9.0 |

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.t001>

Equipamiento

Durante todas las mediciones metabólicas, se utilizó un sistema de análisis de gas metabólico estacionario automatizado, Jaeger Oxycon Pro® (Carefusion GmbH, Hoechberg, Alemania) en modo de cámara mix. El software utilizado fue JLAB 4.53. El sistema metabólico se encendió 30 minutos antes de la recopilación de datos y se calibró antes y después de cada prueba mediante procedimientos automatizados y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Para la calibración se utilizó un gas de alta precisión de 15.00% O₂ y 6.00% CO₂ (precisión: O₂ \pm 0.04% y CO₂ \pm 0.1%, Air Liquid AB, Kungsängen, Suecia). Se utilizó una mascarilla con una válvula de entrada de aire sin reinspiración (Combitox, Dräger Safety, Lübeck, Alemania), mientras que un tubo (diámetro interior de 35 mm) se conectó a la válvula de no reinspiración para llevar el aire exhalado a la cámara mix. Las variables metabólicas medidas, incluida la FC, se guardaron en valores promedio de 15 segundos. Utilizando el modo de cámara mix, se ha encontrado que Oxycon Pro es confiable (coeficiente de variación para el VO₂: 1.2% entre 0.5-6.0 L·min⁻¹) [43] y válido contra el método estándar de oro [41,43]. Las mediciones de FC se realizaron utilizando un monitor de frecuencia cardíaca Polar Electro S610i y el transmisor Polar Wearlink 31 asociado (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia).

El ejercicio de cicloergómetro se realizó en un ciclo ergómetro de péndulo Monark 828E (ejercicio Monark AB, Vansbro, Suecia) con frenado manual. Inmediatamente antes de cada prueba, la escala se puso a cero mientras los sujetos se sentaban en el sillín con los pies apoyados en la superficie entre los pedales. Se utilizó un metrónomo digital (DM70 Seiko S-Yard Co. Ltd, Tokio, Japón) para mantener la cadencia de pedaleo correcta. A intervalos regulares de un minuto, el ritmo de trabajo se controló comprobando la cadencia y la fuerza de frenado como se indica en la escala del péndulo. El ejercicio en cinta rodante se realizó en un ergómetro de cinta rodante RL2500E (Rodby Innovation AB, Vänge, Hagby, Suecia). Su precisión de velocidad e inclinación fue: $\pm 1.8\%$ y 0.2° , respectivamente.

MEDICIONES

Diseño y estandarización del estudio.

Los sujetos visitaron el laboratorio en tres ocasiones diferentes. Todas las ocasiones siguieron el mismo procedimiento, incluyendo medidas de FC en reposo, medidas simultáneas de FC y VO_2 a nivel submáximo y máximo, siendo la única diferencia entre las ocasiones el tipo de trabajo físico; dos veces con ejercicio en cicloergómetro (CEE) y una vez con ejercicio en cinta rodante (TE). La primera ocasión siempre consistió en CEE para todos los sujetos. Para la mayoría de ellos, el CEE también se realizó en la sesión dos y la siguiente por TE en la sesión tres. El propósito de realizar sesiones repetidas con CEE fue familiarizar a los sujetos con el proceso experimental durante la primera sesión (sesión de familiarización). El número de días entre las tres ocasiones fue de 8 ± 9 días (media \pm SD). Dos investigadores formados realizaron las pruebas experimentales, todos los participantes tuvieron el mismo investigador para cada ocasión.

Antes de cada prueba, se indicó a los participantes que siguieran algunas pautas de estandarización: 1) no participar en ningún ejercicio vigoroso durante las 24 horas anteriores a las pruebas, 2) no ir en bicicleta al laboratorio, 3) abstenerse de comer, beber, y fumar tabaco durante al menos una hora antes de la llegada al laboratorio, 4) no comer una comida abundante al menos tres horas antes de las pruebas, 5) evitar el estrés y 6) cancelar la prueba si tenían fiebre, una infección o un resfriado.

A su llegada al laboratorio, se realizaron mediciones de peso corporal y altura (sólo en la sesión de familiarización). Posteriormente, se realizó una medición de la FC en reposo en posición supina sobre una mesa de tratamiento durante diez minutos, y se utilizaron los valores de los últimos cinco minutos. Los datos antropométricos y de la FC en reposo fueron de la sesión de familiarización, mientras que los datos de FC y VO_2 durante el ejercicio fueron de las sesiones 2 y 3.

Ejercicio en cicloergómetro

El pedaleo en ergómetro submáximo consistió en tres cargas de trabajo diferentes: 50, 100 y 150 vatios (W) para las mujeres y 100, 150 y 200 W para los participantes masculinos. En cada carga de trabajo, los participantes pedalearon hasta que se produjo el estado estable (aproximadamente seis minutos), después de lo cual se incrementó la resistencia. La tercera carga de trabajo se incrementó a sólo 125 W o 175 W para mujeres y hombres respectivamente, si después de la segunda carga de trabajo, la FC de los sujetos era superior a 150 latidos \cdot min $^{-1}$ y su esfuerzo percibido nominal (RPE), según la escala de Borg, excedía 15 tanto para las piernas como para la respiración [44]. Se utilizó una cadencia de 50 revoluciones por minuto (rpm), ya que fue cuando se utilizó esta cadencia cuando el consumo de oxígeno se encontró bastante constante entre los individuos [6, 28, p. 19,29].

Entre la segunda y la tercera carga de trabajo, los participantes continuaron pedaleando durante un minuto a una baja cadencia autoseleccionada con una resistencia de 5 Newton (N). Luego se instruyó a los sujetos para que reanudaran la cadencia de 50 rpm mientras el investigador aumentaba gradualmente la resistencia hasta que, después de un minuto, se alcanzaba la tercera tasa de trabajo (la resistencia se incrementaba a 50 W durante los primeros 15 segundos, a 100 W los segundos 15 segundos y sucesivamente hasta el tercer ritmo de trabajo durante los últimos 30 segundos). Después de las cargas de trabajo submáximas, y antes de la prueba máxima, los participantes continuaron pedaleando durante dos minutos a una baja cadencia elegida por ellos mismos y una resistencia de 5 N.

La prueba máxima se realizó con una cadencia de pedaleo de 80 rpm. Durante los primeros tres minutos, las cargas de trabajo se establecieron en 60, 100 y 120 o 140 W durante un minuto cada una. Las últimas alternativas dependían de qué tercera carga de trabajo habían alcanzado los sujetos durante la fase submáxima; Se eligió 120 W si la tercera tasa de trabajo había sido 125 W o 175 W para mujeres y hombres, respectivamente, y se eligió 140 W si había sido 150 W o 200 W para mujeres y hombres, respectivamente. Después de estos primeros tres minutos, la resistencia se incrementaba en 20 W cada minuto continuo hasta que ocurría el agotamiento voluntario. Los incrementos de la tasa de trabajo se eligieron de acuerdo con nuestra evaluación anterior [21].

Ejercicio en cinta de correr.

El ejercicio submáximo en cinta rodante consistió en tres cargas de trabajo de caminata a nivel (0.0°). Las velocidades se establecieron en: 4.0, 4.9 y 5.9 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los participantes continuaron caminando en cada carga de trabajo hasta que se alcanzaba el estado estable (normalmente cinco minutos). Inmediatamente después de completar la tercera carga de caminata, la velocidad se incrementaba a un nivel cómodo para correr, después de lo cual se iniciaba la fase máxima.

La prueba de carrera máxima se realizó mediante velocidad constante ($9.0\pm 0.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) e incrementos sucesivos de inclinación. Durante el primer minuto de la prueba, la inclinación se estableció en 0.0° , después de un minuto se incrementaba a 1.0° y luego en 0.5° cada minuto continuo hasta que ocurría el agotamiento voluntario y la prueba terminaba.

