

ESTIMACIÓN DEL CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO MEDIANTE PRUEBAS DE EJERCICIO MAXIMALES Y SUBMAXIMALES

César Augusto Niño Hernández¹

Fecha de Recepción: 29/09/2012

Fecha de Aceptación: 9/11/2012

RESUMEN

La evidencia científica soporta la necesidad de establecer parámetros objetivos acordes con la población colombiana para evaluar la capacidad aeróbica y validar la aplicabilidad de pruebas en escalón bajo la relación determinada entre la medición del consumo máximo de oxígeno de forma maximal, y su estimación de forma indirecta y submaximal. Por ello, se buscó establecer la relación entre los valores del consumo de oxígeno medido durante una prueba de esfuerzo máximo y los valores de consumo de oxígeno estimados a partir de pruebas de esfuerzo submáximo. Se realizó un estudio descriptivo correlacional, en una muestra de 24 sujetos, 21 mujeres y 3 hombres, con edades entre los 19 y 33 años de edad, seleccionada mediante muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia. El análisis estadístico para diseños relacionados mediante pruebas no paramétricas de Wilcoxon y el coeficiente de correlación de Spearman. El nivel de significancia estadística que se consideró fue de $p < 0.05$ con un nivel de confianza del 95%. Al comparar cada una de las pruebas submaximales en escalón con la prueba maximal en cicloergómetro, se identificó que existe relación en los resultados de VO_2 max obtenidos en cicloergómetro y los de la prueba de Tres Minutos donde $p > 0,05$ ($p = 0.530$). En los porcentajes de trabajo alcanzados se identificó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las pruebas en escalón (Queens y Tres minutos) ($P = 0.867$; $P > 0.05$) y que entre el porcentaje de la FC del cicloergómetro comparado con cada una de las pruebas en escalón si hay diferencias ($P = 0.000$; $P < 0.05$). Al establecer la relación entre el porcentaje de la frecuencia cardíaca y el consumo máximo de oxígeno se encontró que para las pruebas de cicloergómetro y la de Tres minutos en escalón $P > 0.05$ ($P = 0.120$ y $P = 0.252$, respectivamente), no existen diferencias significativas. Por el contrario, el valor de P para la prueba de Queen's College fue menor del nivel de significancia determinado $P = 0.000$ ($P < 0.05$), lo cual permite comprobar que existe diferencias significativas entre el % de FC y el VO_2 max estimado, por lo tanto no hay correlación entre las variables comparadas para esta prueba en escalón. Los valores de VO_2 obtenidos mediante la ecuación regresiva para la prueba de Queen's College tienen poca relación con los datos de la prueba maximal en cicloergómetro y la prueba en escalón de Tres minutos, reconociendo la necesidad de establecer más mediciones a una muestra más amplia, para poder extrapolar los datos y generar una ecuación de regresión lineal para esta población particular.

Palabras Clave: capacidad aeróbica, consumo máximo de oxígeno, pruebas de ejercicio maximales, pruebas de ejercicio submaximales.

¹ Esp. en Ejercicio Físico para la Salud, Universidad del Rosario. Fisioterapeuta, Universidad Nacional de Colombia. Docente Investigador, Corporación Universitaria Iberoamericana, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: ca.ninoh@laibero.net

ESTIMATED MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION BY EXERCISE TESTS MAXIMAL AND SUBMAXIMAL

ABSTRACT

Scientific evidence supports the need for objective parameters according to our population to assess aerobic capacity and validate the applicability of low step tests determined the relationship between the measurement of maximal oxygen uptake in a maximal test, and its estimated indirectly and submaximal. Therefore, the purpose of this research was to establish the relationship between the values measured oxygen consumption during exercise testing and oxygen consumption values estimated from submaximal exercise tests. The research was descriptive correlational, in a sample of 24 subjects, 21 women and 3 men, aged between 19 and 33 years old, selected by non-probability sampling rate intentional or convenience.

Statistical analysis for related designs nonparametric tests, Wilcoxon and Spearman correlation coefficient. The level of statistical significance was considered to be $p < 0.05$ with a confidence level of 95%. By comparing each submaximal test in step with the maximal cycle ergometer test, it was identified that there is a relationship in VO_{2max} results obtained and cycle ergometer test Three Minutes where $p > 0.05$ ($p = 0.530$). Working in the percentages achieved identified no statistically significant differences between the tests in step (Queens and three minutes) ($P = 0.867$, $P > 0.05$) and that between % HR cycle ergometer compared with each of the step tests whether there are differences ($P = 0.000$, $P < 0.05$). By establishing the relationship between the percentage of heart rate and maximal oxygen uptake was found to cycle ergometer tests and three minutes in step $P > 0.05$ ($P = 0.120$ and $P = 0.252$, respectively), no difference significant. By contrast, the P value for the test of Queen's College was less certain significance level $P = 0.000$ ($P < 0.05$), which allows you to check that there are significant differences between the % HR and estimated VO_{2max} , There is therefore no correlation between the variables in this test compared to step. Finally, what can be deduced from these results and their analysis is that VO_2 values obtained by the regression equation to test Queen's College have little relationship to the test data and maximal cycle ergometer test in step Three minutes, recognizing the need for more measurements to a larger sample to extrapolate the data and generate a linear regression equation for this particular population.

Keywords: aerobic capacity, maximal oxygen uptake, maximal exercise testing, submaximal exercise tests.

