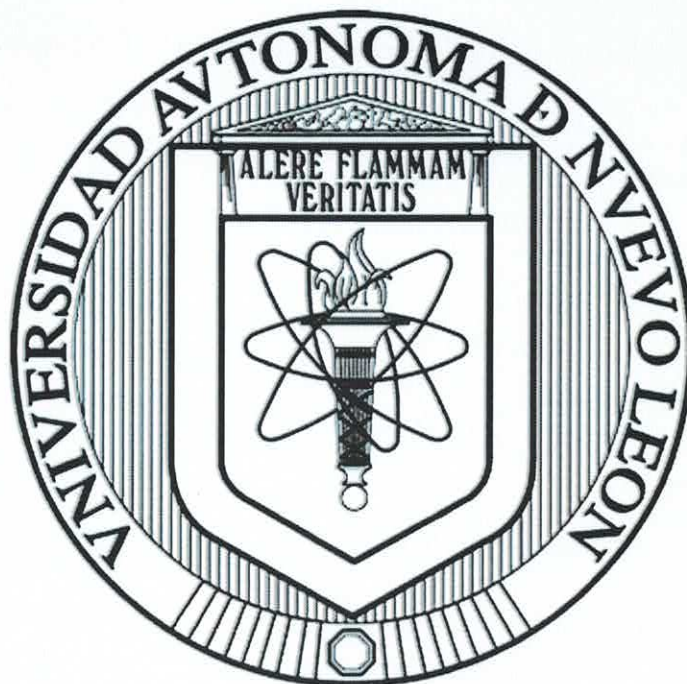


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR. JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”



COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE CONSUMO DE OXÍGENO ENTRE UNA PRUEBA DE ESFUERZO GRADUADO CONTRA UNA PRUEBA DE RITMO PROPIO DE CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO. REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS

Por

DR. JOSÉ ANTONIO OLIVAREZ CASTAÑEDA

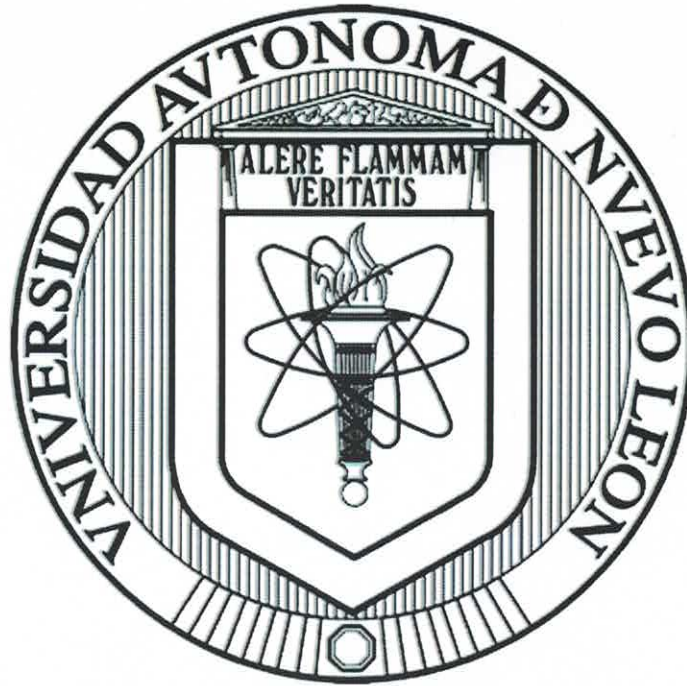
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL DEPORTE Y REHABILITACIÓN

Mayo 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR. JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”



COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE CONSUMO DE OXÍGENO ENTRE UNA PRUEBA DE ESFUERZO GRADUADO CONTRA UNA PRUEBA DE RITMO PROPIO DE CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO. REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS

Por

DR. JOSÉ ANTONIO OLIVAREZ CASTAÑEDA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL DEPORTE Y REHABILITACIÓN

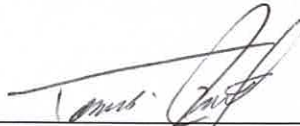
Asesor

DR. M.C. TOMÁS JAVIER MARTÍNEZ CERVANTES PhD

Mayo 2023

COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE CONSUMO DE OXÍGENO ENTRE UNA
PRUEBA DE ESFUERZO GRADUADO CONTRA UNA PRUEBA DE RITMO PROPIO
DE CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO. REVISIÓN SISTEMÁTICA Y
METAANÁLISIS

Aprobación de la Tesis



Dr. M.C. Tomás Javier Martínez Cervantes PhD

Director de Tesis

Medicina del Deporte y Rehabilitación



Dr. Med. Óscar Salas Fraire

Co- director de Tesis

Medicina del Deporte y Rehabilitación



Dra. E. Karina Salas Longoria

Coordinadora de Enseñanza

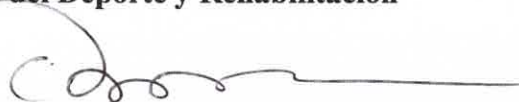
Medicina del Deporte y Rehabilitación



Dr. Med. Óscar Salas Fraire

Jefe de Departamento

Medicina del Deporte y Rehabilitación



Dr. Med. Felipe Arturo Morales Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado

PRÓLOGO

La actividad física, y en particular el ejercicio físico en su forma deportiva ha tenido una evolución vertiginosa ampliando notablemente las capacidades de sus practicantes, y sin embargo de ello ha concitado la pregunta de ¿Cuáles son las capacidades físicas máximas del ser humano que le lleve al pináculo o límite insuperable de su rendimiento deportivo?, esta pregunta no puede ser contestada de manera adecuada si no existieran las evaluaciones y mediciones pertinentes y correctas de las diversas capacidades físicas que tiene un individuo.

La ergometría (prueba de esfuerzo), tiene la finalidad, dentro de muchas otras cosas, de evaluar la capacidad aeróbica de una persona físicamente activa o deportista. Las características de su diseño pueden modificar los resultados obtenidos, por lo que la intención de este estudio es determinar si utilizar un protocolo de esfuerzo de ritmo propio permite tener valores superiores o similares a los obtenidos en las pruebas de esfuerzo tradicionales.

La importancia de lo anterior radica en el hecho de mejorar la prescripción del ejercicio, de establecer pruebas más funcionales y adaptadas al gesto deportivo de la persona que se evalúa y, en el mejor de los casos, más eficientes con relación al tiempo de uso del laboratorio de ergometrías.

Para contestar la pregunta se decidió realizar una revisión sistemática y un metaanálisis que nos permitiera comparar los resultados obtenidos en diversos estudios reportados desde 2012 hasta 2022. Se siguieron las recomendaciones PRISMA para este tipo de estudios, el análisis de riesgo de riesgo se hizo con la herramienta AXIS. Se analizaron los resultados de consumo de oxígeno máximo relativo y absoluto, frecuencia cardiaca y concentración sérica de lactato.

Con la finalidad de que el contenido de este trabajo se desarrollara de manera coherente y lógica se estructuró con base a los requisitos establecidos por la incubadora INVEST de la Subdirección de Investigación de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Así mismo, el apoyo logístico y metodológico para la realización de esta investigación fue aportado por la Plataforma Invest KER México perteneciente a la misma Subdirección de Investigación.

Así, se decidió que los capítulos 1 y 2 abordaran la introducción y los apartados referentes al marco teórico con la finalidad de exponer las bases teóricas y el contexto científico sobre los cuales surge la pregunta de investigación y la importancia que tiene este estudio para la realización de ergometrías. El capítulo 3 habla del diseño metodológico y las estrategias utilizadas durante el desarrollo de este protocolo, ya sea del proceso de selección de artículos y de la forma en que se analizaron los datos obtenidos de los artículos seleccionados. En el capítulo 4 se habla de los resultados obtenidos, se describe, mediante el diagrama PRISMA el proceso que se siguió para la obtención de los artículos incluidos en la revisión, las características dichos artículos y, también, se abordan los resultados obtenidos de las variables de frecuencia cardíaca máxima, consumo de oxígeno relativo y absoluto y concentración sérica de lactato. Este capítulo cierra con la valoración de riesgo de sesgo de los artículos incluidos.

Para cerrar el este trabajo de Tesis se intenta abordar, en el capítulo 5 se discute sobre los resultados obtenidos dentro del marco de teórico previamente establecido. Dicha discusión se realiza desde un abordaje general hacia un enfoque específico a cada una de las variables encontradas en los resultados. Los capítulos 6 y 7 hablan de las limitación y fortalezas de la investigación. Y el capítulo 8 aborda la conclusión del estudio y las recomendaciones y perspectivas para futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a mi papá y mi mamá, quienes siguiendo el ejemplo sus respectivos padres, me inculcaron el trabajo y la pasión por lo que uno hace y desea, eso me ha permitido disfrutar de cada uno de los momentos de este trabajo y etapa de formación. Sin lugar a duda, ellos son la base para que el día de hoy sea el profesionalista que soy. También agradezco a mi hermana, quien desde que éramos muy niños siempre ha sido un ejemplo de lo que deseo alcanzar y lograr. Y por último a mis tías y abuelas, su amor, compasión, empatía y calidez me acompañan en el corazón siempre.

Agradezco a todas aquellas personas que se han ido quedando en el camino como: maestros formales de institución, maestros informales en el trabajo y en diversas organizaciones, compañeros de trabajo, amigos y demás seres queridos que fueron transmitiéndome conocimientos y habilidades que me permiten afrontar la vida laboral y de crecimiento profesional de la manera que ahora lo hago.

Agradezco al Departamento de Medicina de Deporte y Rehabilitación, encabezado por el Dr. Med. Óscar Salas Fraire, pero que abarca a los maestros, trabajadores y compañeros residentes mayores y co-erres, Dra. Nebaí Nieto, Dr. Dennis Patiño y Dr. Fernando Sandoval, que han escuchado en mis ideas, me han soportado y sobre todo me han animado a seguir adelante. Gracias a ustedes esta etapa de mi formación está llena de alegrías y pequeños éxitos personales y profesionales.

Agradezco al Dr. Tomás Martínez que durante estos 3 años ha estado detrás de mí, soportando mis cambios de idea de investigación, apoyándome y alentándome a seguir con lo que al inicio sonaba como una locura, hacer una revisión sistemática. También, quiero agradecer al equipo

de trabajo que se formo que incluye a la Dra. Marien Matuk, al Dr. Andres Avalos, al Dr. Neil Alvarado (Unidad KER) y al Dr. Humberto de León Gutiérrez (Unidad KER) sin su apoyo este trabajo hubiera sido infinitamente más tardado y cansado. Gracias por su disposición siempre.

Para terminar, quiero agradecer a Marlén Matuk quien, con su amor y apoyo en esta etapa de formación, en el proceso de realización de este trabajo me ha motivado a seguir creciendo y seguir superándome.

DEDICATORIA

A mis abuelos,

A mis padres,

A mi hermana,

A mi yo del pasado.

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	V
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MARCO TEÓRICO.....	2
2.1 Marco teórico.....	2
2.1.1 Prueba de esfuerzo.....	2
2.1.2 Indicaciones de prueba de esfuerzo.....	5
2.1.3 Contraindicaciones de prueba de esfuerzo.....	6
2.1.4 Variables fisiológicas que se obtienen con las pruebas de esfuerzo.....	7
2.2 Marco de referencia.....	8
2.3 Marco conceptual.....	10
2.4 Definición del problema.....	15
2.5 Justificación.....	15
2.6 Hipótesis.....	16
2.7 Objetivos.....	16
2.7.1 Objetivo primario:.....	16
2.7.2 Objetivos secundarios:.....	16
3 DISEÑO METODOLÓGICO / ESTRATEGIAS.....	17
3.1 Criterios de Elegibilidad de los estudios.....	17
3.2 Estrategia de Búsqueda.....	17
3.3 Estrategia para identificación y selección de los estudios.....	18
3.4 Desenlaces de Interés.....	18
3.5 Recolección y manejo de la información de interés.....	19
3.6 Riesgo de sesgo.....	19
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Estrategia de búsqueda.....	20
4.2 Características de los estudios.....	21
4.2.1 Generalidades de los estudios.....	21
4.2.2 Características de los protocolos.....	22
4.3 Síntesis de los resultados.....	31
4.3.1 Frecuencia cardiaca máxima.....	31

4.3.2	Consumo máximo de oxígeno relativo	33
4.3.3	Consumo máximo de oxígeno absoluto.....	35
4.3.4	Concentración sérica de lactato.....	37
4.4	Riesgo de sesgo	38
5	DISCUSIÓN	42
5.1	Consumo de oxígeno:.....	43
5.2	Frecuencia cardíaca.....	44
5.3	Concentración sérica de lactato.....	45
6	LIMITACIONES.....	48
7	FORTALEZAS	49
8	CONCLUSIONES	50
8.1	Recomendaciones y perspectivas.....	50
9	BIBLIOGRAFÍA	51
10	ANEXOS	59
10.1	Algoritmo de búsqueda	59
10.2	Herramienta AXIS	64
10.3	CLAVE DE REGISTRO ANTE EL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN	65
10.4	CLAVE DE REGISTRO EN PROSPERO	65
	RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2009.....	20
Figura 2. Forest Plot de Frecuencia Cardíaca Máxima	31
Figura 3. Forest Plot de Consumo Máximo de Oxígeno Relativo	33
Figura 4. Forest Plot de Consumo Máximo de Oxígeno Absoluto	35
Figura 5. Concentración Sérica de Lactato post-esfuerzo	37
Figura 6. Herramienta AXIS	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los estudios incluidos	24
Tabla 2. Frecuencia Cardíaca Máxima.....	32
Tabla 3. Consumo Máximo de Oxígeno Relativo	34
Tabla 4. Consumo Máximo de Oxígeno Absoluto	36
Tabla 5. Concentración Sérica de Lactato post-esfuerzo	37
Tabla 6. Evaluación AXIS.....	40
Tabla 7. Evaluación AXIS (cont.)	41

1 INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano es una intrincada red de moléculas, células, órganos y sistemas que trabajan perfectamente sincronizados para mantener la homeostasis; sin embargo, es aún más extraordinaria la respuesta coordinada de cada uno de los componentes cuando un individuo es sometido al mayor estrés fisiológico que puede existir, el ejercicio. Durante el ejercicio, el sistema nervioso, tanto central como periférico, debe coordinar una respuesta muscular basada en las exigencias del entorno y la información transmitida por los tejidos corporales. Los músculos exigen una respuesta adecuada de los sistemas cardiovascular, pulmonar y endocrino para mantener el adecuado aporte de nutrientes y eliminación de desechos metabólicos.