Para ambas modalidades de ejercicio, la calificación del RPE para las piernas y la respiración, respectivamente, se anotó al final de cada carga de trabajo submáxima, así como directamente después de completar las pruebas máximas. Para asegurar que las pruebas máximas de ciclismo y carrera lograran sus propósitos, cada participante cumplió al menos dos de los siguientes tres criterios: 1) una meseta en el VO_2 a pesar del aumento de la intensidad del ejercicio (definido como un incremento del VO_2 de $<150 \text{ ml}$), 2) un índice de intercambio respiratorio de ≥ 1.10 y 3) una calificación de RPE de ≥ 17 [45-47].

Procesamiento de datos y análisis estadísticos

Para la determinación de la FC en reposo, los valores se basan en cada período de tiempo entre los latidos de la frecuencia cardíaca, el promedio de los últimos cinco minutos se transformó en latidos por minuto. Para todas las formas de ejercicio submáximo, los valores de FC y de VO_2 emparejados durante el último de los dos minutos consecutivos en estado estable se han utilizado como promedios para cada carga de trabajo. Dado que se ha descubierto que la FC es más variable que el VO_2 a niveles de intensidad más bajos [48], el estado estable se definió cuando los valores de FC estaban entre 2 y 3 latidos $\cdot\text{min}^{-1}$. Según lo recomendado por Howley, Bassett [46], los valores máximos se calcularon promediando el minuto con los valores apareados continuos más altos de FC y de VO_2 . Para el cálculo de un cierto nivel porcentual de reserva de frecuencia cardíaca (%FCres), se utilizaron en la ecuación los valores de frecuencia cardíaca máxima y de reposo [49]. Para ejemplificar, el valor de FC de interés se resta con la FC_{reposo} y luego se divide por la FC_{máx} menos la FC_{reposo}. Cuando las cargas de trabajo submáximas para el ciclismo se expresan en niveles relativos de FC_{máx}, FCres y VO_2 , estos niveles se han basado en los valores de la prueba de ciclismo máxima. Por el contrario, los valores máximos de la prueba en cinta rodante se han utilizado para describir los niveles porcentuales de las caminatas en cinta rodante.

Las relaciones del VO_2 , basadas en los valores individuales emparejados de FC y VO_2 de las tres cargas de trabajo submáximas (modelo 1) más una carga de trabajo máxima (modelo 2), se describieron mediante análisis de regresión lineal para las dos formas de ejercicio dentro de cada modelo. Las ecuaciones de regresión individuales fueron luego utilizadas por el método de FC para estimar el VO_2 . Los valores individuales de FC, basados en el % de la FCres, se crearon de acuerdo con la clasificación de intensidad del ejercicio del *American College of Sports Medicine* [50]. Los niveles de intensidad: 25 y 35 % de la FCres, (intensidad de ejercicio muy ligera a ligera), 45 y 55 % de la FCres (intensidad de ejercicio moderada) y 65, 75 y 85 % de la FCres (intensidad de ejercicio vigoroso), se seleccionaron para cubrir una amplia gama de valores de FC comúnmente utilizados durante actividades físicas submáximas. En los cálculos de los valores individuales de FC, la FCres siempre se basó en los valores máximos de la prueba de carrera. Los valores de FC derivados individualmente se utilizaron luego en cada ecuación de regresión individual para estimar el VO_2 en los siete niveles de intensidad. Se calcularon intervalos de confianza (IC) del 95% para los valores absolutos de los coeficientes de regresión (intersección y pendiente y coeficiente r) y las estimaciones del VO_2 , así como las diferencias entre las modalidades. Los análisis de las diferencias absolutas y relativas del modo de ejercicio se realizaron con un T-test de una muestra de Student y la prueba de rango con signo de una muestra de Wilcoxon a nivel de grupo para todos los participantes ($n = 34$), ya que no hubo variaciones sistemáticas de género que fueran observadas.

Los niveles medios estimados de VO_2 para CEE y TE, respectivamente, basados en todos los valores individuales entre el 25 y el 85% de la FCres, se han ilustrado mediante gráficos de rectas lineales con IC del 95% para ambos modelos. Se crearon ecuaciones de regresión lineal, incluido el IC del 95%, para ejemplificar las diferentes relaciones del VO_2 . Todos los valores de VO_2 estimados individuales también se compararon gráficamente por pares entre las modalidades de ejercicio y los modelos en diagramas de dispersión y ecuaciones de regresión, incluido el IC del 95%. Los gráficos de rectas lineales y los diagramas de dispersión se crearon utilizando el paquete de software Graph-Pad Prism® 8 (Graph-Pad Software Inc., San Diego, CA, EE. UU.). Los demás análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico para las ciencias sociales (IBM SPSS Statistics, 25 y 26, Chicago, IL, EE. UU.). Los valores se presentan como medias $\pm\text{SD}$, a menos que se indique lo contrario. En todos los análisis se ha utilizado un nivel alfa de $P < 0.05$.

RESULTADOS

Datos descriptivos sobre los ejercicios en cicloergómetro y en cinta rodante

Los datos descriptivos del ejercicio en cicloergómetro (CEE) y el ejercicio en cinta rodante (TE) se presentan para los participantes masculinos y femeninos por separado, y para todos los participantes juntos en las Tablas 2 y 3. Los valores medios de $\dot{V}O_2$ y de FC se expresan en valores absolutos y números relativos para todas las cargas de trabajo (tres submáximas y una máxima) dentro de cada forma de ejercicio. Los niveles submáximos de FC para todos los participantes variaron de 103.3 ± 12.7 a 148.7 ± 11.9 latidos \cdot min⁻¹ durante CEE (Tabla 2) y de 89.1 ± 13.2 a 104.9 ± 12.7 latidos \cdot min⁻¹ durante TE (Tabla 3). Los correspondientes valores máximos de FC fueron 178.9 ± 9.2 y 181.8 ± 8.3 latidos \cdot min⁻¹, respectivamente. Para los niveles de $\dot{V}O_2$ y de RPE de cada carga de trabajo y modalidad de ejercicio, consulte las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. $\dot{V}O_2$, FC, $\dot{V}O_2/FC$ y RPE durante el ejercicio en cicloergómetro submáximo y máximo (media \pm SD).