INTRODUCCIÓN

La evidencia científica actual soporta la diversidad de los test para valorar esta cualidad física básica, la capacidad aeróbica o aptitud cardiorrespiratoria (American College of Sports Medicine [ACSM], 2010), considerada base de la condición o aptitud física. En múltiples escenarios y ámbitos se ha convertido en una necesidad imperiosa reconocer el papel de dichas pruebas para identificar las condiciones actuales y reales de los usuarios y poblaciones, a fin de establecer unas metas, objetivos y estrategias de intervención acordes a sus características particulares.

Sin embargo, algunas de dichas pruebas presentan debilidades y dificultades metodológicas, de confiabilidad y validez para todas las poblaciones, ventajas y desventajas frente a otras, que requiere establecer unos parámetros comparativos entre aquellas de uso más frecuente y de mayor accesibilidad. Estos parámetros pueden ser revisados y analizados desde la capacidad del sistema cardiopulmonar de captar, transportar e intercambiar el oxígeno requerido en los procesos fisiológicos y celulares del organismo, entendido como consumo de oxígeno (Wasserman et al., 2005), que ante esfuerzos máximos se conoce como el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}).

Para la valoración de la capacidad aeróbica existen innumerables pruebas que buscan medir o estimar el consumo de oxígeno máximo, como el parámetro más válido para identificar y analizar la eficiencia con la que trabaja el sistema cardiopulmonar (ACSM, 2010; Heyward, 2008; López y Fernández, 2006). La evaluación de este atributo del movimiento requiere de test específicos que generen un estrés fisiológico que demande respuestas cardiopulmonares oportunas y eficientes. El seguimiento y control de tales respuestas debe minimizar los riesgos y sesgos en la obtención de los datos, asegurando un estímulo específico de tendencia del metabolismo oxidativo.

Ante la dificultad de aplicar en todas las poblaciones pruebas de esfuerzo maximal controladas por los síntomas, se aplican pruebas de menor esfuerzo que permiten pronosticar esta variable mediante ecuaciones. Estas pruebas son las que se conocen como pruebas submaximales. En la selección de dichas pruebas se consideran aspectos como los objetivos planteados para la evaluación, las necesidades, la disponibilidad de equipos y espacios, los costos, las condiciones de los individuos o poblaciones, los criterios de confiabilidad y validez de los test, entre otros, mediante el uso de diferentes medios como bandas o cintas rodantes, cicloergómetros, ergómetros de brazos, múltiples pruebas aplicadas en campo, o pruebas en escalón, también descritas como pruebas de escalinata.

El uso de los test de escalón se constituye en una de las pruebas de bajo costo, con tendencia a mayor frecuencia de aplicación. Las pruebas en escalón pueden ser consideradas un tipo de ergómetro que le permite medir la carga de trabajo para estimar el consumo de oxígeno máximo, presentando algunas limitaciones metodológicas en su aplicación. Por el contrario, el uso de cicloergómetros en la valoración puede ser considerado más seguro para suministrar una carga de trabajo específica y precisa, no obstante, el costo de este equipo, el tipo de trabajo físico que se realiza en él, el cual es menos habitual y genera mayor fatiga muscular localizada en miembros inferiores, y disposición práctica para aplicar a grupos

poblacionales grandes, que favorezcan operativamente su ejecución, representan algunas desventajas en la selección de este medio para la evaluación.

En tal sentido, los resultados obtenidos del presente estudio, permiten reconocer que las pruebas de escalón para estimar el consumo de oxígeno, que se caracterizan por ser una alternativa de fácil acceso y aplicación, bajo costo, menores requerimientos procedimentales y disponibilidad de tiempo para su realización, se constituye en una prueba de valoración de una de las cualidades físicas más importantes, la adaptación o resistencia cardiorrespiratoria, que puede ser tenida en cuenta en los protocolos de evaluación de la condición física de programas de fomento de la actividad física en contextos poblacionales, programas de acondicionamiento físico y/o intervención fisioterapéutica individual.

Adicionalmente, en los procesos formativos de profesionales en fisioterapia, educación y cultura física, y otros profesionales de la actividad física, el ejercicio físico y el deporte se puede referenciar e incluir la prueba de escalón de Tres minutos, como un medio oportuno para conocer la variable ventilatoria más relevante de la capacidad cardiorrespiratoria, el VO_2max , debido a que a partir de la cadencia o ciclos alcanzados, y la altura del escalón, mediante el uso de la ecuación predictiva de la ACSM, es posible obtener un valor de consumo de oxígeno que se correlaciona con el obtenido mediante una prueba de esfuerzo máximo, haciendo de dicha prueba de escalón una alternativa más segura por el menor nivel de esfuerzo realizado.

MÉTODO

La investigación fue de tipo descriptivo correlacional, cuyo propósito fue establecer la relación entre los valores del consumo de oxígeno medido durante una prueba de esfuerzo máximo y los valores de consumo de oxígeno estimados a partir de pruebas de esfuerzo submáximo.

Los participantes se seleccionaron de la población global de la Institución Universitaria Iberoamericana

na mediante muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia, quienes se seleccionaron bajo criterios de inclusión y exclusión. Los datos de la muestra se presentan en la Tabla 1.

Como criterios de inclusión se tuvo en cuenta: usuarios sin antecedentes cardíacos, bajo riesgo cardiovascular clasificados según la estratificación del riesgo de la ACSM (2010), sin patologías osteomusculares, con moderado a alto nivel de actividad física según la clasificación del International Physical Activity Questionnaire - IPAQ, que se encuentren entre los 18 y 40 años de edad.