Cada una de las respuestas corporales al ejercicio está basada en características genéticas, sin embargo, es cierto aquel adagio que dicta que “los genes son hijos del ambiente” por lo que, las respuestas corporales del ser humano al ejercicio también pueden ser modificadas con la exposición repetida y prolongada a dicha actividad física. Así, por ejemplo, el ser humano tiende a ser más eficiente en la forma de utilizar la energía proveniente de los alimentos y guardada en los distintos almacenes energéticos corporales, tanto en reposo como en distintas intensidades de ejercicio. Una de las áreas de la medicina deportiva es conocer estas variables de rendimiento humano utilizando herramientas ergométricas.

A lo largo de la historia de la investigación en fisiología humana se han descrito diversas formas de conocer cuál es la herramienta más precisa a la hora de evaluar las respuestas fisiológicas al ejercicio físico, y es en esta última premisa donde radica el motivo de esta investigación: determinar si una prueba de esfuerzo de ritmo propio es igual, superior o inferior a las pruebas de esfuerzo incremental o tradicionales en la capacidad de detectar los cambios fisiológicos presentes en el individuo que está realizando ejercicio físico.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico

2.1.1 Prueba de esfuerzo

La prueba de esfuerzo o ergometría (del griego *Ergon*: trabajo y *metron*: medición) es una herramienta diagnóstica y pronóstica no invasiva sobre el funcionamiento cardiopulmonar y la capacidad funcional de un individuo para realizar un ejercicio o trabajo dinámico y progresivo. (Manonelles Marqueta et al., 2016), Se fundamenta en que al realizar un determinado trabajo o ejercicio físico el cuerpo necesita más combustible y para satisfacer dichas demandas, el sistema cardiovascular tiene que aumentar su tasa de actividad. (Cobos & Cobos, 2017).

El ergómetro hace mención al dispositivo o aparato usado para medir determinado tipo de trabajo. Actualmente existen una variedad amplia de ergómetros en los laboratorios de fisiología deportiva, ya que estos se deben acercar más al gesto deportivo del atleta, que permita evaluarlo en condiciones más habituales (Powers & Howley, 2018). No obstante, los ergómetros que se usan de manera más habitual son la banda sin fin y el cicloergómetro.

El cicloergómetro es una bicicleta de ejercicio estacionaria que permite medir de manera precisa el trabajo realizado. August Krogh y sus colaboradores desarrollaron el cicloergómetro controlado automáticamente en 1913 (Powers & Howley, 2018). Hay dispositivos con freno mecánico y con freno eléctrico; en los primeros es necesario mantener una frecuencia de pedaleo o velocidad para poder calcular adecuadamente el trabajo realizado, sin embargo, en los cicloergómetros de freno eléctrico, el campo electromagnético que se genera alrededor de la rueda permite que se mantenga la intensidad de trabajo realizado independientemente de la velocidad de pedaleo. (Wasserman et al., 2012).

La banda sin fin permite modificar la velocidad y la pendiente posibilitando al atleta, paciente o participante, caminar, trotar o correr, y a través de esto, estimar el trabajo realizado. Dentro de las ventajas que tienen la banda sin fin sobre el cicloergómetro son la fácil adaptabilidad que tiene la mayoría de las personas al ergómetro, ya que caminar es una habilidad muy natural para la mayoría de los individuos (Kenney et al., 2012b); se puede obtener un consumo de oxígeno pico 5 a 10 por ciento mayor (Cid-Juárez et al., 2015) y hay sujetos que por inexperiencia o falta de coordinación tienen incapacidad para pedalear, resultando en fatiga muscular localizada o en infraestimación del consumo de oxígeno. (American College of Sports Medicine, 2021b). Aunado a lo anterior, dicha infraestimación del consumo de oxígeno se debe principalmente a la menor activación de masa muscular al usar un cicloergómetro que al correr en banda sin fin. No obstante, las bandas sin fin son más costosas, no son fácilmente transportables y pueden generar artefactos que afecten la medición de las variables fisiológicas (ventilación, intercambio de gases pulmonares, tensión arterial, etc.) (Wasserman et al., 2012).

Hay distintos tipos de protocolos para realizar una prueba de esfuerzo. Las pruebas de esfuerzo graduadas (GXT) son el estándar de oro para valorar la aptitud cardiorrespiratoria y medir el consumo de oxígeno durante el ejercicio incremental hasta llegar al máximo rendimiento, por lo tanto, sus protocolos requieren incrementos de intensidad sistemáticos y lineales hasta que el individuo sea incapaz de mantener o tolerar la carga de trabajo (Beltz, Gibson, Janot, Kravitz, Mermier, Dalleck, et al., 2016). Las variables de su diseño implican duración de etapa, incremento de carga por etapa, y la duración total de la prueba.

Los protocolos se pueden clasificar de acuerdo con la respuesta del atleta a la carga de trabajo como máximos o submáximos. Los protocolos máximos llevan al sujeto a su máxima capacidad de esfuerzo hasta el agotamiento voluntario, mientras que los submáximos no lo hacen

(American College of Sports Medicine, 2021b). Otra clasificación es basada en la carga de trabajo, así tenemos los constantes, con carga estable durante toda la prueba, y los incrementales, en los cuales la carga aumenta con el tiempo. Los protocolos incrementales, a su vez, se pueden subdividir en discontinuos y continuos. Los primeros presentan pausas de descanso entre las etapas incrementales, y los continuos no presentan dicha pausa entre etapas, ambos subtipos pueden ser escalonados, pero solo los continuos pueden ser en rampa. La diferencia entre estos dos es que los de rampa incrementan de manera constante a lo largo del tiempo, mientras que en los primeros la carga de trabajo permanece constante por determinado periodo de tiempo para luego incrementar (Manonelles Marqueta et al., 2016).

Otra posibilidad de clasificar las pruebas de esfuerzo es en circuito cerrado y en circuito abierto; las primeras son aquellas en las que el atleta o sujeto de estudio conoce el tiempo máximo en el que se va a tardar en desarrollar la prueba de esfuerzo y la intensidad del ejercicio se va graduando con base en la percepción de esfuerzo, como las pruebas de ritmo propio (*self-paced*). Las de circuito abierto, el atleta o sujeto de estudio no conoce el tiempo máximo que se va a tardar en desarrollar la prueba y todas las variables están controladas por el examinador, como en las pruebas de esfuerzo graduadas (GXT). Algunos autores (Faulkner et al., 2015) aseguran que las características de las pruebas de circuito abierto no son típicas en un evento atlético o deportivo, lo cual limitaría extrapolar sus resultados de laboratorio hacia la vida real.

2.1.2 Indicaciones de prueba de esfuerzo

Existen diferentes aplicaciones de las pruebas de esfuerzo, las cuales se pueden dividir en 3 grandes categorías: diagnóstica (presencia de enfermedad o respuesta anormal al ejercicio), pronóstica (evaluar el riesgo de algún efecto adverso) y evaluación de la respuesta fisiológica al ejercicio (frecuencia cardíaca, umbrales ventilatorios, capacidad pico de ejercicio, etc.) (American College of Sports Medicine, 2021a). En este sentido, podemos evaluar la capacidad individual de realizar un ejercicio dinámico junto con las respuestas sistémicas al mismo, valorar datos que permitan la prescripción del ejercicio o mejorar el rendimiento, evaluar el comportamiento de ciertas patologías relacionadas al esfuerzo físico; o bien, valorar la aptitud física al esfuerzo, ya sea, de individuos de más de 35 años con factores de riesgo o menores de esta edad con antecedentes familiares de muerte súbita (Manonelles Marqueta et al., 2016).

Sin lugar a duda, existen más aplicaciones clínicas para las pruebas de esfuerzo, ya sea en el área de la patología cardiovascular o neumología, no obstante, dichas aplicaciones se encuentran fuera de la finalidad del presente documento.

2.1.3 Contraindicaciones de prueba de esfuerzo

Las contraindicaciones para realizar una prueba de esfuerzo se pueden dividir en absolutas y relativas. Dentro de las primeras se pueden enumerar infarto agudo al miocárdico menor a dos días, angina inestable, arritmias descontroladas con compromiso hemodinámico, endocarditis activa, falla cardiaca aguda, discapacidad física o psíquica para realizar la prueba. Las contraindicaciones relativas incluyen, pero no se limitan a, obstrucción conocida de la arteria coronaria izquierda, bloqueo cardiaco adquirido avanzado o completo, evento vascular cerebral reciente, discapacidad mental con limitada capacidad para cooperar, presión arterial sistólica mayor a 200 mmHg o diastólica mayor a 110 mmHg, condiciones médicas no corregidas como síndrome anémico, desbalance hidroelectrolítico e hipertiroidismo, así como lesiones deportivas recientes o en fase de recuperación. (American College of Sports Medicine, 2021a).

2.1.4 Variables fisiológicas que se obtienen con las pruebas de esfuerzo

La sensibilidad y la reproductibilidad de las respuestas fisiológicas durante una prueba de esfuerzo graduada están limitadas por las características del participante y el diseño de protocolo de estudio (Beltz, Gibson, Janot, Kravitz, Mermier, Dalleck, et al., 2016). Dentro de las respuestas fisiológicas que podemos medir se incluye la frecuencia cardiaca, la presión arterial, respuestas eléctricas del corazón (electrocardiograma), índice de esfuerzo percibido, respuesta neuromuscular a las cargas de trabajo (electromiografía), determinación de consumo de oxígeno, producción de dióxido de carbono, equivalentes ventilatorios de oxígeno y dióxido de carbono, determinación de lactato, entre muchas otras variables.

Muchas de las variables antes mencionadas pueden ser medidas de manera directa, como el electrocardiograma; determinadas de manera indirecta como el sustrato energético utilizado a cierta intensidad a través del Índice de Intercambio Respiratorio (RER, por sus siglas en inglés) o bien, pueden ser estimadas a través de fórmulas, como el consumo de oxígeno máximo (fórmulas del Colegio Americano de Medicina de Deporte).

2.2 Marco de referencia

Como se ha comentado previamente, el diseño del protocolo de la prueba de esfuerzo es un factor que afecta la respuesta fisiológica, como ejemplo de lo anterior en 1983 se observó que el consumo de oxígeno máximo es subjetivamente mayor en las pruebas que permiten la fatiga máxima entre 8 a 17 minutos (Buchfuhrer et al., 1983). Este estudio fue el primero en recomendar que para la evaluación de la función cardiovascular el sujeto tenía que llegar al límite de la tolerancia o fatiga entre 8 a 12 minutos.

No obstante, la baja potencia estadística de dicho estudio hizo que la duda del tiempo en los diversos protocolos permaneciera como duda hasta los estudios de (Astorino et al., 2004) y de (Yoon et al., 2007) que confirmaron que independientemente de las características demográficas de las personas de estudio, las variables fisiológicas máximas se obtienen en un periodo entre 8 a 12 minutos. En el estudio de (Astorino et al., 2004) argumentan que el ejercicio que dura menos de 8 minutos puede subestimar el consumo de oxígeno máximo debido a la mayor contribución de la vía glucolítica al suministro de ATP y al aumento del reclutamiento de fibras de contracción rápida. Mientras que el ejercicio que dura más de 14 minutos la subestimación del consumo de oxígeno máximo es debido al aburrimiento y a la fatiga muscular local.

En 1984 se informó que un individuo tiene la capacidad para alcanzar mayor consumo de oxígeno máximo a ritmo propio durante una prueba contrarreloj competitiva simulada en comparación con los métodos de prueba basados en laboratorio (Hagerman, 1984). En 2005 se realiza una prueba regulada por la percepción de fatiga con la escala de Borg con la finalidad de evaluar la validez de predecir el consumo de oxígeno máximo a partir de valores submáximos (Eston et al., 2005).

Mauger en 2011 propone modificar las pruebas clásicas en cicloergómetro de esfuerzo graduado por una prueba ritmo propio, con un protocolo con duración de 10 minutos, divididos en 5 etapas de 2 minutos, donde la intensidad de la carga de trabajo es controlada por el atleta y en cada etapa el atleta debe llegar a una meta de la escala de percepción de esfuerzo (Escala de Borg) quedando así, en etapa 1 con Borg de 11, etapa 2 con Borg 13, Etapa 3 Borg 15, Etapa 4 con Borg 17 y Etapa 5 con Borg 20. Con esta prueba encontraron que en población no entrenada se obtienen valores de consumo de oxígeno máximo mayores que con las pruebas de esfuerzo graduado (tradicionales), así mismo, observaron que se reduce el dolor y la incomodidad al permitir que se cambie la intensidad del esfuerzo. Estas últimas características, son los que hicieron concluir a los investigadores que eran más adaptables al gesto deportivo real que las pruebas de esfuerzo graduado (Mauger & Sculthorpe, 2012).

En el artículo de (Chidnok et al., 2013) se comparó una prueba de esfuerzo tradicional en cicloergómetro, una de ritmo propio y otra con libertad de cadencia del pedaleo, las tres con tiempos de duración similares (aproximadamente 10 minutos), no demostrando mejoría en los valores de consumo de oxígeno máximo con las de ritmo propio.

Por último, (Faulkner et al., 2015) demostraron que no hay diferencias estadísticas en el consumo de oxígeno máximo obtenido entre una prueba de esfuerzo graduado tradicional y una prueba de ritmo propio realizada en banda sin fin monitorizada. Sin embargo, concluyen que es posible que la prueba tradicional pueda estar subestimando el consumo de oxígeno máximo por casi 19%.