| | Workload | $\dot{V}O_2$ | | | HR | | | $\dot{V}O_2/HR$ L·min ⁻¹ /beats·min ⁻¹ | RPE | |
|-------------------|--------------|-----------------|---------------------|--|---------------------|-------------------------|--------------------|---|----------------|----------------|
| | | W | L·min ⁻¹ | mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹ | % $\dot{V}O_{2max}$ | beats·min ⁻¹ | %HR _{max} | | %HRR | legs |
| Women (n = 17) | 50 | 0.83 \pm 0.09 | 13.2 \pm 1.6 | 34.2 \pm 4.9 | 98.2 \pm 8.2 | 54.9 \pm 3.7 | 30.2 \pm 5.3 | 0.0085 \pm 0.0010 | 8.8 \pm 1.4 | 8.8 \pm 1.2 |
| | 100 | 1.40 \pm 0.11 | 22.3 \pm 2.8 | 57.7 \pm 7.3 | 126.9 \pm 9.5 | 70.9 \pm 4.6 | 54.9 \pm 7.7 | 0.0111 \pm 0.0010 | 12.2 \pm 1.8 | 12.1 \pm 1.8 |
| | 137 \pm 13 | 1.88 \pm 0.19 | 29.7 \pm 3.3 | 76.9 \pm 7.4 | 151.1 \pm 7.7 | 84.5 \pm 3.8 | 75.9 \pm 6.2 | 0.0125 \pm 0.0014 | 15.3 \pm 1.0 | 15.1 \pm 1.3 |
| | Max | 2.46 \pm 0.28 | 38.9 \pm 4.5 | 100.0 \pm 0.0 | 179.0 \pm 8.0 | 100.0 \pm 0.0 | 100.0 \pm 0.0 | 0.0137 \pm 0.0013 | 18.6 \pm 1.2 | 18.7 \pm 1.1 |
| Men (n = 17) | 100 | 1.43 \pm 0.17 | 17.7 \pm 2.7 | 43.5 \pm 8.8 | 108.4 \pm 14.6 | 60.5 \pm 6.1 | 37.1 \pm 8.4 | 0.0134 \pm 0.0022 | 10.9 \pm 1.8 | 10.5 \pm 1.8 |
| | 146 \pm 11 | 2.02 \pm 0.24 | 24.9 \pm 3.7 | 61.0 \pm 10.0 | 129.1 \pm 15.8 | 72.1 \pm 6.8 | 55.7 \pm 9.8 | 0.0159 \pm 0.0026 | 13.5 \pm 1.7 | 12.9 \pm 2.2 |
| | 179 \pm 20 | 2.46 \pm 0.28 | 30.4 \pm 4.7 | 74.0 \pm 9.7 | 146.2 \pm 14.9 | 81.8 \pm 6.1 | 71.1 \pm 8.9 | 0.0170 \pm 0.0027 | 15.5 \pm 1.5 | 14.4 \pm 2.2 |
| | Max | 3.38 \pm 0.55 | 41.4 \pm 6.3 | 100.0 \pm 0.0 | 178.7 \pm 10.6 | 100.0 \pm 0.0 | 100.0 \pm 0.0 | 0.0190 \pm 0.0033 | 18.3 \pm 1.0 | 17.9 \pm 1.9 |
| All (n = 34) | 75 \pm 25 | 1.13 \pm 0.33 | 15.4 \pm 3.2 | 38.9 \pm 8.5 | 103.3 \pm 12.7 | 57.7 \pm 5.7 | 33.7 \pm 7.7 | 0.0110 \pm 0.0030 | 9.9 \pm 1.9 | 9.7 \pm 1.8 |
| | 123 \pm 25 | 1.71 \pm 0.36 | 23.6 \pm 3.5 | 59.4 \pm 8.8 | 128.0 \pm 12.9 | 71.5 \pm 5.8 | 55.3 \pm 8.7 | 0.0135 \pm 0.0031 | 12.9 \pm 1.9 | 12.5 \pm 2.0 |
| | 158 \pm 27 | 2.17 \pm 0.38 | 30.1 \pm 4.0 | 75.5 \pm 8.6 | 148.7 \pm 11.9 | 83.1 \pm 5.2 | 73.5 \pm 7.9 | 0.0148 \pm 0.0032 | 15.4 \pm 1.3 | 14.7 \pm 1.8 |
| | Max | 2.92 \pm 0.64 | 40.2 \pm 5.5 | 100.0 \pm 0.0 | 178.9 \pm 9.2 | 100.0 \pm 0.0 | 100.0 \pm 0.0 | 0.0163 \pm 0.0037 | 18.4 \pm 1.1 | 18.3 \pm 1.6 |

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.t002>

Tabla 3. $\dot{V}O_2$, FC, $\dot{V}O_2/FC$ y RPE durante el ejercicio submáximo (caminar) y máximo (correr) en cinta rodante (media \pm SD).

| | Workload | $\dot{V}O_2$ | | | HR | | | $\dot{V}O_2/HR$ L·min ⁻¹ /beats·min ⁻¹ | RPE | |
|-------------------|----------|--------------------|---------------------|--|---------------------|-------------------------|--------------------|---|----------------|----------------|
| | | km·h ⁻¹ | L·min ⁻¹ | mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹ | % $\dot{V}O_{2max}$ | beats·min ⁻¹ | %HR _{max} | | %HRR | legs |
| Women (n = 17) | 4.0 | 0.64 \pm 0.09 | 10.0 \pm 1.1 | 24.1 \pm 3.3 | 87.8 \pm 11.7 | 48.1 \pm 6.5 | 21.0 \pm 6.3 | 0.0073 \pm 0.0009 | 7.5 \pm 1.2 | 7.5 \pm 1.2 |
| | 4.9 | 0.74 \pm 0.09 | 11.7 \pm 1.2 | 28.0 \pm 3.2 | 94.8 \pm 10.3 | 51.9 \pm 5.6 | 26.7 \pm 5.5 | 0.0079 \pm 0.0010 | 9.1 \pm 2.1 | 9.1 \pm 1.9 |
| | 5.9 | 0.93 \pm 0.13 | 14.7 \pm 1.4 | 35.2 \pm 3.9 | 105.2 \pm 11.3 | 57.6 \pm 5.8 | 35.4 \pm 6.6 | 0.0089 \pm 0.0012 | 10.8 \pm 2.2 | 10.9 \pm 2.0 |
| | Max | 2.66 \pm 0.31 | 42.0 \pm 4.4 | 100.0 \pm 0.0 | 182.9 \pm 8.1 | 100.0 \pm 0.0 | 100.0 \pm 0.0 | 0.0145 \pm 0.0015 | 17.4 \pm 2.1 | 18.6 \pm 1.0 |
| Men (n = 17) | 4.0 | 0.86 \pm 0.16 | 10.5 \pm 1.2 | 24.1 \pm 4.6 | 90.5 \pm 14.8 | 50.0 \pm 7.2 | 20.8 \pm 9.7 | 0.0097 \pm 0.0021 | 8.3 \pm 1.2 | 8.1 \pm 1.5 |
| | 4.9 | 1.01 \pm 0.20 | 12.3 \pm 1.4 | 28.3 \pm 5.1 | 95.9 \pm 13.3 | 53.0 \pm 6.1 | 25.6 \pm 8.1 | 0.0107 \pm 0.0024 | 9.8 \pm 1.6 | 9.5 \pm 1.7 |
| | 5.9 | 1.27 \pm 0.26 | 15.4 \pm 1.8 | 35.4 \pm 6.5 | 104.6 \pm 14.3 | 57.8 \pm 6.3 | 33.2 \pm 8.4 | 0.0123 \pm 0.0026 | 11.4 \pm 1.5 | 11.2 \pm 2.3 |
| | Max | 3.60 \pm 0.54 | 44.3 \pm 6.8 | 100.0 \pm 0.0 | 180.7 \pm 8.7 | 100.0 \pm 0.0 | 100.0 \pm 0.0 | 0.0200 \pm 0.0031 | 17.4 \pm 1.1 | 17.6 \pm 1.8 |
| All (n = 34) | 4.0 | 0.75 \pm 0.17 | 10.3 \pm 1.2 | 24.1 \pm 3.9 | 89.1 \pm 13.2 | 49.0 \pm 6.8 | 20.9 \pm 8.1 | 0.0085 \pm 0.0020 | 7.9 \pm 1.3 | 7.8 \pm 1.4 |
| | 4.9 | 0.88 \pm 0.21 | 12.0 \pm 1.3 | 28.1 \pm 4.2 | 95.4 \pm 11.7 | 52.4 \pm 5.8 | 26.1 \pm 6.8 | 0.0093 \pm 0.0023 | 9.4 \pm 1.9 | 9.3 \pm 1.8 |
| | 5.9 | 1.10 \pm 0.27 | 15.0 \pm 1.7 | 35.3 \pm 5.3 | 104.9 \pm 12.7 | 57.7 \pm 6.0 | 34.3 \pm 7.5 | 0.0106 \pm 0.0027 | 11.1 \pm 1.9 | 11.1 \pm 2.1 |
| | Max | 3.13 \pm 0.65 | 43.2 \pm 5.8 | 100.0 \pm 0.0 | 181.8 \pm 8.3 | 100.0 \pm 0.0 | 100.0 \pm 0.0 | 0.0173 \pm 0.0037 | 17.4 \pm 1.6 | 18.1 \pm 1.5 |