Como criterios de exclusión: usuarios con antecedentes cardíacos, moderado a elevado riesgo cardiovascular clasificados según la estratificación de la ACSM (2010), con patologías osteomusculares, físicamente inactivos según nivel de actividad física determinado por el IPAQ, menores de 18 años y mayores de 40 años de edad, fumadores, con sobrepeso y/o obesidad con un índice de masa corporal mayor a 25 kg/m².

	Hombres		Mujeres		Total	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
Sexo	3		21		24	
Edad (años)	29,6	2,1	22,4	3,4	23,3	4
Peso (kg)	80,3	5,7	58,1	6,5	60,9	9,8
Talla (m)	1,77	0,02	1,62	0,05	1,64	0,07
Índice de Masa Corporal (kg/m ²)	25,6	1,7	22,1	1,9	22,5	2,2

Tabla 1. Datos sociodemográficos y antropométricos de la muestra

Fuente: Elaboración propia

La investigación se dividió en cuatro fases. La fase I, donde se realizó la convocatoria de la población mediante estrategias de divulgación virtual, en carteleras, correos institucionales, afiches, voz a voz.

La Fase II de aplicación de tamizajes y clasificación de la población, en la cual se aplicaron cuestionarios pre-participación para la realización de actividad física (PAR-Q, AHA/ACSM), cuestionarios de clasificación del nivel de actividad física (IPAQ), estratificación del riesgo cardiovascular (ACSM) y el proceso de apertura de historia clínica para determinar el

cumplimiento total de los criterios de inclusión y exclusión definidos. Para facilitar este proceso se diseñó y utilizó un flujograma de procesos que indicaba la toma de decisiones.

La III fase, fue de aplicación de las pruebas de ejercicio, a aquellas personas que cumplieron estrictamente los criterios de inclusión, a quienes previo al inicio de las mismas, se le informó los procedimientos propios de las pruebas, los efectos y riesgos a los cuales se sometían, para lo cual, debían leer y firmar un formato de Consentimiento Informado para la participación de voluntarios en la investigación, previamente aprobado por el Comité de Ética e Investigación de la Institución Universitaria Iberoamericana.

Previo a la realización de las pruebas se le informaba a los sujetos un mínimo de condiciones que debían cumplir para llevar a cabo la prueba. Estas se verificaban antes del inicio de cada prueba.

Cada prueba se aplicó en tres días diferentes, con un período entre prueba y prueba de mínimo dos días para favorecer la recuperación fisiológica post-ejercicio y máximo de cuatro semanas para controlar los efectos de un posible proceso de acondicionamiento.

La selección del orden de aplicación de cada una de las pruebas fue aleatoria, para reducir el sesgo. Este proceso se realizó inmediatamente antes de cada prueba, donde el individuo seleccionaba una ficha que registraba el nombre de la prueba. El sujeto no conocía la prueba que le correspondería hasta justo antes de iniciar, donde el evaluador explicaba el procedimiento.

A la muestra seleccionada se le aplicaron dos tipos de pruebas para valorar la capacidad aeróbica: una prueba de tipo maximal realizada en cicloergómetro utilizando como principal criterio la frecuencia cardíaca máxima teórica (indirecta) y dos pruebas de tipo submaximal aplicadas en escalón.

La última fase comprendió el procesamiento y análisis de los datos, y la elaboración del informe final.

Protocolos de valoración

Las variables hemodinámicas se registraban antes de iniciar cada prueba con el sujeto evaluado en reposo, durante mínimo cinco minutos sentado y tranquilo. Protocolo en cicloergómetro

El ejercicio realizado en cicloergómetro fue de tipo incremental con cargas de trabajo iniciales de 50 watts (w) e incrementos cada dos minutos de 25 w para mujeres y de 50 watts para hombres hasta realizar un esfuerzo máximo. Se utilizó un Cicloergómetro Monark 828E. La potencia de trabajo máxima desarrollada se consideró cuando el sujeto era capaz de completar una etapa de dos minutos, expresada en el total de watts y se utilizó la ecuación descrita por el ACSM (2010) para pruebas en escalón:

$$VO_{2max} = (1,8 * \text{carga de trabajo (kg.m.min-1)}) / \text{peso corporal (kg)} + 3,5 + 3,5$$

Donde un watt = 6.12 kg.m.min-1

Protocolo en escalón 1

El ejercicio consistía en subir y bajar un escalón de altura de 36,3 cm tratando de mantener una velocidad y ritmo constante, con cadencia ajustada a la capacidad individual. La prueba tenía una duración de tres minutos, en la cual se realizaba el registro de la cadencia mediante un contador manual de pulsos mecánico marca Quingdao. El control del ritmo cardíaco se realizó mediante monitor cardíaco Polar. El esfuerzo esperado durante la prueba es submáximo. De forma que se esperó no superar el 85% de la frecuencia cardíaca máxima teórica. Con los datos de la cadencia y la altura del escalón se calculó el VO_{2max} mediante la ecuación del ACSM para pruebas en escalón (2010), la cual es más precisa con cadencias entre 12 y 30 ciclos por minuto, y alturas de escalón entre 0.04 y 0.40 metros.

$$VO_{2max} = (1,33 * (1,8 * A * C)) + (0,2 * C) + 3,5$$

Donde A = altura escalón (m) y C = cadencia (pasos/min)