2.3 Marco conceptual

Actividad física: Cualquier movimiento corporal producido por tejido musculoesquelético que produce gasto de energía. (World Health Organization, 2020)

Aptitud cardiorrespiratoria: Habilidad para desarrollar ejercicios de grandes grupos musculares, dinámicos de moderada a vigorosa intensidad por periodos prolongados de tiempo. (American College of Sports Medicine, 2021b)

Consumo de oxígeno (VO_2): Representa el costo energético individual para la tasa de trabajo o potencia específica de una actividad física determinada (Wasserman et al., 2012) . Aumenta de manera lineal con la tasa de trabajo hasta que se alcanza el valor de consumo de oxígeno máximo, punto en el cual a pesar de los incrementos en la potencia o trabajo no hay incrementos en el consumo de oxígeno (Kenney et al., 2012a; Powers & Howley, 2012a)

Con relación al umbral de lactato, cuando se trabaja con cargas por arriba de dicho umbral el consumo de oxígeno continúa incrementándose más allá de los típicos 1 a 2 minutos necesarios para alcanzar el estado estable, lo que se conoce como componente lento de la cinética del consumo de oxígeno (Kenney et al., 2012a), esto es muy probable debido al patrón de reclutamiento muscular, ya que en este tipo de ejercicios aumenta el reclutamiento de fibras tipo II, las cuales son menos eficientes al producir energía.

El VO_2 es un parámetro muy reproducible en personas sometidas al mismo protocolo de prueba en el mismo tipo de equipamiento y no depende de si la prueba es continua, discontinua, siempre y cuando se efectúe con el mismo instrumento de trabajo. (Powers & Howley, 2012b)

Consumo de oxígeno máximo (VO_2 máx.): Es la máxima tasa de consumo de oxígeno por la musculatura activa durante el ejercicio hasta llegar a la fatiga (Mauger & Sculthorpe, 2012). Sirve como valor de criterio para determinar la aptitud cardiorrespiratoria, se expresa en valores relativos ($ml\ O_2/Kg/min$) que permiten la comparación entre individuos. Una forma de verlo es que representa el producto del máximo gasto cardiaco individual y la máxima diferencia arteriovenosa individual.

Designar el valor como VO_2 máx implica que el individuo ha alcanzado su verdadero límite fisiológico, lo cual se puede observar en algunos individuos con una meseta en la curva del consumo de oxígeno (VO_2). O bien, a través de una carga de ejercicio extra a 105%-110% de la máxima carga de ejercicio de la prueba de esfuerzo o con la verificación de la frecuencia cardiaca, cuando esta no aumenta más de 2 lpm en el último minuto a pesar del incremento de carga. (American College of Sports Medicine, 2021b)

Consumo de oxígeno pico (VO_2 pico): cuando no ocurre la estabilización de la curva del consumo de oxígeno o bien cuando el máximo rendimiento (deportivo) se ve limitado por factores musculares locales. (American College of Sports Medicine, 2021b)

Deporte: Rango de actividades realizadas con una serie de reglas y realizado como parte de competencia o recreativo. (World Health Organization, 2020)

Deportista: Persona que practica algún deporte, por afición o profesionalmente (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2014)

Ejercicio: Subcategoría de la actividad física que es planeada, estructurada, repetitiva, y con propósito en el sentido en que mejora o mantiene uno o más de los componentes de la capacidad física (World Health Organization, 2020)

Equivalente metabólico del trabajo (MET): Medida fisiológica que expresa la intensidad de las actividades físicas. Un MET es la energía equivalente gastada por un individuo mientras está sentado y en reposo. (World Health Organization, 2020)

Esfuerzo: Sensación de cuán pesado, difícil y laborioso es un ejercicio, dicha sensación proviene de los órganos de la circulación y respiración, de los músculos, la piel las articulaciones y fuerza. (Borg & Dahlström, 1962), y se ha de diferenciar contra la fuerza (sensación de la tensión muscular que se experimenta durante la contracción muscular), dolor (sensación no placentera y experiencia emocional asociada con daño tisular actual o potencial, o descrito en términos de dicho daño) y malestar o incomodidad. (Pageaux, 2016)

Escala de esfuerzo percibido: Indicador para automonitorear la tolerancia al ejercicio de un individuo durante el esfuerzo físico, Existen tres escalas, la de Borg que clasifica el esfuerzo de 6 a 20 (RPE 6-20), la escala de 0 a 10 (CR 0-10) y la escala 0 a 100 (CR 0-100). (American College of Sports Medicine, 2021b; Pageaux, 2016). Las personas sedentarias, desentrenadas y físicamente activas tienen la misma capacidad de evaluar la intensidad del ejercicio. (Scherr et al., 2013)

La percepción de esfuerzo cambia entre ejercicios de cuerpo entero y aislados. Se deben dar descripciones en cómo debe evaluar el esfuerzo de acuerdo con el ejercicio. Así mismo, se ha visto que tiene fuerte relación con la frecuencia cardiaca y la concentración de lactato. (Scherr et al., 2013)

Fatiga: Clásicamente se define como la incapacidad para mantener la fuerza requerida o esperada para determinada actividad o como la reducción en el rendimiento muscular durante un esfuerzo continuo que está acompañado por una sensación de cansancio generalizado o incapacidad para continuar el trabajo muscular a una intensidad deseada. Se diferencia del daño muscular en que la fatiga se resuelve con el reposo (Kenney et al., 2012a).

Es un síntoma incapacitante en el que la función física y cognitiva está limitada por las interacciones entre la fatigabilidad del rendimiento y la percepción de la fatiga. La primera (fatigabilidad del rendimiento) se entiende como el declive en una medida objetiva del rendimiento durante un periodo de tiempo (velocidad de carrera durante una competencia o la potencia pico producida por un musculo) y depende de la capacidad contráctil de los músculos activados y la habilidad del sistema nervioso de proveer una adecuada señal de activación.(Mougios, 2020b)

Las causas de fatiga se clasifican en centrales y periféricas, dentro de las primeras abarcan alteraciones del sistema nervioso central y alteraciones en la transmisión en la unión neuromuscular. Las causas periféricas pueden ser reducción de la tasa de producción de energía (agotamiento de fosfatos de creatina o depleción glucogénica muscular), acumulación de subproductos metabólicos (calor, lactato e hidrogeniones) y fallas en los mecanismos contráctiles de la fibra muscular. Los mecanismos de fatiga dependen del tipo de músculos involucrados, el estatus de entrenamiento del sujeto y la dieta. (Kenney et al., 2012a)

Inactividad física: Un nivel de actividad física insuficiente para alcanzar las actuales recomendaciones de actividad física.(World Health Organization, 2020)

Persona físicamente activa: persona que cumple con las recomendaciones de la OMS actuales de actividad física para edad y sexo. (World Health Organization, 2020)

Grupo etario	Recomendaciones de actividad física
Niños y adolescentes de 5-17 años	En promedio 60 minutos diarios de actividad de intensidad moderada a vigorosa, principalmente aeróbica. Actividades de intensidad vigorosa, así como aquellas de fortalecimiento muscular y óseo, deben ser realizadas al menos 3 días a la semana.
Adultos de 18 a 64 años	Al menos 150-300 minutos de actividad física de intensidad moderada a vigorosa; o al menos 75-150 minutos de actividad vigorosa; o una combinación equivalente de actividad moderada y vigorosa durante la semana. Actividades de intensidad moderada o mayor que involucren grandes grupos musculares en 2 o más días a la semana.
Adultos mayores de 65 años	Al menos 150-300 minutos de actividad física de intensidad moderada a vigorosa; o al menos 75-150 minutos de actividad vigorosa; o una combinación equivalente de actividad moderada y vigorosa durante la semana. Actividades de intensidad moderada o mayor que involucren grandes grupos musculares en 2 o más días a la semana.

Potencia aeróbica: Tasa de liberación de energía por parte de los procesos metabólicos celulares que dependen de la disponibilidad y la participación de oxígeno. (Kenney et al., 2012c)

Resistencia muscular: Capacidad de realizar contracciones musculares mantenidas o de sostener una contracción muscular. (Kenney et al., 2012c)

2.4 Definición del problema

Con base en lo comentado en los apartados previos, especialmente en lo referente a las modificaciones en la sensibilidad y especificidad al cambiar los parámetros de las pruebas de esfuerzo, queda la duda si utilizar una prueba de ritmo propio es superior, igual o inferior en la obtención de las variables fisiológicas en comparación con las pruebas de esfuerzo graduado o tradicionales.

2.5 Justificación

La prueba de esfuerzo es el gold standard para la valoración de la aptitud cardiorrespiratoria, a través de la medición del consumo de oxígeno máximo (American College of Sports Medicine, 2021b). Actualmente, los protocolos de prueba de esfuerzo predominantes son los conocidos como de esfuerzo graduado tradicionales, en los cuales se realizan incrementos de carga de trabajo preestablecidos en etapas fijas. Sin embargo, esta forma de evaluación ha sido criticada (Faulkner et al., 2015) ya que no presentan las características típicas de un evento deportivo y al atleta no se le permite tomar decisiones más que la finalización del ejercicio (Mauger et al., 2013).

Por lo anterior, es importante realizar una revisión sistemática entre estos dos protocolos que nos permita obtener una conclusión más certera de la mejor opción para valorar el consumo de oxígeno máximo, permitiendo mejorar la prescripción del ejercicio, los planes de entrenamiento y los objetivos de dichos planes en los atletas o personas físicamente activas en condiciones más similares a las de competencia.

2.6 Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): Las pruebas de esfuerzo de ritmo propio NO generan valores de consumo de oxígeno máximos mayores en comparación con las pruebas de esfuerzo graduado.

Hipótesis alterna (H_1): Las pruebas de ritmo propio generan valores de consumo de oxígeno máximos superiores en comparación con las pruebas de esfuerzo graduado.

2.7 Objetivos

2.7.1 Objetivo primario:

El propósito de esta revisión sistemática y metaanálisis es determinar si existe diferencia clínica o estadísticamente significativa en los valores de consumo de oxígeno máximo obtenidos entre las pruebas de esfuerzo graduado y las pruebas de ritmo propio en personas físicamente activas.

2.7.2 Objetivos secundarios:

Valorar si hay diferencia en el malestar localizado en miembros pélvicos.

Valorar si el tiempo total de la prueba afecta el consumo de oxígeno.

Valorar las respuestas fisiológicas máximas entre ambos protocolos.

3 DISEÑO METODOLÓGICO / ESTRATEGIAS

3.1 Criterios de Elegibilidad de los estudios

Criterios de inclusión: Se buscaron estudios escritos en inglés o en español que incluyeran participantes que hayan realizado las dos pruebas, de ritmo propio y de esfuerzo graduado. Las pruebas pudieron haber sido realizadas en banda sin fin motorizada o no motorizada, cicloergómetro o alguna otra clase de ergómetro, que el consumo de oxígeno máximo se hubiera medido por medio de analizador de gases y que las pruebas hubieran sido de máximo esfuerzo. La población tenía que ser sana, físicamente activa o atletas (ver marco conceptual), sin importar otras características sociodemográficas.

Criterios de exclusión: Estudios que realizaron solo una u otra prueba, que no fueron de máximo esfuerzo. Que estimaron el consumo de oxígeno máximo con otros métodos que no fueran máscara de gases. Así mismo, se excluyeron los estudios en los que la población de este no se catalogó como sana o en los que se reportó cualquier tipo de enfermedad.

3.2 Estrategia de Búsqueda

La estrategia de búsqueda incluyó términos relacionados con, o que habitualmente se usan para describir “Test de consumo de oxígeno máximo de ritmo propio” (Self-paced, closed loop). Se realizó una búsqueda exhaustiva para encontrar artículos elegibles en varias bases de datos, desde 2011 hasta julio de 2021. Las bases de datos incluidas fueron MEDLINE/Pubmed, Embase, Web of Science, Scopus y PEDro. Se utilizaron palabras clave como “Atleta”, “Prueba de esfuerzo graduado tradicional”, “ritmo propio”, “sanos”, entre otros (ver anexos) y vocabulario técnico.

3.3 Estrategia para identificación y selección de los estudios

Los revisores trabajaron de forma independiente y por duplicado, examinaron todos los títulos y resúmenes de los artículos seleccionados para evaluar la elegibilidad. En esta fase los revisores fueron muy sensibles y, por lo tanto, cuando no estuvieron de acuerdo, el artículo se incluyó a la fase de texto completo. A su vez, antes de iniciar con la revisión de los textos completos, se realizó un piloto para evaluar la concordancia de los revisores, los desacuerdos en la selección de texto completo se resolvieron por consenso.

El acuerdo entre evaluadores ajustados al azar para la selección del título / resumen y el texto completo se calculó utilizando la estadística Kappa de Cohen. Antes y después de ambas fases de selección, se documentó el número total de artículos incluidos y excluidos, así como los motivos de la exclusión.

3.4 Desenlaces de Interés

Se buscó la diferencia del consumo de oxígeno máximo obtenido en prueba de ritmo propio contra una prueba incremental de máximo esfuerzo. Así mismo, se buscaron las diferencias en cualquier respuesta fisiológica ya sea máxima o pico obtenido en prueba de ritmo propio y test de máximo esfuerzo incremental. Entre las respuestas fisiológicas se incluyeron la frecuencia cardiaca, tasa de intercambio respiratorio, producción de CO₂, lactato sanguíneo. Por último, se buscaron las diferencias en rendimiento o percepción de esfuerzo obtenido en prueba de ritmo propio y test de máximo esfuerzo incremental

3.5 Recolección y manejo de la información de interés

Los revisores trabajaron de manera independiente y por duplicado para extraer los datos de los artículos seleccionados. Se creó una plantilla para la extracción de datos, que se modificó con base a las observaciones de los revisores. Primero, se hizo una fase piloto para aclarar desacuerdos y dudas. Los desacuerdos posteriores a la extracción de datos se discutieron y se resolvieron por consenso; los desacuerdos que no se resolvieron de esta manera, se solucionaron a través del arbitraje de un tercer revisor.

3.6 Riesgo de sesgo

Los artículos se evaluaron acorde con la herramienta AXIS (Downes et al., 2016), la cual fue diseñada para ayudar a la interpretación sistemática e informar las decisiones sobre la calidad del estudio que se evalúa. Evalúa 5 dominios introducción, métodos, resultados, la discusión y otros. El primer dominio se evalúa con un ítem, el segundo con 10 ítems, el tercero con 5 ítems, el cuarto con dos y el último con 2 ítems, cada uno de estos ítems tiene áreas para registrar una respuesta de "sí", "no" o "no sé" y también hay espacio para comentarios breves. (Ver anexos)

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estrategia de búsqueda

Se identificaron un total de 826 artículos (se excluyeron 42 en el proceso de duplicación) basados en la estrategia de búsqueda (Figura 1). Primero, se realizó un cribado basado en el título y resumen, lo que permitió excluir 784 artículos. Después de este proceso, los artículos restantes se incluyeron o excluyeron en la fase de análisis de texto completo basándonos en los criterios de elegibilidad previamente descritos. Del resultado del proceso anterior se eligieron 14 artículos para el análisis cualitativo y para la síntesis cuantitativa.