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.t003>

Ecuaciones de regresión

Los componentes de las ecuaciones de regresión (intersección y, pendiente y coeficiente r) y sus diferencias absolutas y relativas entre CEE y TE se presentan para todos los participantes del modelo 1 (sólo cargas de trabajo submáximas) en la

Tabla 4 y el modelo 2 (tanto cargas de trabajo submáximas como máximas) en la Tabla 5. No se encontraron diferencias significativas absolutas o relativas para la intersección con el eje 'y' o la pendiente en el modelo 1 (ns). Sin embargo, el coeficiente *r* fue significativamente mayor para CEE que para TE tanto en números absolutos, 0.022 ± 0.045 ($P < 0.01$), como en números relativos, $2.3 \pm 4.6\%$ ($P < 0.01$) (Tabla 4). En el modelo 2, las diferencias absolutas y relativas entre CEE y TE fueron significativas para todos los coeficientes de regresión. Las diferencias absolutas fueron 0.311 ± 0.532 ($P < 0.01$) para la intersección con el eje 'y', -0.0025 ± 0.0036 ($P < 0.01$) para la pendiente y -0.004 ± 0.009 ($P < 0.05$) para el coeficiente *r*. Las diferencias relativas correspondientes fueron $38.1 \pm 59.8\%$ ($P < 0.01$), $-12.4 \pm 16.3\%$ ($P < 0.001$) y $-0.4 \pm 1.0\%$ ($P < 0.05$) (Tabla 5).

Tabla 4. Ecuaciones de regresión del modelo 1 y las diferencias absolutas y relativas del modo de ejercicio ($n = 34$, medias \pm SD, (IC del 95%) y valores de *P*).

| | y-intercept | slope | r |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------------|
| Cycle ergometer exercise (CEE) | -1.356 ± 0.743 (-1.615 to -1.097) | 0.0240 ± 0.0073 (0.0215 to 0.0266) | 0.995 ± 0.008 (0.992 to 0.998) |
| Treadmill exercise (TE) | -1.364 ± 0.842 (-1.658 to -1.070) | 0.0235 ± 0.0099 (0.0201 to 0.0270) | 0.972 ± 0.045 (0.957 to 0.988) |
| Abs. diff. CEE-TE | 0.009 ± 0.821 (-0.278 to 0.295) | 0.0005 ± 0.0077 (-0.0022 to 0.0032) | 0.022 ± 0.045 (0.007 to 0.038) |
| P-values T-test/Wilcoxon | 0.952/0.952 | 0.738/0.611 | 0.007/0.008 |
| Rel. diff. CEE-TE (%) | 32.8 ± 180.1 (-30.0 to 95.7) | 1.2 ± 35.8 (-11.3 to 13.7) | 2.3 ± 4.6 (0.7 to 3.8) |
| P-values T-test/Wilcoxon | 0.296/0.765 | 0.848/0.614 | 0.007/0.008 |

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.t004>

Tabla 5. Ecuaciones de regresión del modelo 2, y las diferencias absolutas y relativas del modo de ejercicio ($n = 34$, medias \pm SD, (IC del 95%) y valores *P*).

| | y-intercept | slope | r |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Cycle ergometer exercise (CEE) | -1.310 ± 0.609 (-1.523 to -1.098) | 0.0236 ± 0.0060 (0.0215 to 0.0257) | 0.994 ± 0.009 (0.991 to 0.997) |
| Treadmill exercise (TE) | -1.621 ± 0.559 (-1.816 to -1.426) | 0.0261 ± 0.0058 (0.0241 to 0.0282) | 0.998 ± 0.002 (0.997 to 0.999) |
| Abs. diff. CEE-TE | 0.311 ± 0.532 (0.125 to 0.496) | -0.0025 ± 0.0036 (-0.0038 to -0.0013) | -0.004 ± 0.009 (-0.007 to -0.001) |
| P-values T-test/Wilcoxon | 0.002/0.003 | 0.000/0.001 | 0.015/0.024 |
| Rel. diff. CEE-TE (%) | 38.1 ± 59.8 (17.2 to 58.9) | -12.4 ± 16.3 (-18.1 to -6.7) | -0.4 ± 1.0 (-0.8 to -0.1) |
| P-values T-test/Wilcoxon | 0.001/0.000 | 0.000/0.000 | 0.015/0.024 |

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.t005>

Estimación del consumo de oxígeno mediante el método de FC

Los niveles estimados de VO_2 , basados en las ecuaciones de regresión individuales y siete valores de FC individuales, derivados del % de FCres, se presentan para todos los participantes en las Tablas 6 (modelo 1) y 7 (modelo 2). No hubo diferencias absolutas o relativas significativas entre los niveles estimados de VO_2 al comparar CEE con TE para cualquiera de los niveles de intensidad entre el 25-85% de la FCres (94.0-164.2 latidos·min⁻¹) en el modelo 1. Las diferencias de VO_2 entre CEE y TE variaron de 0.05 ± 0.24 a 0.10 ± 0.51 L·min⁻¹ y -0.4 ± 34.9 a $4.8 \pm 17.1\%$, respectivamente (ns) (Tabla 6). Cuando se incluyen las cargas de trabajo máximas en las ecuaciones de regresión (modelo 2), las diferencias estimadas de VO_2 entre CEE y TE variaron de 0.07 ± 0.26 a -0.05 ± 0.20 L·min⁻¹ y 1.3 ± 40.3 a $-2.7 \pm 10.0\%$, respectivamente, (ns) en el rango de intensidad de 25 a 65% de la FCres (94.0 a 140.8 latidos·min⁻¹) (Tabla 7). En las dos intensidades de ejercicio más altas, 75 y 85% (152.5 y 164.2 latidos·min⁻¹), los niveles de VO_2 fueron ligeramente más bajos durante el ejercicio en cicloergómetro que en el ejercicio en cinta. Estas diferencias absolutas de VO_2 fueron -0.07 ± 0.20 ($P =$ T-test: 0.041, Wilcoxon: 0.071) y -0.10 ± 0.22 L·min⁻¹ ($P < 0,05$), respectivamente, las diferencias relativas correspondientes fueron $-3.7 \pm 9.0\%$ ($P < 0.05$) y $-4.4 \pm 8.6\%$ ($P < 0.05$).

Tabla 6. Estimación del VO_2 en el modelo 1 y las diferencias absolutas y relativas del modo de ejercicio ($n = 34$, medias \pm SD, (IC del 95%) y valores de *p*).