Protocolo en escalón 2 – Test de Queen´s Collegue

El ejercicio realizado consistía en subir y bajar un escalón de 41,3 cm de altura a un ritmo constante de 24 ciclos por minutos para hombres y 22 ciclos por minuto para mujeres, utilizando un Metrónomo digital marca Korg. La prueba tenía una duración de tres minutos. La frecuencia cardíaca se tomaba al final del ejercicio, utilizando el monitor cardíaco. Posteriormente, se calculó el VO_{2max} de este protocolo utilizando las siguientes ecuaciones (Heyward, 2008):

$$\text{Para hombres: } VO_{2max} = 111,33 - (0,42 * \text{Frecuencia Cardíaca})$$

$$\text{Para mujeres: } VO_{2max} = 65,81 - (0,1847 * \text{Frecuencia Cardíaca})$$

A partir de los test se estimó el consumo de oxígeno máximo mediante la aplicación de las ecuaciones predictivas descritas y se comprobó la prueba de hipótesis a partir de los datos de consumo máximo de oxígeno obtenido en las pruebas.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se presentarán como medias y desviaciones estándar, y se analizarán prueba de hipótesis para diseños relacionados mediante pruebas no paramétricas de Wilcoxon y el coeficiente de correlación de Spearman. El nivel de significancia estadística que se considera para la investigación es el valor de $p < 0.05$ con un nivel de confianza del 95%. Para el análisis de estas pruebas se utilizó el programa estadístico SPSS 18.0 para Windows.

RESULTADOS

A partir de la convocatoria realizada a la comunidad universitaria de la Institución Universitaria Iberoamericana entre Septiembre de 2010 y Agosto de 2011, para participar en el desarrollo de la presente investigación se lograron aplicar a 159 sujetos los tamizajes pre-participación para identificar

antecedentes y/o factores de riesgo cardiovascular y osteomuscular para cumplir con la clasificación de la población a partir de la estratificación del riesgo.

Tamizaje Pre-participación

De la población de 159, 82 fueron excluidos porque presentaron algún factor de riesgo importante y cumplían con al menos un criterio de exclusión y los 77 restantes aptos, cumpliendo los criterios de inclusión establecidos para el estudio.

Estos fueron convocados por vía telefónica, correo electrónico o personalmente, para poder iniciar la fase de aplicación de las pruebas de ejercicio, donde participaron 38 personas, de los cuales, 10 fueron convocados en el primer semestre de 2011, y sólo cinco de ellas cumplieron la aplicación de las tres pruebas objeto de la investigación. Sin embargo, los datos recolectados solo se consideraron para un análisis base, teniendo como referencia la baja confiabilidad de estos, ya que las mediciones fueron realizadas por asistentes de investigación.

En el segundo semestre de 2011, de las 28 personas restantes, 24 realizaron los tres protocolos de valoración y los otros 4 solo asistieron a una prueba, quedando con un tamaño de muestra de 24 sujetos.

Variables de valoración del ejercicio

Para el análisis de los datos se tuvieron en cuenta dos variables principales, el porcentaje de trabajo para cada una de las pruebas, definido por la relación entre la frecuencia cardíaca alcanzada durante las pruebas de ejercicio y la frecuencia cardíaca máxima teórica (FCMT) (Tanaka, 2001; Gellish, 2007), y el valor de consumo máximo de oxígeno (VO₂max) obtenido mediante las ecuaciones predictivas.

A pesar de considerar teóricamente cada uno de los protocolos como pruebas máximas o submáximas, teniendo como referencia el porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada, en la aplicación de los test se evidenció que en la prueba realizada en

cicloergómetro, la media del porcentaje de trabajo fue de 91,09% (+/- 4,98%) no cumpliendo el criterio de maximidad a partir de la FCMT (Casajús y cols, 2009).

Respecto las pruebas en escalón definidas como submáximas, se alcanzaron en algunos sujetos porcentajes de trabajo superiores al 85% de la FCMT, teniendo como media 86,98% (+/-7,07%) en la prueba de Queen´s Collegue y 87,46% (+/-5,05%) en la prueba de Tres Minutos.

En la tabla 2, se muestra la media y las desviaciones estandar del porcentaje de trabajo a partir de la FCMT y de los valores VO₂max diferenciados por género, reconociendo que factores determinantes como la composición corporal, las variables antropométricas, las respuestas neuroendocrinas asociadas al sexo influyen en las variables hemodinámicas y ventilatorias analizadas. No obstante, para efectos del análisis estadístico no se consideran tales diferencias ya que se manipulan los datos en conjunto del total de la muestra.

Los valores promedio de VO₂max determinado para cada prueba y los datos estadísticos descriptivos se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Porcentaje de trabajo a partir de la FCMT y valores de VO₂max por género

		Cicloergómetro		Queen´s Collegue		Tres Minutos	
		% Trabajo	VO ₂ max	% Trabajo	VO ₂ max	% Trabajo	VO ₂ max
Hombres	Media	86,25	36,68	74,79	52,81	80,18	34,50
	SD	4,79	2,77	6,87	5,67	2,98	1,98
Mujeres	Media	87,59	29,07	83,43	34,45	83,94	29,33
	SD	4,71	3,79	5,24	1,90	4,40	2,35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la muestra

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
VO ₂ max_Ciclo	24	29,851533	4,4854461	23,9477	39,4000
VO ₂ max_Queens	24	36,749354	6,6623104	32,0099	58,4100
VO ₂ max_Tres M	24	30,255245	2,7977832	25,5931	36,2833
% Trabajo_Ciclo	24	91,091292	4,9801826	81,7181	98,6060
% Trabajo_Queens	24	86,982369	7,0798410	68,2556	94,6166
% Trabajo_Tres M	24	87,464767	5,0504067	77,9082	96,7238

Fuente: Elaboración propia

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizaron pruebas no paramétricas, ya que aunque se cumple la condición de distribución de normalidad, de acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, como se muestra en las tablas 4 y 5, el tamaño de la muestra sugiere utilizar estadísticos no paramétricos.