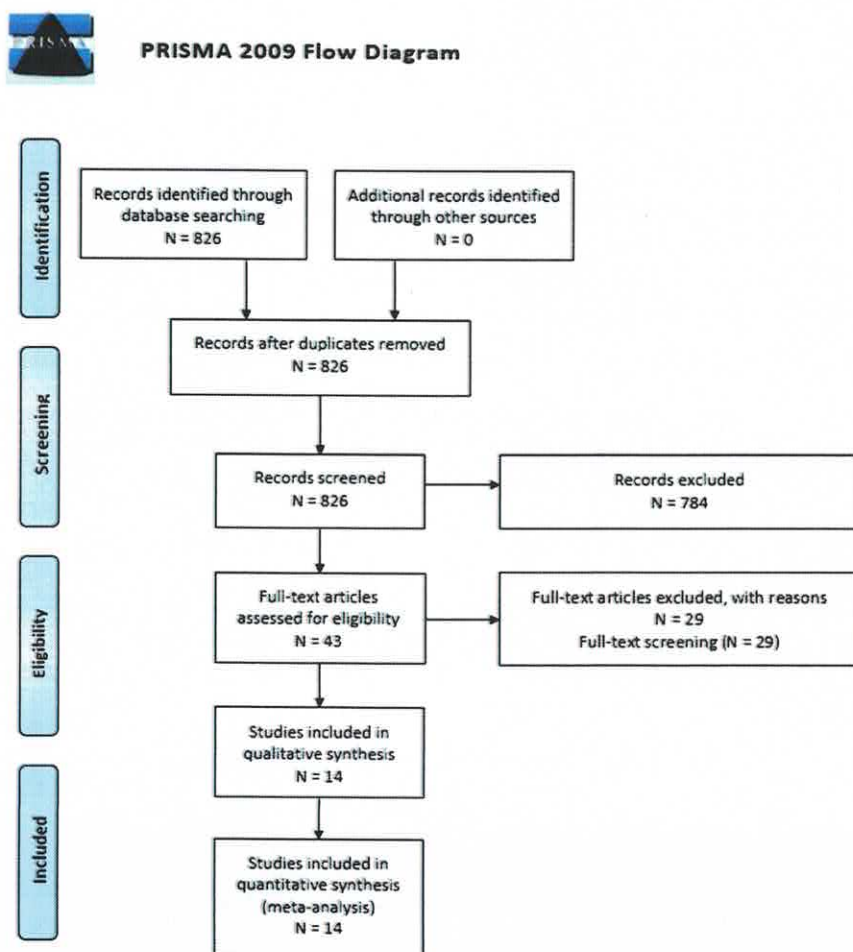


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2009

4.2 Características de los estudios

4.2.1 Generalidades de los estudios

Se encontraron 14 estudios que abarcaban investigaciones desde los años 2011 a 2019 (tabla 1), 13 de estos artículos fueron de tipo transversal, uno de ellos (Hogg et al., 2018) fue de tipo longitudinal. En dicho estudio se buscaba “comparar la actividad cerebral durante protocolos de ejercicio máximo de circuito abierto y cerrado, y determinar si hay diferencias relacionadas al sexo”, sin embargo, debido a los objetivos de nuestra investigación, se decidió únicamente tomar los datos obtenidos de las pruebas de esfuerzo realizadas al inicio de dicho protocolo de investigación, por lo que, a pesar de ser un estudio longitudinal, para fines de nuestro análisis se consideró como transversal.

Hubo una muestra total de 263 participantes, de los cuales 56 fueron de sexo femenino y 163 de sexo masculino, con una edad promedio de 27.8 (± 11) años. Un artículo (Mauger & Sculthorpe, 2012) no reportó los antecedentes deportivos; en 2 artículos (Chidnok et al., 2013)(Hogg et al., 2018) no se especificaron los criterios utilizados para definir “Recreacionalmente activos, pero no entrenados” ni “activos recreacionales”. 7 artículos reportaron como antecedentes deportivos más de 90 minutos de actividad física a la semana. 3 artículos (Straub et al., 2014) (Scheidler & Devor, 2015)(Truong et al., 2018) analizaron deportistas entrenados, ciclistas, corredores de fondo experimentados y corredores de competencia nacional, respectivamente.

De los 14 artículos, 6 estudios utilizaron solo banda sin fin, 6 artículos solo usaron cicloergómetro, de estos 2 artículos (Chidnok et al., 2013; Jenkins et al., 2017) utilizaron cicloergómetros distintos en el protocolo tradicional y en el protocolo de ritmo propio. Un artículo utilizó cicloergómetro de brazos y, por último, (Hanson et al., 2016) utilizó tanto

cicloergómetro como banda sin fin para el protocolo de ritmo propio y para el tradicional solo la banda sin fin.

En cuanto a los protocolos utilizados, 1 artículo (Chidnok et al., 2013) utilizó dos protocolos distintos de esfuerzo graduado y uno de ritmo propio, el cual era distinto al protocolo originalmente propuesto por (Mauger & Sculthorpe, 2012); 2 artículos (Hanson et al., 2016; Hogg et al., 2015) realizaron dos variantes de protocolo de ritmo propio. Por último (Truong et al., 2018) realizó un protocolo de esfuerzo graduado basado en 10 etapas de 1 minuto.

4.2.2 Características de los protocolos

De todos los protocolos de ritmo propio, solo dos utilizaron etapas de diferentes a las propuestas por (Mauger & Sculthorpe, 2012). El primero de ellos, (Chidnok et al., 2013) utilizó 7 etapas de x segundos, donde x era igual a la duración de la prueba de rampa inicial dividida entre siete ($x = \text{Tramp}/7$); la potencia fue variable, mientras que la RPE se ajustó basado en la escala de Borg₀₋₂₀ quedando para la etapa 1 en 8, la etapa 2 en 10, la etapa 3 en 12, la etapa 4 en 14, la etapa 5 en 16, la etapa 6 en 18 y la etapa 7 en 20. El segundo fue (Truong et al., 2018) quien utilizó 10 etapas de 1 minuto, los incrementos por etapa fueron sujetos a la escala de Borg₀₋₂₀ iniciando en 11 hasta llegar 20 puntos. La velocidad era variable y la pendiente estaba fija a 0%. El resto los estudios utilizaron el protocolo original de 5 etapas continuas de 2 minutos cada una con incrementos en RPE de 11, 13, 15, 17 y 20, respectivamente. Lo que variaba entre protocolos era el tiempo de calentamiento previo a la prueba, la pendiente, que podía ir fija (0, 1, 3, 5 u 8% grado), variable o ambas (Hogg et al., 2015). La velocidad, en la banda sin fin, o la potencia y cadencia, en los cicloergómetros eran los factores que más podían modificar los participantes de las pruebas, ya sea que lo hicieran de manera manual o de manera automática basados en zonas de carrera dentro de la banda sin fin.

En cuanto a los protocolos tradicionales realizados en cicloergómetros, tenían una potencia inicial que variaba entre 20 a 100W, la cual se seleccionaba dependiendo del nivel de condición física o antecedente de entrenamiento de los sujetos. Para determinar el antecedente de entrenamiento varios artículos utilizaron cuestionarios como el PARQ (+) (Warburton et al., 2011) o bien, utilizaban los antecedentes de las mejores marcas personales de carrera o los resultados de pruebas realizadas con anterioridad. Manteniendo esta potencia entre 2 y 3 minutos, para después hacer incrementos de potencia, dependiendo del nivel de entrenamiento o del sexo, entre 15 W y 40W por minuto hasta conseguir la fatiga voluntaria o bien que los participantes no pudieran mantener la cadencia indicada.

Los protocolos tradicionales realizados en banda sin fin calcularon la velocidad inicial basándose en las características del participante con la intención de terminar el protocolo entre 8 a 12 minutos, el objetivo de lo anterior fue que el análisis de los resultados de las diferentes pruebas no se viese influenciado por el tiempo total de duración. La pendiente de las pruebas fue entre 0 y 3% grados, con excepción de (Hanson et al., 2016) que utilizó el protocolo de Bruce estándar. Los incrementos de velocidad se realizaron de 1 Km/h cada 1 a 2 minutos, excepto en el protocolo usado por (Beltz et al., 2018) en el cual incrementaron la velocidad cada 15 segundos. En todos, el objetivo fue llegar a la fatiga voluntaria.

Tabla 1. Características de los estudios incluidos

Autor, año	N	M	H	Edad	Antecedentes. Deportivos	Ergómetro	GXT 1	GXT 2	SPV 1	SPV 2
(Mauger & Sculthorpe, 2012)	16	5	11	22	NR	Sistema de ciclo ergometría Computrainer (RaceMate Computrainer, Seattle, Washington, USA)	P0= 60 W; $\Delta P= 30$ W cada 2 min; Cad.= 60 RPM. Fin.= fatiga volitiva o incapacidad para mantener ≥ 60 RPM	NA	5 etapas continuas por 2 minutos cada una con incrementos en RPE de 11, 13, 15, 17 y 20.	NA
Weerapong Chidnok (Chidnok et al., 2013)	7	0	7	20	Recreacionalmente activos, pero no altamente entrenados	Tradicional: Cicloergómetro de freno electrónico (Lode Excalibur Sport, Groningen, the Netherlands); Self-paced: Sistema de ciclo ergometría Computrainer (RacerMate Computrainer, Seattle, Washington, USA)	P0= sin resistencia 3 min; $\Delta P= 30$ W/min; Cad.= preferida y constante. Fin.= fatiga volitiva o incapacidad para mantener la cadencia	P0= sin resistencia 3 min; $\Delta P= 30$ W/min; Cad.= libre y variable. Fin.= fatiga volitiva.	7 etapas de x segundos, donde x es igual a la duración de la prueba de rampa inicial dividida por siete ($x = \text{Tramp}/7$); P= variable; RPE de la etapa 1 se fijó en 8, la etapa 2 en 10, la etapa 3 en 12, la etapa 4 en 14, la etapa 5 en 16, la etapa 6 en 18 y la etapa 7 en 20.	NA
(Astorino et al., 2015) (Grupo Low)	10	5	5	25.7	Físicamente activos (más de 3 horas por semana de entrenamiento cardiovascular y/o intervalos, fortalecimiento, y/o deporte recreacional en el año previo al	Cicloergómetro de freno eléctrico Velotron DynafitPro (RacerMate Inc., Seattle, WA, USA)	P0= (H) 60-80 W, (M) 50-60 W durante 2 min; $\Delta P=$ (H)30-40 W/min, (M)25-30 W/min; Fin.= fatiga volitiva o Cad. <50 rpm; Ver.= recuperación 8 min a 30% Wmax, después 2 min a 40-45% Wmax,	NA	Calentamiento: 5 min 40% Wmax; P= Variable.	NA

(Astorino et al., 2015) (Grupo Moderate)	10	5	5	26.3	estudio). Ninguno entrenaba para una competición específica o deportiva	Físicamente activos (más de 3 horas por semana de entrenamiento cardiovascular y/o intervalos, fortalecimiento, y/o deporte recreacional en el año previo al estudio). Ninguno entrenaba para una competición específica o deportiva	Cicloergómetro de freno eléctrico Velotron DynafitPro (RacerMate Inc., Seattle, WA, USA)	después 105% Wmax hasta fatiga volitiva.	NA	Calentamiento: 5 min 40% Wmax; P= Variable.	NA
(Astorino et al., 2015) (Grupo High)	10	1	9	26	físicamente activos (más de 3 horas por semana de entrenamiento cardiovascular y/o intervalos, fortalecimiento, y/o deporte recreacional en el año previo al estudio). Ninguno entrenaba para una competición	físicamente activos (más de 3 horas por semana de entrenamiento cardiovascular y/o intervalos, fortalecimiento, y/o deporte recreacional en el año previo al estudio). Ninguno entrenaba para una competición específica o deportiva	Cicloergómetro de freno eléctrico Velotron DynafitPro (RacerMate Inc., Seattle, WA, USA)	P0= (H) 60-80 W, (M) 50-60 W durante 2 min; ΔP = (H)30-40 W/min, (M)25-30 W/min; Fin.= fatiga volitiva o Cad. <50 rpm; Ver.= recuperación 8 min a 30% Wmax, después 2 min a 40-45% Wmax, después 105% Wmax hasta fatiga volitiva.	NA	Calentamiento: 5 min 40% Wmax; P= Variable.	NA

(Straub et al., 2014)	16	4	12	34	Ciclistas entrenados (mínimo 6 horas de pedaleo por semana por al menos los últimos 6 meses)	Cicloergómetro Velotron DynafitPro (RacerMate Inc., Seattle, WA, USA)	P0= 80 W; ΔP=(H)30 W/min, (M)20 W/min; Fin.= fatiga volitiva o Cad. <80 rpm ≥5s.	NA	NA	P= variable	NA
(Hogg et al., 2015)	14	0	14	28	Corredores de distancias medias a largas.	Banda sin fin motorizada (HP Cosmos Saturn Treadmill, HP Cosmos, Nussdorf-Traunstein, Germany)	Pen.= 3%; Vel 0= submáxima, determinada por el experimentador y el sujeto, para alcanzar la fatiga volitiva entre 8 a 12 min.; Δ Vel.= 1km/h cada 2 min; Fin.= Fatiga volitiva; Ver.= 10 min de descanso activo seguido de una etapa de verificación de meseta.	NA	Etapa 1: Pen.= 3% fija con vel. Variable, etapa 2-4: Pend.= variable Vel.= Fija, etapa 5: Pend.= Fija, vel.= variable; Ver.= 10 min de descanso, Vel.= entre el pico de Vel. Del SPV y la vel. Predicha en el GXT	Etapa 1-5: Pen.= 3% fija, Vel.= variable; Ver.= 10 min de descanso, Vel.= entre el pico de Vel. del SPV y la vel. Predicha en el GXT	
(Scheidler & Devor, 2015)	13	NR	13	25	Corredores de fondo experimentados (mínimo 4 años de experiencia en eventos de	Banda sin fin (TrackmasterTMX 425C, Full Vision Inc., Newton, KS)	Pen.= 2%; ΔPen.= 2% cada 2 min; Vel.= determinada por el experimentador para alcanzar la fatiga	NA	Vel.= variable; Pend.= 8%	NA	