| | Exercise intensity | | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Very light-light | | Moderate | | Vigorous | | |
| | 25%HRR | 35%HRR | 45%HRR | 55%HRR | 65%HRR | 75%HRR | 85%HRR |
| HR (beats·min ⁻¹) | 94.0 ± 7.5 | 105.7 ± 7.1 | 117.4 ± 6.8 | 129.1 ± 6.8 | 140.8 ± 6.8 | 152.5 ± 7.1 | 164.2 ± 7.5 |
| Estimation of $\dot{V}O_2$ (L·min⁻¹) | | | | | | | |
| Cycle ergometer exercise (CEE) | 0.91 ± 0.31 (0.80 to 1.02) | 1.19 ± 0.33 (1.07 to 1.30) | 1.47 ± 0.37 (1.34 to 1.60) | 1.75 ± 0.42 (1.60 to 1.89) | 2.03 ± 0.48 (1.86 to 2.19) | 2.30 ± 0.55 (2.11 to 2.50) | 2.58 ± 0.62 (2.37 to 2.80) |
| Treadmill exercise (TE) | 0.86 ± 0.26 (0.77 to 0.95) | 1.13 ± 0.33 (1.01 to 1.24) | 1.40 ± 0.42 (1.25 to 1.54) | 1.67 ± 0.52 (1.49 to 1.85) | 1.94 ± 0.62 (1.73 to 2.16) | 2.21 ± 0.72 (1.96 to 2.47) | 2.48 ± 0.83 (2.19 to 2.77) |
| Abs. diff. CEE-TE (L·min ⁻¹) | 0.05 ± 0.24 (-0.03 to 0.13) | 0.06 ± 0.22 (-0.02 to 0.14) | 0.07 ± 0.25 (-0.02 to 0.15) | 0.08 ± 0.29 (-0.03 to 0.18) | 0.08 ± 0.36 (-0.04 to 0.21) | 0.09 ± 0.43 (-0.06 to 0.24) | 0.10 ± 0.51 (-0.08 to 0.28) |
| P-values T-test/Wilcoxon | 0.207/0.164 | 0.127/0.135 | 0.116/0.118 | 0.142/0.149 | 0.183/0.158 | 0.226/0.185 | 0.265/0.228 |
| Rel. diff. CEE-TE (%) | -0.4 ± 34.9 (-12.6 to 11.8) | 3.7 ± 19.0 (-2.9 to 10.4) | 4.6 ± 16.5 (-1.2 to 10.4) | 4.8 ± 17.1 (-1.2 to 10.7) | 4.7 ± 18.3 (-1.7 to 11.1) | 4.6 ± 19.6 (-2.2 to 11.4) | 4.5 ± 20.8 (-2.8 to 11.7) |
| P-values T-test/Wilcoxon | 0.952/0.343 | 0.260/0.161 | 0.114/0.081 | 0.112/0.144 | 0.140/0.153 | 0.179/0.164 | 0.220/0.222 |

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.t006>

Tabla 7. Estimación del VO_2 en el modelo 2 y las diferencias absolutas y relativas del modo de ejercicio ($n = 34$, medias \pm SD, IC del 95%) y valores P)

| | Exercise intensity | | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | Very light-light | | Moderate | | Vigorous | | |
| | 25%HRR | 35%HRR | 45%HRR | 55%HRR | 65%HRR | 75%HRR | 85%HRR |
| HR (beats·min ⁻¹) | 94.0 ± 7.5 | 105.7 ± 7.1 | 117.4 ± 6.8 | 129.1 ± 6.8 | 140.8 ± 6.8 | 152.5 ± 7.1 | 164.2 ± 7.5 |
| Estimation of $\dot{V}O_2$ (L·min⁻¹) | | | | | | | |
| Cycle ergometer exercise (CEE) | 0.91 ± 0.33 (0.80 to 1.02) | 1.19 ± 0.34 (1.07 to 1.30) | 1.46 ± 0.36 (1.34 to 1.59) | 1.74 ± 0.40 (1.60 to 1.88) | 2.01 ± 0.45 (1.86 to 2.17) | 2.29 ± 0.50 (2.11 to 2.46) | 2.57 ± 0.56 (2.37 to 2.76) |
| Treadmill exercise (TE) | 0.84 ± 0.29 (0.74 to 0.94) | 1.15 ± 0.32 (1.04 to 1.26) | 1.45 ± 0.36 (1.33 to 1.58) | 1.76 ± 0.40 (1.62 to 1.90) | 2.06 ± 0.45 (1.90 to 2.22) | 2.36 ± 0.51 (2.19 to 2.54) | 2.67 ± 0.56 (2.47 to 2.86) |
| Abs. diff. CEE-TE (L·min ⁻¹) | 0.07 ± 0.26 (-0.02 to 0.16) | 0.04 ± 0.23 (-0.04 to 0.12) | 0.01 ± 0.21 (-0.06 to 0.09) | -0.02 ± 0.20 (-0.09 to 0.05) | -0.05 ± 0.20 (-0.12 to 0.02) | -0.07 ± 0.20 (-0.14 to 0.00) | -0.10 ± 0.22 (-0.18 to -0.03) |
| P-values T-test/Wilcoxon | 0.136/0.114 | 0.339/0.215 | 0.777/0.590 | 0.615/0.955 | 0.189/0.379 | 0.041/0.071 | 0.009/0.011 |
| Rel. diff. CEE-TE (%) | 1.3 ± 40.3 (-12.8 to 15.3) | 1.2 ± 21.8 (-6.4 to 8.8) | -0.3 ± 15.3 (-5.6 to 5.0) | -1.6 ± 11.9 (-5.8 to 2.5) | -2.7 ± 10.0 (-6.2 to 0.7) | -3.7 ± 9.0 (-6.8 to -0.5) | -4.4 ± 8.6 (-7.5 to -1.4) |
| P-values T-test/Wilcoxon | 0.857/0.270 | 0.752/0.388 | 0.912/0.700 | 0.429/0.765 | 0.119/0.281 | 0.024/0.047 | 0.005/0.011 |

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.t007>

Las ilustraciones de los niveles medios estimados de VO_2 y los intervalos de confianza del 95%, basados en todos los valores individuales, se presentan para todos los niveles de intensidad del ejercicio en la Figura 2A (modelo 1) y 2B (modelo 2). Aunque estas cifras muestran que los niveles de VO_2 promedio entre las dos modalidades de ejercicio difieren en un grado muy bajo, cuando en cambio se comparan los valores de VO_2 individuales, la dispersión entre CEE y TE es generalmente mayor en el modelo 1 en comparación con el modelo 2 (Fig 3A y 3B). Además, al comparar los mismos valores de VO_2 individuales entre los dos modelos dentro de cada modalidad de ejercicio, la dispersión individual es claramente menor durante el ejercicio en cicloergómetro que en el ejercicio en cinta rodante (Fig. 4A y 4B).