Tabla 4. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Consumo de Oxígeno

		VO2max_Ciclo	VO2max_Queens	VO2max_Tres
N		24	24	24
Parámetros normales ^{a,b}	Media	29,851533	30,255245	30,255245
	Desviación típica	4,4854461	2,7977832	2,7977832
Diferencias más extremas	Absoluta	,116	,146	,146
	Positiva	,116	,146	,146
	Negativa	-,094	-,066	-,066
Z de Kolmogorov-Smirnov		,569	1,345	,717
Sig. asintót. (bilateral)		,902	,054	,683

- a. La distribución de contraste es la Normal.
- b. Se han calculado a partir de los datos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el % FC

		Queens	Tres	Ciclo
N		24	24	24
Parámetros normales ^{a,b}	Media	86,9824	87,4648	91,0913
	Desviación típica	7,07984	5,05041	4,98018
Diferencias más extremas	Absoluta	,166	,102	,121
	Positiva	,140	,087	,083
	Negativa	-,166	-,102	-,121
Z de Kolmogorov-Smirnov		,816	,498	,593
Sig. asintót. (bilateral)		,519	,965	,873

- a. La distribución de contraste es la Normal;
- b. Se han calculado a partir de los datos.

Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon (Tabla 6 y 7) para muestras relacionadas, al comparar cada una de las pruebas submaximales en escalón con la prueba maximal en cicloergómetro, se identificó que existe relación en los resultados de VO₂max obtenidos en cicloergómetro y los de la prueba de Tres Minutos donde p>0,05 (p=0.530). Mientras que al comparar el VO₂max de la prueba en cicloergómetro y la prueba de Queen's Colleague en escalón existen diferencias estadísticamente significativas, como al comparar entre si las dos pruebas submaximales en escalón. Esto permite aceptar la hipótesis alternativa, que no existe relación entre los valores de VO₂max de la prueba en ci-

cloergómetro y el VO₂max de la prueba de Queen's Colleague obtenido mediante la ecuación predictiva utilizada en esta investigación, tomada de la referencia original del test (McArdle W., Katch F., & Pechar G., 1972), así como tampoco existe relación entre los resultados de las dos pruebas en escalón.

Tabla 6. Prueba de rangos señalados de Wilcoxon para el VO2max

		N	Media	Suma de Rangos
VO2max QUEENS - VO2max-CICLO	Rangos Negativos	2 ^a	1.50	3.00
	Rangos Positivos	22 ^b	13.50	297.00
	Empates	0 ^c		
	Total	24		
VO2max-TRES - VO2max-CICLO	Rangos Negativos	11 ^d	11.64	128.00
	Rangos Positivos	13 ^e	13.23	172.00
	Empates	0 ^f		
	Total	24		
VO2max-TRES - VO2max QUEENS	Rangos Negativos	24 ^g	12.50	300.00
	Rangos Positivos	0 ^h	.00	.00
	Empates	0 ⁱ		
	Total	24		

- a. VO2max QUEENS < VO2max-CICLO; b. VO2max QUEENS > VO2max-CICLO; c. VO2max QUEENS = VO2max-CICLO; d. VO2max-TRES < VO2max-CICLO ; e. VO2max-TRES > VO2max-CICLO; f. VO2max-TRES = VO2max-CICLO; g. VO2max-TRES < VO2max QUEENS; h. VO2max-TRES > VO2max QUEENS; i. VO2max-TRES = VO2max QUEENS

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Estadísticos de la prueba de Wilcoxon (VO2max)

	VO2max QUEENS - VO2max-CICLO	VO2max-TRES - VO2max-CICLO	VO2max-TRES - VO2max QUEENS
Z	-4.200 ^a	-.629 ^a	-4.286 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000	.530	.000

- a. Basado en rangos negativos; b. Basado en rangos positivos.
- Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, al comparar los porcentajes de trabajo alcanzados se identificó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las pruebas en escalón (Queens y Tres minutos) (P=0.867; P>0.05) y que entre el % de la FC del cicloergómetro comparado con cada una de las pruebas en escalón si hay diferencias (P=0.000; P<0.05), pudiendo concluir que las pruebas en escalón cumplirían el criterio independiente para ser submaximales, con diferencia estadísticamente significativa del % alcanzado en la

prueba en cicloergómetro, pudiendo considerarse como maximales (Tabla 8 y 9). Al analizar con los datos del VO₂, donde se encuentra que no hay diferencias entre el Cicloergómetro y la prueba de Tres minutos, se podría decir que existe la relación o dependencia entre la frecuencia cardíaca alcanzada con los valores de VO₂ estimados.

Tabla 8. Prueba de rangos señalados de Wilcoxon para el % de la FC

		N	Rango promedio	Suma de rangos
Queens – Ciclo	Rangos negativos	18 ^a	13,19	237,50
	Rangos positivos	6 ^b	10,42	62,50
	Empates	0 ^c		
	Total	24		
Tres – Ciclo	Rangos negativos	19 ^d	12,37	235,00
	Rangos positivos	4 ^e	10,25	41,00
	Empates	1 ^f		
	Total	24		
Tres – Queens	Rangos negativos	13 ^g	10,19	132,50
	Rangos positivos	10 ^h	14,35	143,50
	Empates	1 ⁱ		
	Total	24		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Estadísticos de la prueba de Wilcoxon (%FC)

	Queens - Ciclo	Tres – Ciclo	Tres – Queens
Z	-2,500 ^a	-2,950 ^a	-,167 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,012	,003	,867

Basado en los rangos positivos;

b. Basado en los rangos negativos.