(Faulkner et al., 2015)	13	0	13	25.5	Recreacionalmente activos (más de 3 horas por semana)	Banda sin fin motorizada (True 825, Fitness Technologies, St Louis, MO, USA)	Vel 0= submáxima, determinada por el experimentador y el sujeto, para alcanzar la fatiga volitiva entre 8 a 12 min; Δ Vel.= 1km/h cada 2 min; Fin.= Fatiga volitiva; Ver.= 15 min de descanso seguido aumentar en un periodo de 30 segundos a una velocidad 1km/h arriba de la etapa final del GXT.	NA	Calentamiento: 5 min RPE 11; Vel.= Variable	NA
(Hanson et al., 2016)	13	5	8	24	Activos recreacionales (≥ 150 min/sem., intensidad moderada en los últimos 6 meses.)	Banda sin fin motorizada (TrackMaster TMX428CP, Full Vision, Inc., Newton, KS); Cicloergómetro de freno electrónico Lode Excalibur (Lode, Gronigen, The Netherlands)	Protocolo de Bruce estándar; Ver.= correr una etapa superior a la alcanzada en la prueba durante 2 min	NA	Banda sin fin. Vel.= Variable en todas las etapas; Pend.= 8% fija	Cicloergómetro. P= variable
(Jenkins et al., 2017) (Grupo Young: 18 a 30 años)	22	NR	NR	25	fisicamente activos (más de 90 minutos de actividad moderada por semana)	Self-paced: Cicloergómetro con freno de aire (Wattbike Ltd, Nottingham, UK); Tradicional: cicloergómetro con	P0= 20, 50 o 100 W (de acuerdo a niveles de condición física auto informados) durante 2 min; Δ P= 15 o 20W/min; Cad.=	NA	P= variable; Cad.= variable	NA

(Jenkins et al., 2017) (Grupo Older: 50-75 años)	22	NR	NR	59	físicamente activos (más de 90 minutos de actividad moderada por semana)	freno electromagnético (Corival, Lode, Groningen, Netherlands)	>60 rpm; Fin.= incapacidad para continuar o no mantener Cad. >60 rpm.	NA	P= variable; Cad.= variable	NA
(Truong et al., 2018)	11	3	8	NR	Corredores voluntarios de distancias medias, largas y triatlétas que compiten a nivel nacional en Suiza, que entrenan más de 5 veces/semana en los últimos 12 meses.	Banda sin fin automatizada (POMA, Porschendorf and ST Innovation, Leipzig, Germany) equipada con un sensor sonar	Pen.= 0%; Vel 0= Grupo 1 (1ero GXT) mejor marca personal en 3 mil o 5 mil m, Grupo 2 (1ero PRGXT) se calculó para alcanzar la misma velocidad en el último minuto de la prueba como la velocidad media en el último minuto del PRGXT; Δ Vel.= 1km/h cada 1 min; Fin.= Fatiga volitiva o no pudiera mantener la velocidad o posición en la banda sin fin.	NA	10 etapas de 1 min sujeta a RPE (11 a 20); Vel.= variable; Pend.= 0% fija	NA

(Hutchinson et al., 2017)	20	6	14	23	Activos recreacionales (7.1 horas por semana de actividad física)	Cicloergómetro de manos sincrónico (Invacare Top End Force 3, Elyria, OH, USA) conectado a un ergómetro Cyclus 2 (AvanAvantronic Richter, Leipzig, Germany)	P0= 20-40 W durante 2 min; $\Delta P= 20W/min$; Fin.= fatiga volitiva o no mantener Cad. preferida más de 5s.; Ver. Potencia 5 W más a la última etapa	NA	Vel.= variable; Pend.= 5% fija	NA
(Hogg et al., 2018)	24	8	16	30	Activos recreacionales	Banda sin fin motorizada (Saturn, HP Cosmos, Nussdorf-Traunstein, Germany)	Pen.= 1%; Vel 0= submáxima, determinada por el experimentador y el sujeto, para alcanzar la fatiga volitiva entre 8 a 12 min; $\Delta Vel.= 1km/h$ cada 2 min; Fin.= Fatiga volitiva.	NA	Velocidad controlada por un sistema de control por zonas.	NA
(Beltz, Gibson, Janot, Kravitz, Mermier, & Dalleck, 2016)	16	0	16	23.6	Regularmente activos (≥ 30 min de ejercicio aeróbico, ≥ 3 días a la semana, durante los últimos 3 meses o más)	Banda sin fin motorizada (c966, Precor, Woodinville, WA, USA.)	Pen.= 3%; Vel 0= basada en la sesión de familiarización.; $\Delta Vel.= 0.16km/h$ cada 15 s; Fin.= Fatiga volitiva.	NA	Vel.= variable; Pend.= 3% fija	NA
(Dykstra et al., 2019)	26	14	12	22	Regularmente activos (≥ 30 min de ejercicio aeróbico, ≥ 3 días a la semana, durante los últimos 3 meses o más)	Cicloergómetro de freno electromagnético (Lode, Groningen, Netherlands)	P ₀ = 70 W; $\Delta P= 25W$ (M), 35 W (H) /min; Cad. 60-90 RPM; Fin.= Cad. <60 RPM más de 5s.	NA	Cad.= Variable, resistencia= variable	NA
Total	263	56	163	27.8						

Δ Vel.= Incrementos de velocidad, ΔP = Incrementos de potencia, $\Delta Pen.$ = Incremento de la pendiente, Ant. Dep.= antecedentes deportivos, Cad.=Cadencia Edad= Edad media (años), Fin. = Finalización de prueba, GXT = Graded Exercise Test, H= hombres, m = metros, M= mujeres, min= minuto, N = tamaño de muestra, N= muestra, NA= No Aplica, NR= No Reportado, P= potencia, P_0 = Potencia inicial, Pen. = Pendiente de inclinación, RPM= Repeticiones Por Minuto, s= segundo, SPV= 5 etapas continuas por 2 minutos cada una con incrementos en RPE de 11, 13, 15, 17 y 20, Vel_0 = Velocidad inicial, Ver. = Etapa de verificación, W= Watts, W_{max} = Watts máximos

4.3 Síntesis de los resultados

De la totalidad de las variables reportadas en los diversos artículos, las 3 más consistentes y de mayor importancia para el propósito de nuestra investigación fueron la frecuencia cardiaca máxima, el consumo de oxígeno y la concentración sérica de lactato post esfuerzo.

4.3.1 Frecuencia cardiaca máxima

Todos los estudios analizados en la revisión sistemática reportaron resultado de frecuencia cardiaca, en el caso de aquellos protocolos que reportaron sus resultados en distintos grupos dentro de un mismo tipo de protocolo de prueba de esfuerzo (tradicional o de ritmo propio) se promediaron los valores al momento de hacer el metaanálisis, tal fue el caso de (Hanson et al., 2016; Hogg et al., 2015) en los protocolos de ritmo propio y (Chidnok et al., 2013) en el protocolo tradicional. Los resultados de los diversos estudios se pueden ver en la [Tabla 2](#). No encontramos diferencia estadísticamente significativa en la frecuencia cardiaca máxima, entre los protocolos de ritmo propio y los tradicionales (MD = -1.71, 95% CI, -3.48 a 0.06, $I^2 = 0\%$; $P = 0.46$) aunque tiende a ser menor en los protocolos de ritmo propio. ([Figura 2](#)).

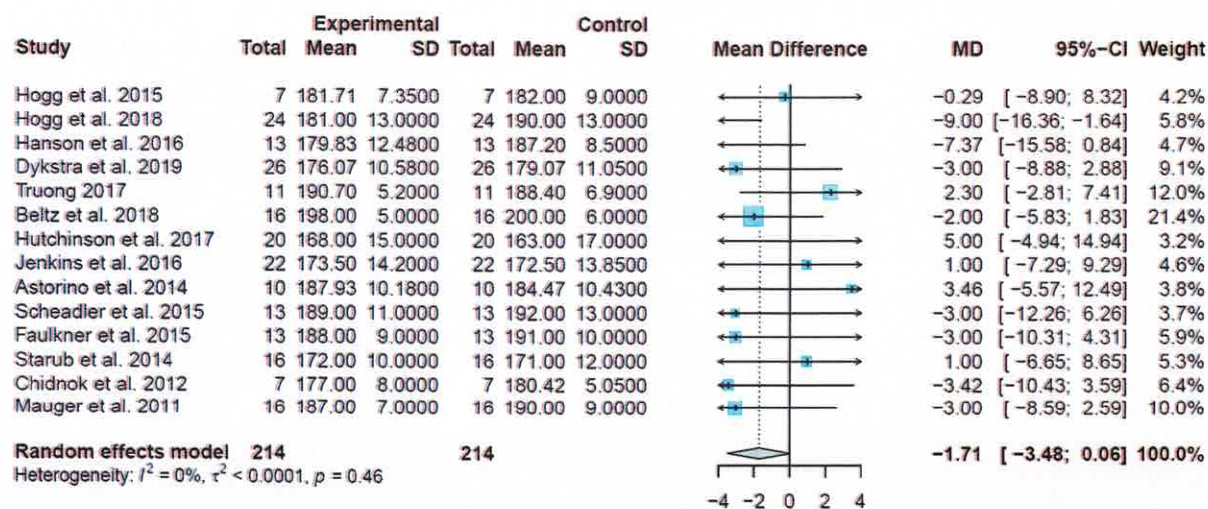


Figura 2. Forest Plot de Frecuencia Cardiaca Máxima

Tabla 2. Frecuencia Cardiaca Máxima

Autor	Año	Ritmo Propio 1	Ritmo Propio 2	Tradicional 1	Tradicional 2
Alexis R. Mauger	2011	187	-	190	-
Weerapong Chidnok	2012	177	-	180	181
Tod Anthony Astorino (Grupo Low)	2014	190.4	-	186.8	-
Tod Anthony Astorino (Grupo Moderate)	2014	187.5	-	183.3	-
Tod Anthony Astorino (Grupo High)	2014	186.4	-	183.6	-
Allison M. Straub	2014	172	-	171	-
James S. Hogg	2015	180	183	182	-
Cory M. Scheadler	2015	189	-	192	-
James Faulkner	2015	188	-	191	-
Nicholas J. Hanson	2016	175.5	184.9	187.2	-
Lauren A. Jenkins (Grupo Young: 18 a 30 años)	2016	164	-	164	-
Lauren A. Jenkins (Grupo Older: 50-75 años)	2016	183	-	181	-
Perrine Truong	2017	190.7	-	188.4	-
Michael J. Hutchinson	2017	168	-	163	-
James S. Hogg	2018	181	-	190	-
Nicholas M. Beltz	2018	198	-	200	-
Rachel M. Dykstra	2019	176.07	-	179.07	-
Media ponderada		180.65	18.88	182.02	4.82

4.3.2 Consumo máximo de oxígeno relativo

De los 14 estudios incluidos en la revisión sistemática, solo 12 reportaron consumo de oxígeno relativo (ml/Kg/min). Los estudios (Chidnok et al., 2013; Straub et al., 2014) que lo reportaron como consumo de oxígeno absoluto fueron excluidos de este apartado en el proceso de metaanálisis. Al igual que con la frecuencia cardíaca máxima, los resultados de los estudios que dividieron en más de un grupo en cada intervención, se promediaron sus resultados para permitir el análisis de este (Hanson et al., 2016; Hogg et al., 2015). Los resultados de los diversos estudios se pueden ver en la **Tabla 3**. No encontramos diferencia estadísticamente significativa en el consumo máximo de oxígeno relativo, entre los protocolos de ritmo propio y los tradicionales, aunque presenta ligera tendencia a ser menor en los últimos. (MD = 0.41, 95% CI, -0.91 a 1.72, $I^2 = 7\%$; $P = 0.38$) (**Figura 3**)

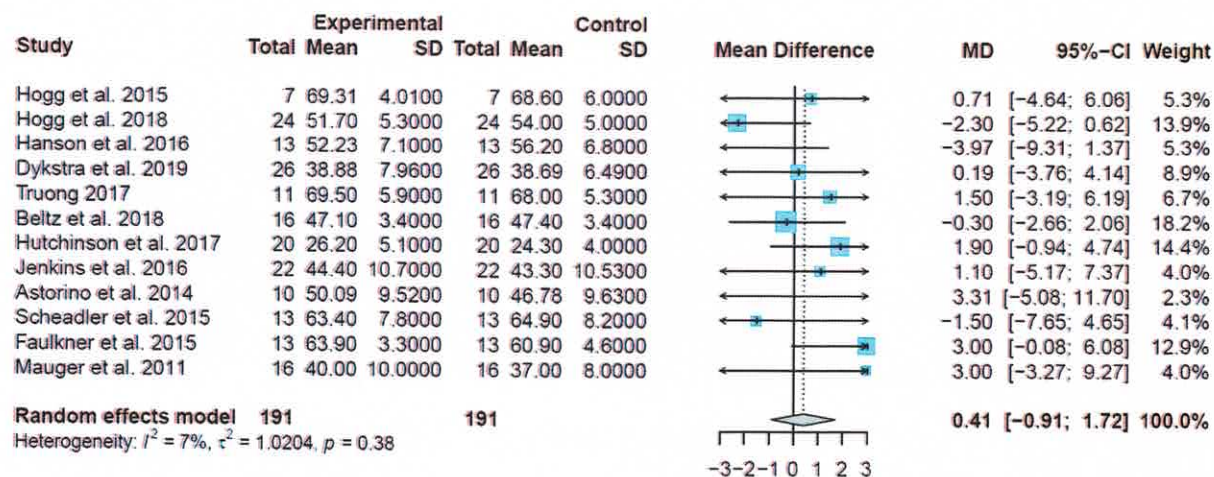


Figura 3. Forest Plot de Consumo Máximo de Oxígeno Relativo

Tabla 3. Consumo Máximo de Oxígeno Relativo

Autor	Año	Ritmo Propio 1	Ritmo Propio 2	Tradicional 1	Tradicional 2
Alexis R. Mauger	2011	40	-	37	-
Weerapong Chidnok	2012	-	-	-	-
Tod Anthony Astorino (Grupo Low)	2014	40	-	36.2	-
Tod Anthony Astorino (Grupo Moderate)	2014	49.1	-	45.7	-
Tod Anthony Astorino (Grupo High)	2014	61.5	-	58.8	-
Allison M. Straub	2014	-	-	-	-
James S. Hogg	2015	67.6	70.6	68.6	-
Cory M. Scheadler	2015	63.4	-	64.9	-
James Faulkner	2015	63.9	-	60.9	-
Nicholas J. Hanson	2016	48.3	55.6	56.2	-
Lauren A. Jenkins (Grupo Young: 18 a 30 años)	2016	39.12	-	38.99	-
Lauren A. Jenkins (Grupo Older: 50-75 años)	2016	49.68	-	47.7	-
Perrine Truong	2017	69.5	-	68	-
Michael J. Hutchinson	2017	26.2	-	24.3	-
James S. Hogg	2018	51.7	-	54	-
Nicholas M. Beltz	2018	47.1	-	47.4	-
Rachel M. Dykstra	2019	38.88	-	38.69	-
	Media ponderada	44.19	6.51	43.89	-