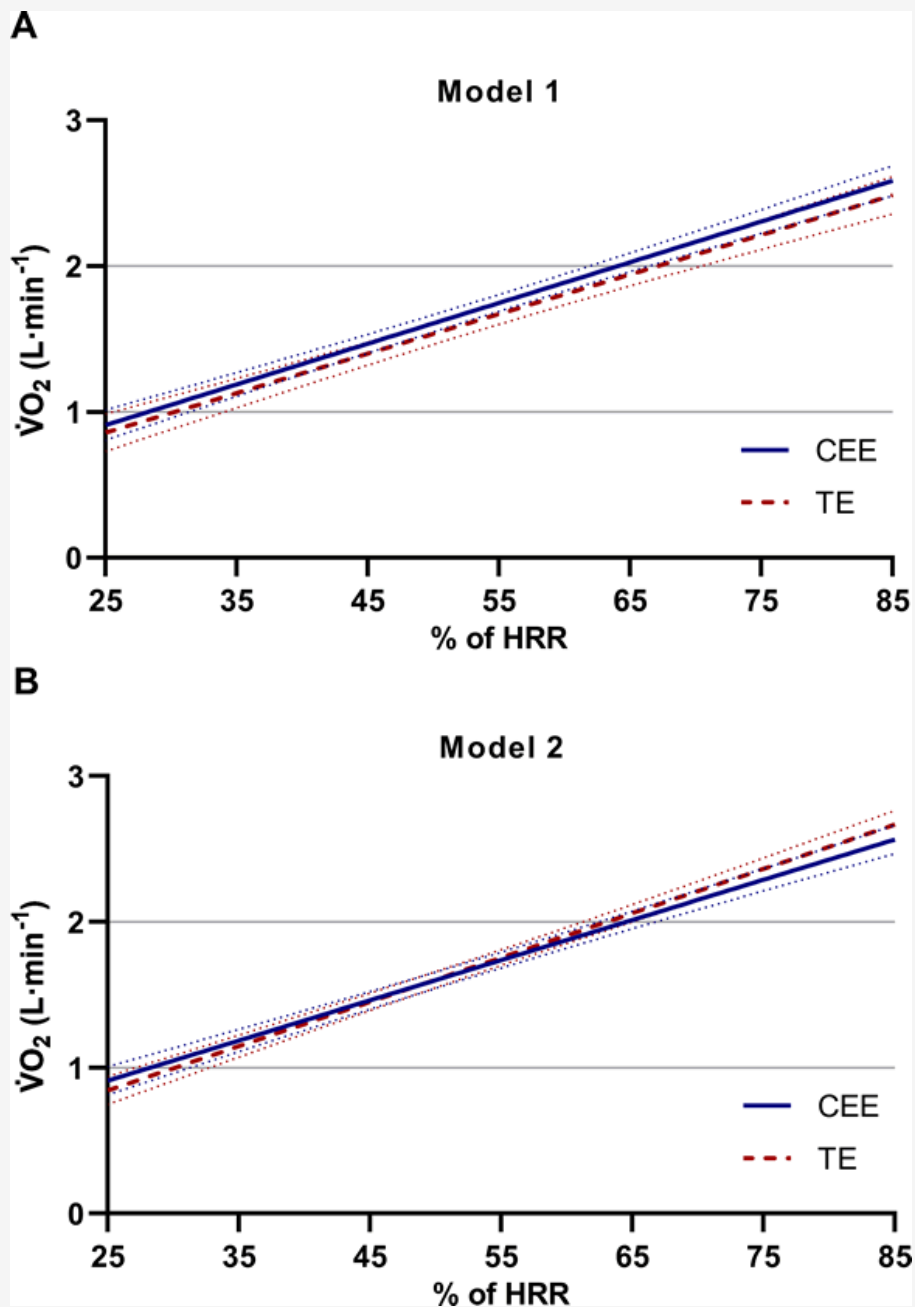


Figura 2. Niveles medios estimados de $\dot{V}O_2$ entre el 25% y el 85% de la FCr en el ejercicio en cicloergómetro (CEE) y el ejercicio en cinta rodante (TE) en el modelo 1 y el modelo 2.

Basado en todos los valores individuales de los participantes ($n = 34$). CEE: línea sólida azul. TE: línea discontinua roja. Las ecuaciones de regresión lineal con IC del 95% y coeficientes r fueron: Modelo 1 **(A)** $y(\dot{V}O_2 \text{ CEE}) = 0.210 (0.042-0.377) + 0.0279 (0.0251-0.0308) * x(\% \text{ FCres})$, coeficiente $r = 0.781$, y $(\dot{V}O_2 \text{ TE}) = 0.178 (-0.030-0.386) + 0.0271 (0.0236-0.0307) * x(\% \text{ FCres})$ y coeficiente $r = 0.700$. Modelo 2 **(B)** $y(\dot{V}O_2 \text{ CEE}) = 0.222 (0.064-0.380) + 0.0276 (0.0249-0.0303) * x(\% \text{ FCres})$, coeficiente $r = 0.795$, y $(\dot{V}O_2 \text{ TE}) = 0.084 (-0.072-0.241) + 0.0304 (0.0277-0.0331) * x(\% \text{ FCres})$ y coeficiente $r = 0.825$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.g002>

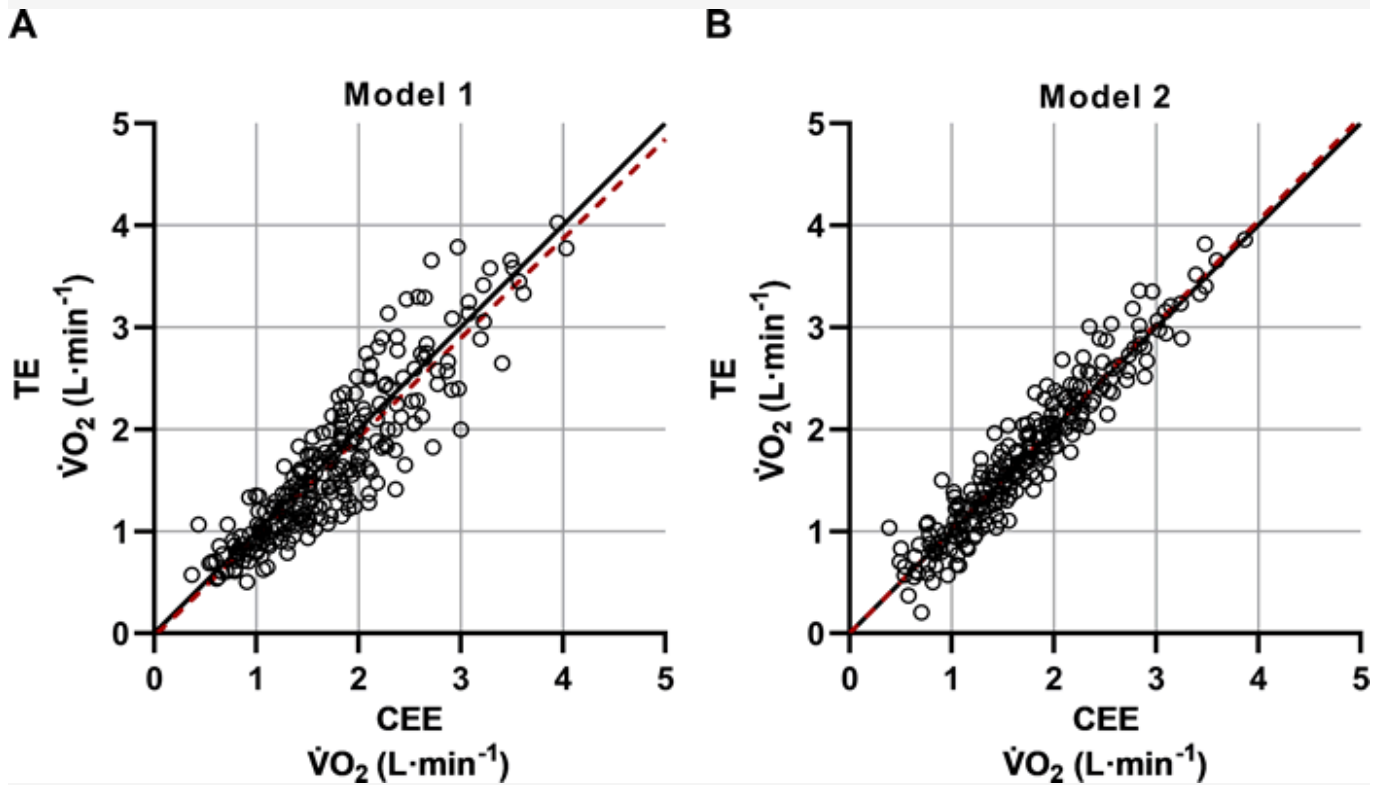


Figura 3. Comparación de los valores estimados del $\dot{V}O_2$ individual entre el ejercicio en cicloergómetro (CEE) y el ejercicio en cinta rodante (TE) en el modelo 1 y el modelo 2.