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de trabajo y Consumo máximo de oxígeno

La relación establecida entre los valores de frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno se ha establecido en los textos de fisiología del ejercicio o del trabajo físico, desde la comprensión de la ley de Fick (Astrand P. & Rodahl K., 1992; McArdle B., Katch F. & Katch V., 2004; Fardy P. & Yanowitz F., 1995), donde el VO₂ depende del gasto cardíaco y de la diferencia arterio-venosa, y el gasto cardíaco, a su vez, de la frecuencia cardíaca y el volumen sistólico.

Sin embargo, las respuestas hemodinámicas y ventilatorias dependen del tipo de ejercicio realizado

(López J. & Fernández A., 2006). En el caso de las pruebas de carga incremental, como la realizada en el cicloergómetro mediante el protocolo de esfuerzo maximal de Astrand, donde a mayor intensidad del ejercicio, expresada por el porcentaje de la frecuencia cardíaca alcanzado, mayor VO₂. Este comportamiento deja de ser lineal, una vez el consumo de oxígeno describe una meseta con relación a la intensidad del ejercicio. Para efectos de la investigación, donde no se contó con observación y medición directa de la cinética del VO₂, el análisis se restringe al valor máximo de la frecuencia cardíaca alcanzada, considerando el valor obtenido de VO₂ como consumo de oxígeno pico (VO₂pico) con una media de 91,09% de la frecuencia cardíaca de trabajo en la prueba en Cicloergómetro.

Teniendo en cuenta que la determinación de la capacidad cardiorrespiratoria para esta investigación fue de manera indirecta, las pruebas realizadas en el cicloergómetro se consideraron máximas, según Segovia y cols. (2008), ya que los individuos en estudio llegaron a punto de agotamiento que no les permitió mantener la carga de trabajo a la que eran sometidos.

Entre los factores influyentes, se consideran los mecanismos periféricos limitantes del VO₂max asociados al bajo nivel de acondicionamiento físico, a pesar de reportar en la evaluación del nivel de actividad física, mediante la aplicación del IPAQ, niveles moderados a altos de actividad física en los dominios principales de la vida cotidiana de los sujetos participantes de la investigación. El bajo nivel de condición física de los sujetos se define por la falta de práctica regular y sistemática de ejercicio físico, identificada en la indagación de hábitos de vida. Salvo los participantes del género masculino, el total de la muestra presenta esta característica.

Otra explicación de los factores periféricos, se relaciona con la fatiga muscular localizada en miembros inferiores, como una desventaja de las pruebas en cicloergómetro y parte en las pruebas de escalón (ACMS, 2010), que fue referida por la mayoría de

los sujetos valorados, lo que restringió el mantenimiento de la carga, durante las pruebas de ejercicio aplicadas, particularmente durante el protocolo de ejercicio de carga incremental.

Por otra parte, en la pruebas de ejercicio de carga constante, como las realizadas en escalón, definidas como submáximas de acuerdo a la intensidad de ejercicio esperada, López J. y Fernández A., (2006) describen un incremento del VO_2 max desde el inicio del ejercicio hasta alcanzar un estado estable en aproximadamente tres minutos, tiempo de duración de las pruebas del estudio, que lo denominan como el componente rápido del VO_2 max. Esto sucede en ejercicios de intensidades por debajo del umbral láctico, lo cual no fue determinado en esta investigación.

Al establecer la relación entre el porcentaje de la frecuencia cardíaca y el consumo máximo de oxígeno (Tabla 10) se encontró que para las pruebas de cicloergómetro y la de Tres minutos en escalón $P > 0.05$ ($P = 0.120$ y $P = 0.252$, respectivamente), sugiriendo que no existen diferencias significativas entre el porcentaje de la frecuencia cardíaca alcanzado en cada prueba con el VO_2 max estimado para las mismas. Por el contrario, el valor de P para la prueba de Queen's College fue menor del nivel de significancia determinado $P = 0.000$ ($P < 0.05$), lo cual permite comprobar que existe diferencias significativas entre el % de FC y el VO_2 max estimado, por lo tanto no hay correlación entre las variables comparadas para esta prueba en escalón.

Finalmente, lo que se puede deducir de estos resultados y su respectivo análisis es que los valores de VO_2 obtenidos mediante la ecuación regresiva para la prueba de Queen's College tienen poca relación con los datos de la prueba maximal en cicloergómetro y de la prueba en escalón de Tres minutos, reconociendo la necesidad de establecer más mediciones a una muestra más amplia, para poder extrapolar los datos y generar una ecuación de regresión lineal para esta población particular.