4.3.3 Consumo máximo de oxígeno absoluto

Con relación al consumo de oxígeno absoluto, 9 artículos de los 14 analizados reportaron estos valores. Los resultados de los 3 grupos del estudio de (Astorino, 2014) y los dos grupos de (Jenkins et al., 2017) se promediaron para permitir hacer el análisis. Los resultados de los diversos estudios se pueden ver en la [Tabla 4](#). No encontramos diferencia estadísticamente significativa en los valores de consumo máximo de oxígeno absoluto, entre los protocolos de ritmo propio y los tradicionales (MD = 0.05, 95% CI, -0.10 a 0.19, $I^2 = 0\%$; $P = 0.97$) ([Figura 4](#))

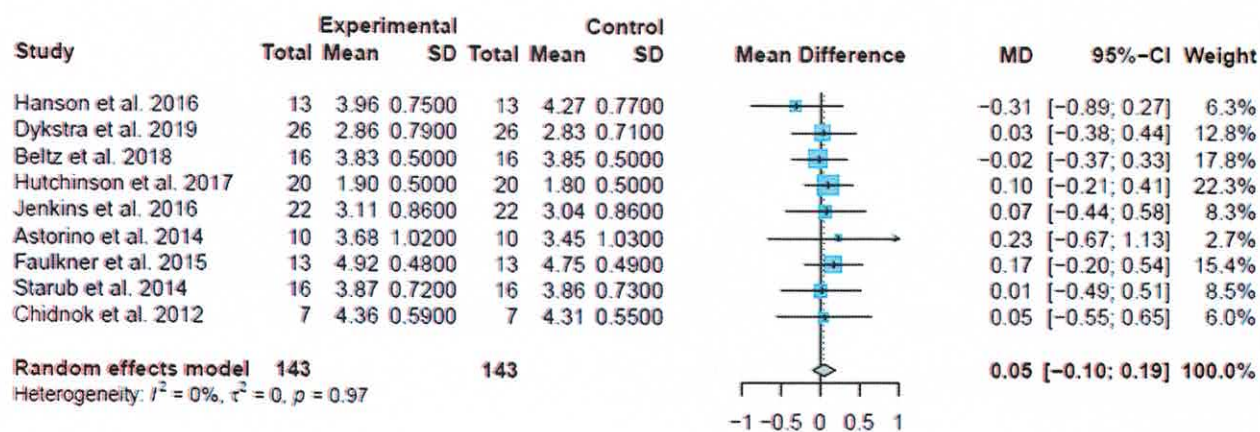


Figura 4. Forest Plot de Consumo Máximo de Oxígeno Absoluto

Tabla 4. Consumo Máximo de Oxígeno Absoluto

Autor	Año	Ritmo Propio 1	Ritmo Propio 2	Tradicional1	Tradicional2
Weerapong Chidnok	2012	4.36	-	4.33	4.31
Tod Anthony Astorino (Grupo Low)	2014	2.58	-	2.35	-
Tod Anthony Astorino (Grupo Moderate)	2014	3.58	-	3.32	-
Tod Anthony Astorino (Grupo High)	2014	4.59	-	4.38	-
Allison M. Straub	2014	3.87	-	3.86	-
James Faulkner	2015	4.92	-	4.75	-
Nicholas J. Hanson	2016	3.67	4.22	4.27	-
Lauren A. Jenkins (Grupo Young: 18 a 30 años)	2016	2.78	-	2.74	-
Lauren A. Jenkins (Grupo Older: 50-75 años)	2016	3.45	-	3.34	-
Michael J. Hutchinson	2017	1.9	-	1.8	-
Nicholas M. Beltz	2018	3.83	-	3.85	-
Rachel M. Dykstra	2019	2.86	-	2.83	-
	Media Ponderada	3.36	0.30	3.32	0.16

4.3.4 Concentración sérica de lactato

Solo 6 de los 14 estudios analizados en esta revisión sistemática reportaron valores de concentración sérica de lactato al final de las pruebas. Los resultados de los diversos estudios se pueden ver en la **Tabla 5**. Encontramos diferencia estadísticamente significativa en la concentración sérica de lactato con tendencias a presentar menores concentraciones séricas de lactato en los protocolos tradicionales (MD = 0.66, 95% CI, 0.03 a 1.3, $I^2 = 0\%$; $P = 0.67$) (**Figura 5**).

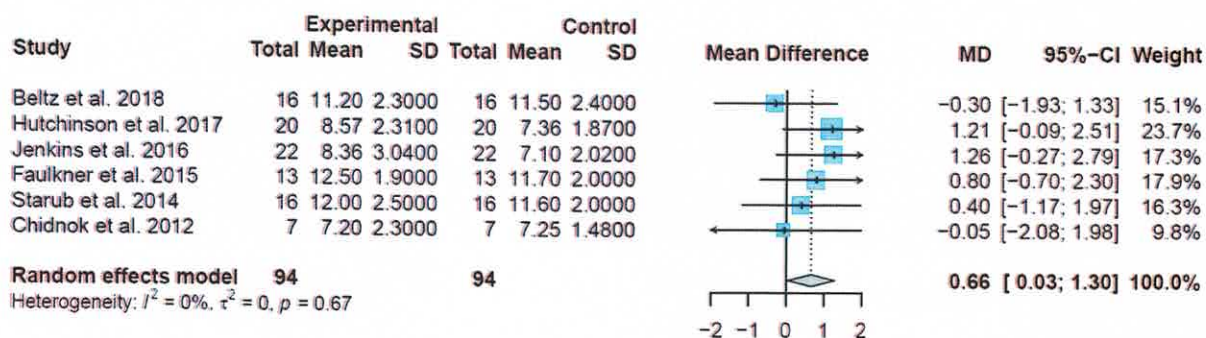


Figura 5. Concentración Sérica de Lactato post-esfuerzo

Tabla 5. Concentración Sérica de Lactato post-esfuerzo

Autor	Año	Ritmo Propio 1	Ritmo Propio 2	Tradicional1	Tradicional2
Weerapong Chidnok	2012	7.2	-	7.6	7
Allison M. Straub	2014	12	-	11.6	-
James Faulkner	2015	12.5	-	11.7	-
Lauren A. Jenkins (Grupo Young: 18 a 30 años)	2016	7.21	-	6.15	-
Lauren A. Jenkins (Grupo Older: 50-75 años)	2016	9.52	-	8.06	-
Michael J. Hutchinson	2017	8.57	-	7.36	-
Nicholas M. Beltz	2018	11.2	-	11.5	-
Media ponderada		9.69	-	8.92	0.42

4.4 Riesgo de sesgo

Los artículos se evaluaron acorde con la herramienta AXIS, como se comentó en el apartado de diseño metodológico (Tabla 6). Los 14 artículos se evaluaron como “Si” en las preguntas “¿Los propósitos/objetivos del estudio son claros?”, “¿El diseño del estudio es apropiado para los propósitos establecidos?”, “¿Los factores de riesgo y las variables de resultado medidas fueron apropiadas para los objetivos del estudio?”, “¿Se midieron correctamente el factor de riesgo y las variables de resultado utilizando instrumentos/mediciones que habían sido probados, piloteados o publicados previamente?”, “¿Está claro qué se utilizó para determinar la significación estadística y/o las estimaciones de precisión? (p. ej., valores de p, IC)?”, “¿Se describieron suficientemente los métodos (incluidos los métodos estadísticos) para permitir su repetición?”, “¿Se describieron adecuadamente los datos básicos?”, “¿Se presentaron los resultados de los análisis descritos en los métodos?”, “¿Se justificaron las discusiones y conclusiones de los autores por los resultados?”, y si “¿Se discutieron las limitaciones del estudio?”. Las preguntas “¿Se tomaron medidas para abordar y categorizar a los no respondedores?”, “¿La tasa de respuesta plantea preocupaciones sobre el sesgo de falta de respuesta?”, “Si corresponde, ¿se describió la información sobre los que no respondieron?” no aplicaron para ninguno de los artículos, ya que dichos apartados son más aplicables para estudios basados en cuestionarios.

Se desconoce la población objetivo de referencia, la base de la población de donde se obtuvo la muestra y la forma de selección de los sujetos participantes en dos de los catorce estudios analizados (Mauger & Sculthorpe, 2012)(Hogg et al., 2018). Cinco artículos (Faulkner et al., 2015; Hogg et al., 2018; Hutchinson et al., 2017; Mauger & Sculthorpe, 2012; Straub et al., 2014) presentaron tamaños de muestra justificados. Trece de los 14 artículos tuvieron

consistencia interna en sus resultados. Dos de los estudios no expusieron sus limitaciones (Dykstra et al., 2019; Faulkner et al., 2015) y uno no aclaró si hubo fuentes de financiamiento que pudieran afectar la interpretación de los resultados (Chidnok et al., 2013)

Tabla 6. Evaluación AXIS

Autor	Metodología										
	?El tamaño de muestra estaba justificado?	?La población objetivo/referencia definida claramente?	?La muestra poblacional fue extraída de una base de población de manera que represente la población que se investiga?	?Era probable que el proceso de selección seleccionara sujetos/participantes que fueran representativos de la población objetivo/de referencia bajo investigación?	?Se tomaron medidas para abordar y categorizar a los no respondedores?	?Los factores de riesgo y las variables de resultado fueron apropiadas para los objetivos del estudio?	?Se midieron correctamente el factor de riesgo y las variables de resultado utilizando instrumentos/mediciones que habían sido probados, pilotados o publicados previamente?	?Está claro que se utilizó para determinar la significación estadística y/o precisión? (p, ej., valores de p, IC)?	?Se describieron suficientemente los métodos estadísticos para permitir su repetición?		
(Mauger & Sculthorpe, 2012)	Si	Se desconoce/comentarios	Se desconoce/comentarios	Se desconoce/comentarios	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Chidnok et al., 2013)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Astorino, 2014)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Straub et al., 2014)	Si	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Hogg et al., 2015)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Scheidler & Devor, 2015)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Faulkner et al., 2015)	Si	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Hanson et al., 2016)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Jenkins et al., 2017)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Truong et al., 2018)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Hutchinson et al., 2017)	Si	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Hogg et al., 2018)	Si	Se desconoce/comentarios	Se desconoce/comentarios	Se desconoce/comentarios	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Beltz et al., 2018)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	
(Dykstra et al., 2019)	No	Si	Si	Si	No aplica	Si	Si	Si	Si	Si	

Tabla 7. Evaluación AXIS (cont.)

Autor	Resultados, Discusión, otros												
	? Se describieron los datos básicos?	? La tasa de respuesta plantea preocupaciones sobre el sesgo de falta de respuesta?	? Si corresponde, se describió la información sobre los que no respondieron?	? Los resultados fueron consistentes internamente?	? Se presentaron los resultados de los análisis descritos en los métodos?	? Se justificaron las discusiones y conclusiones de los autores por los resultados?	? Se discutieron las limitaciones del estudio?	? Hubo fuentes de financiamiento o conflictos de intereses que puedan afectar la interpretación de los resultados por parte de los autores?	? Se obtuvo la aprobación ética o consentimiento de los participantes?				
(Manger & Sculthorpe, 2012)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	SI	No	Si				
(Chidnok et al., 2013)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	Se desconoce/comentarios	Si				
(Astorino, 2014)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Straub et al., 2014)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Hogg et al., 2015)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Scheadler & Devor, 2015)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Faulkner et al., 2015)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	No	No	Si				
(Hanson et al., 2016)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Jenkins et al., 2017)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Truong et al., 2018)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Hutchinson et al., 2017)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Hogg et al., 2018)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Beltz et al., 2018)	Si	No aplica	No aplica	Si	Si	Si	Si	No	Si				
(Dykstra et al., 2019)	Si	No aplica	No aplica	No	Si	Si	No	No	Si				

5 DISCUSIÓN

El propósito principal de esta revisión sistemática y metaanálisis fue determinar si existe diferencia en los valores de consumo de oxígeno máximo obtenidos entre dos tipos de pruebas de esfuerzo en personas físicamente activas, bajo la hipótesis nula de que las pruebas de esfuerzo de ritmo propio no generan valores de consumo de oxígeno máximos mayores en comparación con las pruebas de esfuerzo graduado. A este respecto, los hallazgos encontrados en nuestro estudio sugieren que realizar pruebas de esfuerzo de ritmo propio o de esfuerzo graduado producirán valores similares en el consumo de oxígeno, tanto relativo como absoluto, en población sana físicamente activa. Lo anterior nos permite aceptar la hipótesis nula.

Uno de los objetivos secundarios era valorar si había diferencia en el malestar localizado en miembros pélvicos, sin embargo, este tema sólo fue abordado por un artículo (Mauger & Sculthorpe, 2012) de los 14 analizados por lo que no se incluyó al momento de analizar los resultados. Queda pendiente determinar si existe diferencia en esta variable entre ambos protocolos.

El segundo objetivo secundario tenía la intención de valorar si el tiempo total de la prueba afectaba el consumo de oxígeno máximo, sin embargo, dicha cuestión ya había sido abordada por distintos autores, por lo que la mayoría de los estudios que analizamos empleaban protocolos de prueba de esfuerzo graduada con la intención de lograr la fatiga voluntaria en un tiempo entre 8 y 12 minutos. Por lo que dicho objetivo también quedó descartado del análisis que se hizo.