Basado en todos los participantes ($n = 34$), variando entre el 25% y el 85% de FCres. Las ecuaciones de regresión lineal general (líneas discontinuas rojas) con IC del 95% y coeficientes r fueron: Modelo 1 (A) $y(\dot{V}O_2, TE) = -0.033 (-0.148-0.082) + 0.9753 (0.9144-1.0362) * x(\dot{V}O_2, CEE)$ y coeficiente $r = 0,899$. Modelo 2 (B) $y(\dot{V}O_2, TE) = -0.004 (-0.081-0.073) + 1.0125 (0.9714-1.0536) * x(\dot{V}O_2, CEE)$ y coeficiente $r = 0.953$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.g003>

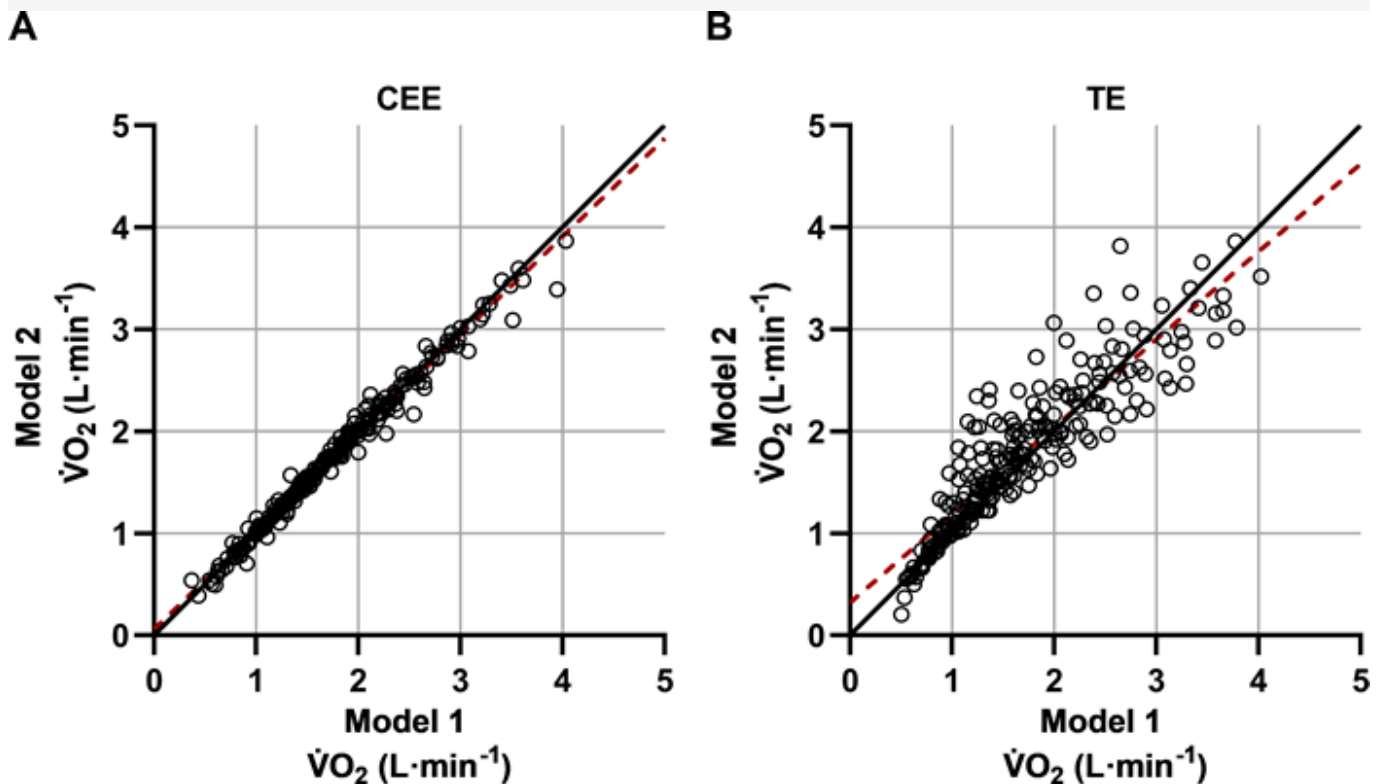


Figura 4. Comparación de los valores de $\dot{V}O_2$ individuales estimados entre el modelo 1 y el modelo 2 en ejercicio en cicloergómetro (CEE) y ejercicio en cinta rodante (TE).

Basado en todos los participantes ($n = 34$), variando entre el 25% y el 85% de FCres. Las ecuaciones de regresión lineal general (líneas punteadas rojas) con 95% CI y coeficientes r fueron: CEE (A) y $(\dot{V}O_2 \text{ Modelo 2}) = 0.056 (0.028-0.084) + 0.9632 (0.9483-0.9780) * x(\dot{V}O_2 \text{ Modelo 1})$ y coeficiente $r = 0.993$. TE (B) y $(\dot{V}O_2 \text{ Modelo 2}) = 0.318 (0.223-0.413) + 0.8606 (0.8091-0.9122) * x(\dot{V}O_2 \text{ Modelo 1})$ y coeficiente $r = 0.906$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.g004>

DISCUSIÓN

Este es, a nuestro entender, el primer estudio sistemático sobre la intercambiabilidad potencial del método de FC al estimar el consumo de oxígeno en el ejercicio en cicloergómetro (CEE) y el ejercicio en cinta rodante (TE) con especial referencia a la caminata a nivel. Otro aspecto novedoso fue la búsqueda de vías que puedan optimizar el método de FC. Esto se analizó comparando dos modelos diferentes de relaciones del $\dot{V}O_2$. El modelo 1 consistió en tres cargas de trabajo submáximas en estado estable de ciclismo en ergómetro o caminata a nivel en la cinta rodante, mientras que el modelo 2 incluyó una carga de trabajo adicional de ejercicio máximo en CEE y TE. Para aplicar el método de FC, el desarrollo de ecuaciones de regresión es un primer paso necesario. Varios estudios previos [18,20,51,52] que investigan cuestiones relacionadas con el método de FC se han basado principalmente sus evaluaciones en coeficientes de regresión separados. Sin embargo, esta división de análisis puede dar lugar a interpretaciones erróneas de consecuencias del método de FC. Por lo tanto, hemos aplicado el método de FC estimando diferentes niveles de $\dot{V}O_2$ basados en un amplio rango de valores de FC, y lo hemos combinado con análisis de ingredientes a partir de las ecuaciones de regresión.

Los principales resultados son que sólo se observaron diferencias pequeñas, y en la mayoría de los casos (24 de 28) no significativas en los niveles estimados de $\dot{V}O_2$ (rango de medias relativas: -4.4 a 4.8%) entre CEE y TE al aplicar el método de FC en niveles de intensidad entre el 25 y el 85% de la FCres en ambos modelos. Al interpretar los resultados, observamos que estas diferencias relativas del $\dot{V}O_2$ medio entre CEE y TE son del mismo orden de magnitud que las diferencias relativas test-retest (rango de medias: 1.0-3.6%) del método de FC utilizando el ciclo ergómetro [21,22]. Al mismo tiempo, ocasionalmente se observaron desviaciones estándar e intervalos de confianza bastante grandes entre las diferencias de $\dot{V}O_2$ entre las dos modalidades de ejercicio en ambos modelos. Por lo tanto, puede haber algunas diferencias en el modo de ejercicio no detectadas debido al poder limitante de estos resultados. Sin embargo, si hay más diferencias significativas, lo más probable es que sean de una magnitud bastante baja y, por lo tanto, serán de menor importancia a

nivel de grupo, pero aún pueden ser críticas para la validez a nivel individual.

La ausencia de diferencias significativas en los niveles estimados de VO_2 entre el ciclismo en ergómetro submáximo y la caminata a nivel (modelo 1; Tabla 6) está en línea con el único estudio previo que pudimos encontrar que ha comparado específicamente la relación del VO_2 del ciclismo en ergómetro con el ejercicio horizontal en cinta rodante [26]. Aunque Berggren y Hohwü Christensen [26] no aplicaron el método de FC, observaron niveles de VO_2 similares a valores de FC equivalentes en ciclismo y caminata en ergómetros en un hombre entrenado.