Tabla 10. Correlaciones no Paramétricas (Rho de Spearman) para el VO_2 max y el % de la FCmax

			VO2Ciclo	% Ciclo
Rho de Spearman	VO2Ciclo	Coefficiente de correlación	1,000	,120
		Sig. (bilateral)	.	,576
		N	24	24
Ciclo	VO2Ciclo	Coefficiente de correlación	,120	1,000
		Sig. (bilateral)	,576	.
		N	24	24
			% Tres	VO2Tres
Rho de Spearman	Tres	Coefficiente de correlación	1,000	-,243
		Sig. (bilateral)	.	,252
		N	24	24
VO2Tres	VO2Tres	Coefficiente de correlación	-,243	1,000
		Sig. (bilateral)	,252	.
		N	24	24
			% Queens	VO2Queens
Rho de Spearman	Queens	Coefficiente de correlación	1,000	-,941**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	24	24
VO2Queens	VO2Queens	Coefficiente de correlación	-,941**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	24	24

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio era establecer la relación que existe entre la aplicación de una prueba de ejercicio maximal en cicloergómetro y una prueba de ejercicio submaximal en escalón para la valoración de la capacidad aeróbica máxima mediante la estimación del consumo de oxígeno máximo. Algunos estudios han establecido la relación utilizando el test de Queen's College para medir de forma indirecta el VO_2 max y una prueba en cicloergómetro midiendo directamente esta variable ventilatoria (Chatterjee S. y cols, 2004) lo que difiere de este estudio, donde los valores de VO_2 max fueron estimados indirectamente por ecuaciones regresivas. En esa investigación, se encontró una alta correlación entre las variables de frecuencia cardíaca de recuperación y el VO_2 max, a diferencia de esta.

En el estudio realizado por Zwiren y cols (1991) se estableció una alta correlación entre los criterios de

VO₂max al comparar cinco pruebas de ejercicio submáximas en cicloergómetro, en banda y tres pruebas de campo en treinta y ocho mujeres de 30 a 39 años, utilizando métodos como nomogramas y extrapolación. En la presente investigación, se compararon pruebas maximales y submaximales, y los métodos de estimación del VO₂max fueron mediante tres ecuaciones diferentes, una para cada protocolo de valoración.

En términos de la metodología utilizada, algunas investigaciones (Hartung G. y cols, 1993) compararon muestras no relacionadas, encontrando alta correlación entre el consumo de oxígeno medido directamente en laboratorio y el predicho en pruebas submáximas de carga constante en cicloergómetro.

Otras investigaciones más recientes (Faulkner J. y cols, 2007; Eston R. y cols., 2006) utilizaron igualmente métodos indirectos de VO₂max a partir de la respuesta submáxima cronotrópica, como se comparó en esta investigación, encontrando que no existen diferencias significativas entre el porcentaje de la frecuencia cardíaca alcanzado en cada prueba con el VO₂max estimado para las pruebas de cicloergómetro y la de Tres minutos en escalón $P > 0.05$ ($P = 0.120$ y $P = 0.252$, respectivamente).

La relación entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno estimado fue también evaluado en el estudio de Blanco y cols (2009) en 27 sujetos con Enfermedad Pulmonar Intersticial Difusa e Hipertensión Pulmonar, encontrando que los valores de VO₂ pico fueron similares en las dos pruebas (cicloergómetro con carga incremental y caminata de 6 minutos), a pesar que posiblemente las cargas de trabajo generadas fueron diferentes, y el esfuerzo realizado en la prueba de 6 minutos fue considerado como máximo en esta población. Esta situación fue evaluada en nuestro estudio, estableciendo una correlación positiva entre las pruebas en cicloergómetro y la prueba de tres minutos en escalón.

En el estudio de Chatterjee S. y cols (2004) se diseñó otra ecuación predictiva para hombres jóvenes de la India, para valorar la aplicabilidad de la prue-

ba de Queen's Collegue en esa población particular. Además, Alba (2006) describe otra referencia de ecuación predictiva del VO₂max para este test. Esto sugiere la necesidad de diseñar ecuaciones que permitan estimar de forma más segura el nivel de VO₂max en la población objeto a fin de comprobar la hipótesis de esta investigación.

A partir de los resultados de esta investigación se puede sugerir para otros estudios, la aplicación de la ecuación diseñada por el ACSM (2010) para pruebas de escalón utilizada en este estudio para estimar el VO₂max en la prueba de Tres minutos, que cumplan con cadencias entre 12 y 30 ciclos por minuto, y alturas de escalón entre 0.04 y 0.40 metros, como en este estudio, donde el promedio de la cadencia para los 3 hombres sujetos de investigación fue igual a 29 ciclos por minuto, y el promedio para el grupo de mujeres fue de 24,4 ciclos/minuto, utilizando un escalón de 0,363 metros de altura.

Finalmente, algunos investigadores (Tierney M. y cols, 2010; McArdle B. y cols, 2004; Larsen A. y cols, 2001; Hartung G. y cols, 1995; Ramírez y Delgado, 2008), coinciden en la amplia ventaja de utilizar métodos económicos de fácil acceso como las pruebas indirectas submáximas que requieren ecuaciones predictivas, tal como se planteó en esta investigación. Sin embargo, cuestionan los niveles de predicción y la estimación de errores, que puedan afectar la confiabilidad de los datos. Aquí, se considera que existen varias condiciones que se deben analizar en el momento de seleccionar el tipo de prueba a utilizar, y quizá la primera de ellas tiene que ver con el objetivo que tiene el evaluador al aplicar la prueba. Adicionalmente, y no en orden de importancia, se debe definir las características de la población, como el tipo de riesgo cardiovascular que presente, la ocupación (si es deportista), el nivel de entrenamiento y/o experiencia, la edad, el género, las características antropométricas, entre otra serie de factores que pueden ser determinantes en la obtención de resultados confiables, seguros y lo más reales posibles de la condición física de la persona.