El último objetivo fue valorar otras respuestas fisiológicas máximas, aparte del consumo de oxígeno máximo, reportadas en los diversos estudios, por lo que optamos analizar las que con

más frecuencia se reportaron que fueron la frecuencia cardiaca máxima alcanzada, el consumo de oxígeno máximo y la concentración sérica de lactato.

5.1 Consumo de oxígeno:

Como se ha mencionado antes, los hallazgos encontrados sugieren que tanto en las pruebas de ritmo propio como en las de pruebas esfuerzo graduado, el consumo de oxígeno absoluto como relativo no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Lo anterior puede ser explicado, ya que el consumo de oxígeno aumenta de manera lineal a la carga de trabajo aplicada, eso podría incluir el aumento en el esfuerzo percibido por el participante, y como se ha mencionado en el marco conceptual, la percepción de esfuerzo tiene fuerte relación con la frecuencia cardiaca y con el lactato.

En algunos artículos incluidos en esta investigación (Hanson et al., 2016; Hogg et al., 2015; Schedler & Devor, 2015; Truong et al., 2018) describieron que los valores de consumo de oxígeno máximos podrían ser mejor alcanzados con pruebas de ritmo propio que se enfocaran más en modificar la pendiente que la inclinación, aludiendo a que a velocidades más altas hay un cambio en el reclutamiento de fibras musculares, más tipo II que tipo I, las cuales son menos eficientes en términos energéticos. Este hecho no ocurre al hacer aumentos en la pendiente, lo cual permite, en etapas tardías, mantener un mayor esfuerzo con fibras musculares de mejor eficiencia energética.

(Straub et al., 2014) comenta que un inconveniente de utilizar las pruebas de ritmo propio para la determinación del consumo de oxígeno puede ser que algunas variables que se obtienen de manera estandarizada en los protocolos de esfuerzo graduado tradicionales, como la potencia pico producida, los umbrales ventilatorios, la curva de eficiencia ventilatoria no puede ser

determinada porque se necesitan incrementos constantes en la tasa de trabajo para su correcta interpretación. Esta característica (la tasa de trabajo prefijada) va en contra de las características intrínsecas de las pruebas de ritmo propio, por lo que queda como variable o duda de investigación, como hacer para determinar dichas mediciones, necesarias para el entrenamiento o la correcta prescripción del ejercicio, en pruebas de esta naturaleza.

No obstante, lo anterior, al no encontrarse diferencias clínicamente significativas en los valores de consumo de oxígeno máximo entre los protocolos la mayoría de los autores de los artículos analizados concluyen que las pruebas de ritmo propio son apropiadas para personas a las que las pruebas de esfuerzo tradicionales les generan molestias periféricas (Mauger & Sculthorpe, 2012), atletas experimentados (Hogg et al., 2015), sujetos sanos recreacionalmente activos (Faulkner et al., 2015; Hanson et al., 2016), y para usuarios novatos (Hutchinson et al., 2017).

5.2 Frecuencia cardiaca

La frecuencia cardiaca máxima alcanzada en ambas pruebas de esfuerzo no muestra diferencias estadísticamente significativas, ni clínicamente significativas ya que la diferencia oscila entre 1-3 latidos por minuto entre los protocolos de los diferentes estudios.

Lo anterior se explica ya que la frecuencia cardiaca aumenta directamente proporcional al incremento en la intensidad de trabajo, excepto cuando se acerca a su valor máximo dónde se observa una meseta aún con cargas de trabajo mayores. (Kenney et al., 2012d), así mismo, se ha encontrado una fuerte asociación de las escalas de percepción de esfuerzo (Borg 6-20) y la frecuencia cardiaca siendo 1 RPE de aproximadamente 10 lpm. (Scherr et al., 2013). Por ello, es entendible que la frecuencia cardiaca sea tan similar entre los diferentes protocolos, ya que en ambos se establecen cargas de trabajo incrementales, lineales y máximas.

Aún queda pendiente, hasta donde conocemos, determinar cómo el cuerpo regula la frecuencia cardíaca durante determinado nivel en la escala de esfuerzo percibido. Ya sea si es basado en un modelo de anticipación, con la intención de alcanzar determinado nivel de percepción de esfuerzo o si es el nivel de percepción de esfuerzo es el que dictamina la respuesta cardíaca.

5.3 Concentración sérica de lactato

De todos los valores analizados, el único que presentó diferencia estadísticamente significativa fue la concentración sérica de lactato en favor a que los protocolos de esfuerzo graduado producen un valor menor.

En estado de reposo, el cuerpo presenta una tasa baja de catabolismo anaeróbico de la glucosa, teniendo una concentración sérica de lactato de 1 mmol/Kg. Cuando la intensidad del ejercicio aumenta, la tasa de formación de NADH de la vía glucolítica excede la tasa de regeneración aeróbica de NAD^+ , aumentando la relación NADH/NAD^+ . El aumento de esta relación produce una inhibición del encima piruvato deshidrogenasa ocasionando disminución en la formación de AcetilCoA, resultado en el aumento en la concentración del piruvato y de la NADH en el citosol. El aumento en la concentración de estos dos productos promueve la conversión del piruvato en lactato, dicha conversión es mediada por la encima deshidrogenasa láctica (DHL), conversión reversible por la misma encima. (Mougios, 2020a)

Las fibras musculares tipo II presentan una isoforma de deshidrogenasa láctica que tiende a favorecer la conversión de piruvato a lactato. La concentración sérica de lactato es el resultado tanto de su tasa formación como de su tasa eliminación; cuando ambas tasas se igualan la concentración forma un pico en la curva lactato tiempo. La vida media del lactato es de 12 minutos. (Mougios, 2020a)

(Mauger & Sculthorpe, 2012) hipotetizaron que la probable razón de encontrar una mayor concentración sérica de lactato en las pruebas de esfuerzo graduado es que el patrón de reclutamiento muscular cambia en las etapas finales de las pruebas, lo que implica mayor utilización de fibras rápidas (IIa o IIX). Así como un aumento en el catabolismo anaeróbico del glucógeno, necesario para mantener las altas tasas de trabajo y que va acompañado del tipo de fibra muscular que se recluta en dichas etapas de trabajo. Estos efectos combinados, la utilización de fibras musculares con menos eficiencia energética y el aumento en la tasa de producción de lactato podía ser el responsable del aumento de la concentración sérica de lactato en los protocolos de esfuerzo graduado.

Sin embargo, en nuestra investigación llama la atención que encontramos lo contrario, que la concentración sérica de lactato es mayor en las pruebas de ritmo propio, el mecanismo que lo explique puede ser similar al propuesto por (Mauger & Sculthorpe, 2012). La primera posibilidad que lo puede explicar es que 7 de los artículos analizados (Beltz, Gibson, Janot, Kravitz, Mermier, Dalleck, et al., 2016; Faulkner et al., 2015; Hanson et al., 2016; Hogg et al., 2015, 2018; Scheadler & Devor, 2015; Truong et al., 2018) se realizaron en banda sin fin, enfocados en cambios de velocidad con pendientes fijas. En protocolos con estas características se ha visto que hay mayor acumulo de lactato en sangre, por la mayor activación de fibras musculares Tipo II en velocidades altas, lo que no ocurre en pruebas en las que el enfoque principal en los cambios de la tasa de trabajo son los cambios en la inclinación como (Hodson-Tole & Wakeling, 2008). Una segunda posibilidad es que, al ser una prueba de circuito cerrado, en la que el atleta está bajo el conocimiento del tiempo que durará y que puede controlar la tasa de producción de trabajo, el cuerpo, tanto a nivel central como periférico, le permita trabajar con concentraciones de lactato más altas que cuando está realizando pruebas de circuito abierto.

No obstante, lo comentado en el párrafo anterior, solo se tienen los datos de 7 artículos, aproximadamente el 44% de la población total estudiada en la presente revisión, hecho que pudiera afectar la interpretación de estos resultados.

6 LIMITACIONES

Dentro de las limitaciones de nuestro estudio cabe destacar el tiempo que nos tardamos entre la obtención de nuestra muestra de artículos, su análisis y la posterior elaboración del presente manuscrito. Así mismo, al momento de redactar el protocolo de investigación, dentro de los criterios de inclusión nos basamos en las guías de actividad física de la OMS publicadas en 2020, sin embargo, todos los artículos encontrados eran previos a esta fecha, por lo que muchos de ellos no cumplían exactamente con los criterios solicitados. Por lo que se tuvieron que aceptar artículos que cumplieran con criterios previos. Una última limitación a tomar en cuenta es que varios estudios analizados utilizaron ergómetros distintos con los participantes y esto podría afectar los resultados finales.

7 FORTALEZAS

La principal fortaleza de nuestro estudio es, hasta donde sabemos, el primero en analizar de manera sistemática y con metaanálisis las diferencias entre las pruebas de ritmo propio y las de esfuerzo graduado tradicionales.

8 CONCLUSIONES

La principal conclusión a la que nos permite llegar es que las pruebas de ritmo propio y las pruebas de esfuerzo graduado, independientemente del ergómetro utilizado, producen niveles similares en el consumo de oxígeno máximo, la frecuencia cardiaca y la concentración sérica de lactato, lo que las hace una alternativa bastante razonable para evaluar el consumo de oxígeno máximo en personas físicamente activas.

8.1 Recomendaciones y perspectivas

Consideramos que aún queda pendiente valorar la preferencia de los participantes a un protocolo u otro, si determinada preferencia afecta la percepción de esfuerzo y si dicha modificación en la percepción proporciona cambios distintos en los valores fisiológicos obtenidos. Así mismo, sólo se discutió en un artículo la percepción de dolor en los atletas entre un protocolo y otro, por lo que queda pendiente el análisis de esta variable en futuras investigaciones. En este mismo orden de ideas, la mayoría de los protocolos de ritmo propio no permitían que el participante conociera variables como la velocidad, la pendiente y no mencionaban si se les podía permitir ver las variables fisiológicas alcanzadas en cada una de las etapas a manera de “biorretroalimentación” lo que nos permite preguntarnos si, ¿Qué el atleta conozca las variables fisiológicas alcanzadas modifica la percepción de esfuerzo o los resultados obtenidos en las pruebas de esfuerzo?

9 BIBLIOGRAFÍA

- American College of Sports Medicine. (2021a). Clinical Exercise Testing and Interpretation. In G. Liguori, Y. Feito, C. Fountaine, & B. A. Roy (Eds.), *ACSM'S Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (Eleventh, pp. 113–141). Wolters Kluwer.
- American College of Sports Medicine. (2021b). Health-Related Physical Fitness Testing and Interpretation. In G. Liguori, Y. Feito, C. Fountaine, & B. A. Roy (Eds.), *ACSM'S Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (Eleventh, pp. 58–112). Wolters Kluwer.
- Asociación de Academias de la Lengua Española. (2014). *Diccionario de la lengua española* (23rd ed.). Espasa.
- Astorino, T. A. (2014). Discussion : The efficacy of the self-paced VO₂max test to measure maximal oxygen uptake in treadmill running 1. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(March), 592–593. <https://doi.org/10.1139/H10-082>.
- Astorino, T. A., McMillan, D. W., Edmunds, R. M., & Sanchez, E. (2015). Increased cardiac output elicits higher VO₂max in response to self-paced exercise. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 40(3), 223–229. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0305>
- Astorino, T. A., Rietschel, J. C., Tam, P. A., Taylor, K., Johnson, S. M., Freedman, T. P., & Sakarya, C. E. (2004). Reinvestigation of optimal duration of VO₂ max testing. *Journal of Exercise Physiologyonline*, 7(6), 8.
- Beltz, N. M., Amorim, F. T., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., Cole, N., Moriarty, T. A., Nunez, T. P., Trigg, S., & Dalleck, L. C. (2018). Hemodynamic and

metabolic responses to self-paced and ramp-graded exercise testing protocols. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(6), 609–616. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0608>

Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., & Dalleck, L. C.

(2016). Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO₂ max: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *Journal of Sports Medicine*, 2016, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2016/3968393>

Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., Dalleck, L. C.,

Benedict, F., Liljestrang, G., Krogh, A., Vivian, A., & Hill, A. V. (2016). Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO₂ max : Historical Perspectives , Progress , and Future Considerations. *Journal of Sports Medicine*, 2016, 1–13. <https://doi.org/3968393>

Borg, G., & Dahlström, H. (1962). The Reliability and Validity of a Physical Work Test. *Acta Physiologica Scandinavica*, 55(4), 353–361. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1962.tb02449.x>

Buchfuhrer, M. J., Hansen, J. E., Robinson, T. E., Sue, D. Y., Wasserman, K., & Whipp, B. J.

(1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of Applied Physiology*, 55(5), 1558–1564. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.55.5.1558>

Chidnok, W., Dimenna, F. J., Bailey, S. J., Burnley, M., Wilkerson, D. P., Vanhatalo, A., &

Jones, A. M. (2013). $\dot{V}O_{2\max}$ is not altered by self-pacing during incremental exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 113(2), 529–539.