También son cuestiones relevantes si el método de FC es intercambiable entre el ciclismo en ergómetro y otras formas de ejercicio en cinta, como correr a nivel, así como caminar o correr con inclinación. Después de estudiar la literatura previa [18,26,53-55], nuestros análisis de estudios apropiados [18,54,55] indican que el método de FC, basado en el ciclismo en ergómetro, es, a nivel de grupo, intercambiable con la carrera a nivel en cinta rodante, pero no con el ejercicio en cinta rodante con inclinación. Por ejemplo, nuestro análisis de Lafortuna, Agosti [18] demostró entre un 16-24% (mujeres obesas) y un 14-19% (mujeres con peso normal) de niveles más bajos de VO_2 a valores equivalentes de FC durante el ciclismo en ergómetro submáximo en comparación con la caminata en cinta rodante usando incrementos de carga de trabajo tanto de mayor velocidad como de inclinación. Todos nuestros análisis, resultados y textos complementarios en esta revisión de la literatura se pueden encontrar en la información de apoyo en S1 Discusión. El panorama general indica una clara necesidad de realizar más estudios sobre estos asuntos.

Los problemas de la optimización del método de FC sobresalen cuando se cambia el enfoque de los efectos sobre los valores medios (véase la figura 2) a los efectos sobre los valores individuales (véase las figuras 3 y 4). Es de destacar que las desviaciones entre las dos modalidades de ejercicio son generalmente mayores en el modelo 1 que en el modelo 2 (Fig. 3A y 3B). Por lo tanto, las diferencias entre CEE y TE parecen reducirse cuando se agregan las cargas de trabajo máximas a las relaciones de VO_2 . Curiosamente, al comparar el modelo 1 con el modelo 2 dentro de CEE, en contraste con TE, los valores están bien alineados a lo largo de la línea de identidad (ver Fig. 4A y 4B). Por lo tanto, el método de FC en CEE, en sí mismo, no gana nada al agregar ejercicio máximo. Por lo tanto, no puede explicar la reducción en la dispersión cuando se compara CEE y TE en el modelo 1 con el modelo 2 (Fig. 3A y 3B). Es más probable que se deba a cambios entre el modelo 1 y el modelo 2 dentro de TE, como lo indica un coeficiente r más alto en el modelo 2 ($r = 0.998$) en comparación con el modelo 1 ($r = 0.972$) (Tablas 4 y 5).

¿Cómo se puede entender esto? Creemos que un punto de partida razonable para explicar el patrón general de diferencias entre CEE y TE, así como entre los dos modelos, es verlos en relación con las posiciones y amplitud de los rangos de medición submáximos aplicados, así como sus distancias a los valores máximos de FC y VO_2 . En el modelo 1, el ciclismo en ergómetro submáximo se realizó a niveles de FC promedio que oscilaron entre 103.3-148.7 latidos·min⁻¹ (en base a todos los participantes), mientras que el rango correspondiente de caminata a nivel fue entre 89.1-104.9 latidos·min⁻¹. El rango submáximo bastante estrecho en TE, en comparación con CEE, aumenta la sensibilidad a las variaciones en los valores de FC y VO_2 en las ecuaciones de regresión lineal. Esto se refleja en los coeficientes r significativamente diferentes en el ciclismo en ergómetro (0.995) y en la marcha a nivel (0.972) para el modelo 1 (Tabla 4). Una explicación adicional de esta inestabilidad en los valores de TE submáximos individuales es que se ha demostrado que las actividades de intensidad ligera, como las actividades sedentarias y la marcha lenta, generan relaciones de VO_2 más variables que las actividades de intensidad de ejercicio moderada [11,56,57]. La amplia brecha entre los valores de FC y VO_2 submáximos y máximos se suma a la inestabilidad dentro de los modelos de TE. Incluir una gama más amplia de puntos de medición submáximos en la caminata a nivel podría ayudar a remediar la inestabilidad observada en este estudio, contribuir a optimizar el método de FC para la caminata a nivel y, por lo tanto, mejorar su intercambiabilidad con el ciclismo en ergómetro.

Como se indica en la Introducción, es necesario resolver una serie de cuestiones metodológicas relacionadas con el método de FC. Previamente hemos estudiado la reproducibilidad del método de FC en el ciclismo en ergómetro [21,22]. En el presente estudio hemos evaluado la intercambiabilidad del método de FC entre dos modalidades de ejercicio y hemos buscado formas de optimizar el método. En estudios futuros, evaluaremos la validez externa del método de FC en relación al ejercicio en condiciones de campo. En este contexto, es importante obtener conocimientos sobre si los componentes lentos de la cinética de la FC y del VO_2 [48,58,59] conducen a desviaciones en las relaciones del VO_2 con el tiempo y, en tales casos, en qué condiciones. Si, por ejemplo, la FC comienza a aumentar desproporcionadamente más que el VO_2 , entonces esto debe compensarse como parte del método de FC. Una forma de evaluar la necesidad de tal corrección sería estudiar a cada individuo en el laboratorio durante el ejercicio prolongado a una intensidad promedio que se anticipe en el contexto de medición de interés. Además, este asunto merece ser estudiado en condiciones de ejercicio intermitente prolongado que imitan las condiciones de medición aplicadas. De hecho, las inspecciones oculares de los registros de la FC y del VO_2 durante el desplazamiento activo apuntan en la dirección de que, si existen componentes lentos, aumentan en el mismo grado relativo en la FC y el VO_2 [41].

En conclusión, el estudio actual demuestra que los métodos de FC basados en el ciclismo y en la caminata a nivel en ergómetro submáximo son intercambiables para estimar los niveles promedio de VO_2 entre intensidades de ejercicio muy

ligeras y vigorosas correspondientes al 25-85% de FCres. Fundamentalmente, se observa el mismo hallazgo al incluir el ejercicio máximo en las relaciones del VO₂. Finalmente, la variación interindividual en el VO₂ entre el ciclismo en ergómetro y el ejercicio en cinta rodante se reduce cuando se utiliza el método de FC basado en cargas de trabajo tanto submáximas como máximas.

Información de apoyo

Métodos S1. El Cuestionario 1 de Desplazamientos Físicamente Activos en el Gran Estocolmo. La versión original en sueco. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.s001>

Métodos S2. El Cuestionario 1 sobre desplazamientos físicamente activos en el área metropolitana de Estocolmo (PACS Q1).

La versión original en sueco traducida al inglés.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.s002>

S1 Discusión. Análisis de la literatura previa utilizando el método de FC para estimar el consumo de oxígeno en el ciclismo en ergómetro y en caminar y correr en cinta rodante.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388.s003>

Agradecimientos

Agradecemos a los voluntarios por participar en el estudio y por la asistencia técnica de Phoung Pihlträäd. También queremos agradecer a los revisores por sus constructivos comentarios.

Financiamiento: Este trabajo fue financiado por los Fondos de Salud Pública del Consejo de la ciudad de Estocolmo (LS0401-0158) (a PS), los Fondos de Investigación de la Administración de Transporte de Suecia (TRV: 2017 / 63917-6522) (a PS) y Facultad de Ciencias del Deporte y la Salud, GIH (para PS, JSE y HR). Los patrocinadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio, la recopilación y el análisis de datos, la decisión de publicar o la preparación del manuscrito.

Conflictos de intereses: los autores han declarado que no existen conflictos de intereses.

REFERENCIAS

1. ¿Son Intercambiables los Métodos de Frecuencia Cardíaca Basados en Cicloergómetro y en la Marcha a Nivel en Cinta Rodante? (Para ver las referencias bibliográficas remitirse al artículo original:). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388>.

Cita Original

Olsson K, Salier Eriksson J, Rosdahl H, Schantz P (2020) Are heart rate methods based on ergometer cycling and level treadmill walking interchangeable? PLoS ONE 15(8): e0237388. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237388>