Dado que este estudio es de tipo descriptivo, que el muestreo fue realizado a conveniencia y el tamaño

de la muestra, los resultados del mismo no podrían extrapolarse a otras poblaciones, por lo que se recomienda realizar nuevos estudios que permitan confirmar la relación del consumo de oxígeno determinado mediante pruebas de ejercicio maximal y pruebas de escalón, utilizando ecuaciones predictivas seguras y confiables, que se ajusten a la población.

REFERENCIAS

- Alba A. (2006) Evaluación y prescripción del ejercicio para instructores de acondicionamiento físico. Cali, Colombia
- American College of Sports Medicine. (2010). Guidelines for exercise testing and prescription. 8a edición. Lippincott Williams & Wilkins.
- Astrand P, y Rodahl K. (1992) Fisiología del trabajo físico. 3ª edición. Editorial Médica Panamericana.
- Blanco I. (2009). Consumo máximo de oxígeno durante la prueba de marcha de 6 minutos en la enfermedad pulmonar intersticial difusa y en la hipertensión pulmonar. Archivos de bronconeumología. doi:10.1016/j.arbres.2009.12.005
- Casajús J., Piedrafita E. y Aragonés M. (2009) Criterios de maximalidad en pruebas de esfuerzo. Rev.int. med.cienc.act.fis.deporte. Vol 9, No. 35: 217-231
- Chatterjee S. et al (2004) Validity of Queen's College step test for use with young Indian men. Br. J. Sports Med. 38; 289-291
- Faulkner J. (2007). Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. European Journal of Applied Physiology. 101(3):397-407.
- Fardy P. y Yanowitz F. (1995) Cardiac rehabilitation, adult fitness and exercise testing. 3a edición. Williams & Wilkins
- Fletcher G. et al (2001). Exercise Standards for Testing and Training. AHA Scientific Statement. Circulation. 104:1694-1740.
- Gellish, R. et al. (2007). Longitudinal Modeling of the relationship between age and maximal heart rate. Medicine and Science in Sports and Exercise.
- George J. et al. (1997). Nonexercise VO₂max estimation for physically active college students. Medicine and Science in Sports and Exercise. 29:415
- Hartung G. (1993). Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal exercise testing in aerobically fit and nonfit men. Aviat Space Environ Med. 64(8):735-40
- Hartung G. (1995). Estimation of aerobic capacity from submaximal cycle ergometry in women. Medicine Science and Sports Exercise. 27(3):452-7
- Heyward V. (2008) Evaluación de la aptitud física y prescripción del ejercicio. 5ª edición. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- Larsen A. et al. (2001). Assessing the effect of exercise training in men with heart failure. Comparison of maximal, submaximal and endurance exercise Protocols. European Heart Journal. 22, 684-692
- López J. y Fernández A. (2006) Fisiología del ejercicio. 3ª edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina
- Lauer, M. et al. (2005). Exercise Testing in Asymptomatic Adults. Circulation, 112, 771-776.
- Martínez J. (2002). Pruebas de aptitud física. Editorial Paidotribo
- McArdle W., Katch F., Pechar G. (1972). Reliability and interrelationships between maximal oxygen intake, physical work capacity and step test scores in college women. Med Sci Sports Exerc;4:182-6
- McArdle B., Katch F. y Katch V. (2004). Fundamentos de fisiología del ejercicio. McGraw-Hill/Interamericana. Madrid, España
- Molina, González, Arcay & Galván (s.f). Evaluación de la máxima función cardiorrespiratoria por medio de pruebas de esfuerzo indirectas. Disponible en: <http://www.portalfitness.com/Nota.aspx?i=454>
- Moura A. et al (2009). Comparacao Entre Ergometros Especifico e Convencionais na Determinacao da

- Capacidade Aerobia de Mesatenistas. Rev Bras Med Esporte – Vol. 15, No 3
- Noonan V, Dean E. (2000) Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Physical Therapy*. 80:782– 807
- Olson M. (1995). A test to estimate VO₂max in females using aerobic dance, heart rate, BMI, and age. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 35(3):159-68.
- Ramírez R. y Delgado P. Análisis comparativo de las ecuaciones desarrolladas por Jackson et al y por el American College of Sports Medicine para predecir el consumo máximo de oxígeno en estudiantes de fisioterapia. *Fisioterapia*. Vol. 30, No. 1.
- Segovia J, López-Silvarrey F. y Legido J. (2008) Manual de valoración funcional. Aspectos clínicos y fisiológicos. 2ª edición. Elsevier. Madrid, España.
- Tanaka H. et al (2001). Age-Predicted Maximal Heart Rate Revisited. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 37, No. 1.
- Tierney M. et al (2010) Prediction of Aerobic Capacity in Firefighters Using Submaximal Treadmill and Stairmill Protocols. *Journal of strength and conditioning research*. 24(3): 757-764
- Wasserman K., Hansen J., Sue D., Stringer W. y Whipp B. (2005). Principles of exercise testing and interpretation. 4a edición. Lippincott Williams & Wilkins.
- Wasserman K., Van Kessel A. y Burton G. (1967) Interaction of physiological mechanisms during exercise. *J. Appl. Physiol*. 22(1): 71-85
- Wilmore J., y Costill D. (2004). Fisiología del esfuerzo y del deporte. Editorial Paidotribo. Barcelona, España.
- Zwiren L. (1991). Estimation of VO₂max: a comparative analysis of five exercise tests. *Research quarterly for exercise and sport*. 62(1):73-8.