<https://doi.org/10.1007/s00421-012-2478-6>

- Cid-Juárez, S., Miguel-Reyes, J. L., Cortés-Tellés, A., Gochicoa-Rangel, L., Mora-Romero, U. de J., Silva-Cerón, M., & Torre-Bouscoulet, L. (2015). Prueba cardiopulmonar de ejercicio. Recomendaciones y procedimiento. *NCT Neumología y Cirugía de Tórax*, 74(3), 207–221. <https://doi.org/10.35366/62389>
- Cobos, M. Á., & Cobos, B. (2017). La prueba de esfuerzo o ergometría. In *Libro de la salud cardiovascular* (pp. 57–63). Fundación BBVA.
- Downes, M. J., Brennan, M. L., Williams, H. C., & Dean, R. S. (2016). Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). *BMJ Open*, 6(12), e011458. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-011458>
- Dykstra, R. M., Hanson, N. J., & Miller, M. G. (2019). Brain activity during self-paced vs. fixed protocols in graded exercise testing. *Experimental Brain Research*, 237(12), 3273–3279. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05669-x>
- Eston, R. G., Lamb, K. L., Parfitt, G., & King, N. (2005). The validity of predicting maximal oxygen uptake from a perceptually-regulated graded exercise test. *European Journal of Applied Physiology*, 94(3), 221–227. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1327-2>
- Faulkner, J., Mauger, A. R., Woolley, B., & Lambrick, D. (2015). The efficacy of a self-paced VO₂max test during motorized treadmill exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 99–105. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0052>
- Hagerman, F. C. (1984). Applied Physiology of Rowing. *Sports Medicine*, 1(4), 303–326. <https://doi.org/10.2165/00007256-198401040-00005>

- Hanson, N. J., Schedler, C. M., Lee, T. L., Neuenfeldt, N. C., Michael, T. J., & Miller, M. G. (2016). Modality determines VO₂max achieved in self-paced exercise tests: validation with the Bruce protocol. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(7), 1313–1319. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3384-0>
- Hodson-Tole, E. F., & Wakeling, J. M. (2008). Motor unit recruitment patterns 1: responses to changes in locomotor velocity and incline. *Journal of Experimental Biology*, *211*(12), 1882–1892. <https://doi.org/10.1242/jeb.014407>
- Hogg, J. S., Hopker, J. G., Coakley, S. L., & Mauger, A. R. (2018). Prescribing 6-weeks of running training using parameters from a self-paced maximal oxygen uptake protocol. *European Journal of Applied Physiology*, *118*(5), 911–918. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3814-2>
- Hogg, J. S., Hopker, J. G., & Mauger, A. R. (2015). The self-paced VO₂max test to assess maximal oxygen uptake in highly trained runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(2), 172–177. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0041>
- Hutchinson, M. J., Paulson, T. A. W., Eston, R., & Tolfrey, V. L. G. (2017). Assessment of peak oxygen uptake during handcycling: Test-retest reliability and comparison of a ramp-incremented and perceptually-regulated exercise test. *PLoS ONE*, *12*(7), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181008>
- Jenkins, L. A., Mauger, A. R., & Hopker, J. G. (2017). Age differences in physiological responses to self-paced and incremental V_O2 max testing. *European Journal of Applied Physiology*, *117*(1), 159–170. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3508-6>

- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012a). Gasto energético y fatiga. In *Fisiología del deporte y el ejercicio* (Quinta, pp. 113–135). Editorial Médica Panamericana.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012b). Introducción a la fisiología del ejercicio y el deporte. In *Fisiología del deporte y el ejercicio*. (5ta ed., pp. 2–23). Editorial Médica Panamericana.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012c). Principios del entrenamiento. In *Fisiología del deporte y el ejercicio* (Quinta, pp. 209–226). Editorial Médica Panamericana.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012d). Respuestas cardiorrespiratorias al ejercicio agudo. In *Fisiología del deporte y el ejercicio* (Quinta, pp. 182–205). Editorial Médica Panamericana.
- Manonelles Marqueta, P., Franco Bonafonte, L., Brotons Cuixart, D., Calabuig Nogués, J., Calderón Soto, C., & De Teresa Galván, C. (2016). Pruebas de esfuerzo en medicina del deporte. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE). *Archivos de Medicina Del Deporte* 33(Supl. 1), 5–83.
- Mauger, A. R., Metcalfe, A. J., Taylor, L., & Castle, P. C. (2013). The Efficacy of the self-paced VO₂max test to measure maximal oxygen uptake in treadmill running. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 38, 1211–1216. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0381>
- Mauger, A. R., & Sculthorpe, N. (2012). A new VO₂max protocol allowing self-pacing in

maximal incremental exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 46(1), 59–63.

<https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090006>

Mougios, V. (2020a). Carbohydrate metabolism in exercise. In A. N. Tocco, J. Park, A. E. Mrozek, & T. Tiller (Eds.), *Exercise biochemistry* (2th ed., pp. 183–280). Human Kinetics.

Mougios, V. (2020b). Integration of exercise metabolism. In A. N. Tocco, J. Park, A. E. Mrozek, & T. Tiller (Eds.), *Exercise biochemistry* (2th ed., pp. 327–374). Human Kinetics.

Pageaux, B. (2016). Perception of effort in Exercise Science: Definition, measurement and perspectives. *European Journal of Sport Science*, 16(8), 885–894.

<https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1188992>

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2012a). El metabolismo durante el ejercicio. In I. Estany Morros (Ed.), *Fisiología del ejercicio*. (Primera, pp. 68–90). Paidotribo.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2012b). Pruebas de esfuerzo para evaluar la función cardiorrespiratoria. In I. Estany Morros (Ed.), *Fisiología del ejercicio*. (Primera, pp. 328–350). Paidotribo.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2018). Common measurements in exercise physiology. In *Exercise physiology. Theory and application to fitness and performance* (10th ed., pp. 16–29). Mc Graw Hill Education.

Scheidler, C. M., & Devor, S. T. (2015). VO₂max Measured with a Self-selected Work Rate Protocol on an Automated Treadmill. *Medicine and Science in Sports and Exercise*,

47(10), 2158–2165. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000647>

Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(1), 147–155. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>

Straub, A. M., Midgley, A. W., Zavorsky, G. S., & Hillman, A. R. (2014). Ramp-incremented and RPE-clamped test protocols elicit similar VO₂max values in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, *114*(8), 1581–1590. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2891-0>

Truong, P., Millet, G. P., & Gojanovic, B. (2018). Perceptually Regulated Exercise Test Allows Determination of VO₂max and Ventilatory Threshold but Not Respiratory Compensation Point in Trained Runners. *International Journal of Sports Medicine*, *39*(4), 304–313. <https://doi.org/10.1055/s-0043-122741>

Warburton, D. E. R., Jamnik, V. K., Bredin, S. S. D., & Gledhill, N. (2011). The Physical Activity Readiness Questionnaire for Everyone (PAR-Q+) and Electronic Physical Activity Readiness Medical Examination (ePARmed-X+). *The Health & Fitness Journal of Canada*, *4*(2), 3–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.14288/hfjc.v4i2.103>

Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., Stringer, W. W., Sietsema, K. E., Sun, X.-G., & Whipp, B. J. (2012). Clinical Exercise Testing. In F. R. DeStefano* (Ed.), *Principles of exercise testing and interpretation. Including pathophysiology and clinical applications*. (5th ed., pp. 129–153). Lippincott Williams & Wilkins.

World Health Organization. (2020). Glossary of terms. In *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour* (pp. vi–vii). <https://doi.org/10.4324/9780203795002>

Yoon, B.-K., Kravitz, L., & Robergs, R. (2007). $\dot{V}O_2$ max, Protocol Duration, and the $\dot{V}O_2$ Plateau. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(7), 1186–1192.
<https://doi.org/10.1249/mss.0b13e318054e304>

10 ANEXOS

10.1 Algoritmo de búsqueda

Todas las búsquedas se hicieron el 4 de enero de 2022, bajo la siguiente estrategia de búsqueda:

EBM Reviews - Cochrane Central Register of Controlled Trials <November 2021>

EBM Reviews - Cochrane Database of Systematic Reviews <2005 to December 28, 2021>

Embase <1974 to 2022 January 03>

Ovid MEDLINE(R) ALL <1946 to January 03, 2022>

- 1 *athlete/ 28687

- 2 *normal human/ 6503

- 3 traditional graded exercise test.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 6

- 4 GXT.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 1029

- 5 *maximal oxygen uptake/ 177

- 6 traditional maximal oxygen uptake.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 6

- 7 Traditional ramp protocol.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 2

8 ("Athletes " or "athletes" or "sportman" or "sportmen" or "sports player" or "sports players" or "sportsman" or "sportsmen" or "sportspeople" or "sportsperson" or "sportspersons" or "sportsplayers" or "sportswoman" or "sportswomen" or "sportwomen" or "physically active people " or "normal human" or "healthy " or "healthy adult" or "healthy human" or "healthy humans" or "healthy patient" or "healthy people" or "healthy person" or "healthy subject" or "healthy subjects").mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 3111329

9 1 or 2 or 8 3114898

10 ("traditional maximal oxygen uptake " or "traditional graded exercise test" or "GXT" or "maximal oxygen uptake" or "Traditional ramp protocol" or "maximal aerobic capacity" or "maximal consumption of oxygen" or "maximal oxygen consumption" or "maximal uptake of oxygen" or "maximum aerobic capacity" or "maximum oxygen consumption" or "maximum oxygen uptake" or "oxygen maximal uptake" or "Vo2 max" or "Vo2max").mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 50072

11 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 10 50072

12 Self-paced.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 7918

13 closed loop.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 27837

14 SPV.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 3026

- 15 self-paced test.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 39
- 16 self-paced testing.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 8
- 17 self-paced VO2max testing.mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 2
- 18 ("Self-paced" or "closed loop" or "SPV" or "self-paced test" or "self-paced VO2max testing" or "self-paced testing").mp. [mp=ti, ot, ab, sh, hw, kw, tx, ct, tn, dm, mf, dv, kf, fx, dq, nm, ox, px, rx, an, ui, sy] 38727
- 19 12 or 13 or 14 or 15 or 16 or 17 or 18 38727
- 20 9 and 11 and 19 80
- 21 from 20 keep 1-9 9
- 22 from 20 keep 10-11 2
- 23 from 20 keep 12-59 48
- 24 from 20 keep 60-80 21

SCOPUS 773 document results

("Athletes " OR "athletes" OR "sportman" OR "sportmen" OR "sports player" OR "sports players" OR "sportsman" OR "sportsmen" OR "sportspeople" OR "sportsperson" OR "sportspersons" OR "sportsplayers" OR "sportswoman" OR "sportswomen" OR

"sportswomen" OR "physically active people " OR "normal human" OR "healthy " OR "healthy adult" OR "healthy human" OR "healthy humans" OR "healthy patient" OR "healthy people" OR "healthy person" OR "healthy subject" OR "healthy subjects") AND ("traditional maximal oxygen uptake " OR "traditional graded exercise test" OR "GXT" OR "maximal oxygen uptake" OR "Traditional ramp protocol" OR "maximal aerobic capacity" OR "maximal consumption of oxygen" OR "maximal oxygen consumption" OR "maximal uptake of oxygen" OR "maximum aerobic capacity" OR "maximum oxygen consumption" OR "maximum oxygen uptake" OR "oxygen maximal uptake" OR "Vo2 max" OR "Vo2max") AND ("Self-paced" OR "closed loop" OR "SPV" OR "self-paced test" OR "self-paced VO2max testing" OR "self-paced testing")

WOS

TS=(("Athletes " OR "athletes" OR "sportsman" OR "sportsmen" OR "sports player" OR "sports players" OR "sportsman" OR "sportsmen" OR "sportspeople" OR "sportspersons" OR "sportspersons" OR "sportsplayers" OR "sportswomen" OR "sportswomen" OR "sportswomen" OR "physically active people " OR "normal human" OR "healthy " OR "healthy adult" OR "healthy human" OR "healthy humans" OR "healthy patient" OR "healthy people" OR "healthy person" OR "healthy subject" OR "healthy subjects") AND ("traditional maximal oxygen uptake " OR "traditional graded exercise test" OR "GXT" OR "maximal oxygen uptake" OR "Traditional ramp protocol" OR "maximal aerobic capacity" OR "maximal consumption of oxygen" OR "maximal oxygen consumption" OR "maximal uptake of oxygen" OR "maximum aerobic capacity" OR "maximum oxygen consumption" OR "maximum oxygen uptake" OR "oxygen maximal uptake" OR "Vo2 max" OR "Vo2max") AND ("Self-paced" OR "closed

loop" OR "SPV" OR "self-paced test" OR "self-paced VO2max testing" OR "self-paced testing"

)) | 24 results

10.2 Herramienta AXIS

Appraisal of Cross-sectional Studies

	Question	Yes	No	Don't know/ Comment
<i>Introduction</i>				
1	Were the aims/objectives of the study clear?			
<i>Methods</i>				
2	Was the study design appropriate for the stated aim(s)?			
3	Was the sample size justified?			
4	Was the target/reference population clearly defined? (Is it clear who the research was about?)			
5	Was the sample frame taken from an appropriate population base so that it closely represented the target/reference population under investigation?			
6	Was the selection process likely to select subjects/participants that were representative of the target/reference population under investigation?			
7	Were measures undertaken to address and categorise non-responders?			
8	Were the risk factor and outcome variables measured appropriate to the aims of the study?			
9	Were the risk factor and outcome variables measured correctly using instruments/measurements that had been trialled, piloted or published previously?			
10	Is it clear what was used to determine statistical significance and/or precision estimates? (e.g. p-values, confidence intervals)			
11	Were the methods (including statistical methods) sufficiently described to enable them to be repeated?			
<i>Results</i>				
12	Were the basic data adequately described?			
13	Does the response rate raise concerns about non-response bias?			
14	If appropriate, was information about non-responders described?			
15	Were the results internally consistent?			
16	Were the results presented for all the analyses described in the methods?			
<i>Discussion</i>				
17	Were the authors' discussions and conclusions justified by the results?			
18	Were the limitations of the study discussed?			
<i>Other</i>				
19	Were there any funding sources or conflicts of interest that may affect the authors' interpretation of the results?			
20	Was ethical approval or consent of participants attained?			

Figura 6. Herramienta AXIS

10.3 CLAVE DE REGISTRO ANTE EL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN**10.4 CLAVE DE REGISTRO EN PROSPERO**

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Dr. José Antonio Olivarez Castañeda

Candidato para el grado de

Especialidad en Medicina del Deporte y Rehabilitación

Nombre de tesis: **Comparación de los valores de consumo de oxígeno entre una prueba de esfuerzo graduado contra una prueba de ritmo propio de consumo de oxígeno máximo. revisión sistemática y metaanálisis**

Campo de Estudio: Medicina del Deporte y Rehabilitación

Biografía:

Datos personales: Nacido en Pachuca de Soto, Hidalgo el 02 de mayo de 1992, hijo de José Antonio Olivarez Godínez y de Beatriz Castañeda Luna

Educación: Egresado de la Escuela de Medicina de la Universidad Autónoma de Hidalgo con el grado de Licenciatura en Médico Cirujano en 2017.

Nombramientos: En el tercer año fui nombrado jefe de Residentes de Investigación y Sub-Jefe de Residentes. En el cuarto año de residencia fui nombrado Jefe de Residentes del Departamento de Medicina de Deporte y Rehabilitación de la Facultad de Medicina del Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González"