

DESEMPEÑO EN UNA PRUEBA DE CAMINATA Y UNA PRUEBA INCREMENTAL EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN FÍSICA: FRECUENCIA CARDÍACA DE RECUPERACIÓN Y VO₂ MÁX.

Performance of physical education students in a test walk and an incremental test: heart rate recovery and VO₂ max.

*Jaime Vásquez Gómez; **Andrés Godoy Cumillaf; *Ignacio Gündel Pinto;
*Esteban Rodríguez Toledo

Vásquez, J; Godoy, A; Gündel, I & Rodríguez, E. (2015). Desempeño en una prueba de caminata y una prueba incremental en estudiantes de educación física: frecuencia cardíaca de recuperación y VO₂ máx. *Revista de Ciencias de la Actividad Física UCM*. N° 16 (2), 57-69.

RESUMEN

El consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx.) se relaciona con la frecuencia cardíaca (FC) en el ejercicio aeróbico. El objetivo fue relacionar la FC de recuperación (FCr) y el VO₂ máx. Se determinó la FCr en la prueba de caminata de Ebbeling, el VO₂ máx., en la prueba incremental de Bruce y se analizó su relación en 21 hombres y 15 mujeres de una universidad privada (UP1) y en 12 hombres de otra universidad privada (UP2), todos estudiantes de educación física. Se correlacionó los datos con SPSS 19. En la UP1 la relación FCr-VO₂ máx., en hombres fue rho=-0,61 (p<0,01) y en mujeres r=-0,22 (p>0,05), en la UP2 para hombres fue r=-0,5 (p>0,05). Se concluye que la tendencia es que a menor FCr mayor es el VO₂ máx., y que la FCr en Ebbeling es un indicador del VO₂ máx. de Bruce en los hombres de la UP1.

PALABRAS CLAVE

Test submáximo, FCr, test máximo, VO₂ máx., relación, estudiantes.

ABSTRACT

Maximum oxygen consumption (VO₂ max) is related to heart rate (HR) in aerobic exercise. The objective was to relate the HR recovery (HRr) and VO₂ max. HRr was determined by the Ebbeling walk test and VO₂ max by the incremental Bruce test. Their relationship was analyzed in 21 men and 15 women studying at one private university (PU1) and 12 men at another private university (PU2); all were physical education students. Data were correlated with SPSS 19. For PU1, the HRr-VO₂ max relationship was rho=-0.61 (p<0.01) in men and r=-0.22 (p>0.05) in women; for PU2 it was r=-0.5 (p>0.05) in men. We conclude that the trend is for VO₂ max to increase when HRr decreases, and that for men at PU1 the HRr in the Ebbeling test is an indicator of VO₂ max in the Bruce test.

Key words

Submaximal test, HRr, maximal test, VO₂ max, relationship, students

* Facultad de Ciencias de la Actividad Física. Universidad San Sebastián, sede Concepción – Chile.

** Departamento de Educación Física, Facultad de Educación. Universidad Autónoma de Chile, sede Temuco - Chile.



1. INTRODUCCIÓN

Aunque no hay establecida una regla de oro para la prescripción de la intensidad en el entrenamiento, generalmente se utiliza la FC, el VO_2 máx., el lactato y el índice de esfuerzo percibido (RPE), los cuales reflejan la intensidad en el ejercicio (Barak et al. 2010). Así, la FC tiene una estrecha relación con el RPE y el VO_2 máx., como marcadores de intensidad durante el ejercicio (Lambrick, Faulkner, Rowlands y Eston, 2009).

Se debe tener en cuenta que la relación entre el VO_2 máx. y la FC responde al tipo del ejercicio, masa muscular involucrada, la posición del cuerpo, intensidad, el ambiente, etc. (Darby, Marsh, Shewokis y Pohlman, 2007). Sin embargo, la FC tiene una relación lineal con el gasto energético durante el estado de equilibrio en el ejercicio y también una estrecha relación con el VO_2 máx. (Lubans, Morgan, Collins, Boreham y Callister, 2009). Se ha reportado que en el ejercicio de corta duración y en estado estacionario existe una relación lineal entre la FC, el VO_2 máx. y la intensidad del esfuerzo (Lamberts, Lemmink, Durandt, Lambert, 2004). Keytel et al. (2005) indican que especialmente en la intensidad moderada existe una relación lineal entre la FC y el VO_2 máx. lo cual está sujeto a las diferencias individuales de las personas, pero cuando la FC y el consumo de oxígeno (VO_2) se expresan en porcentajes en relación a su máximo no se advierte diferencias en la pendiente de la curva en sujetos altamente entrenados, moderadamente entrenados y no entrenados (Achten y Jeukendrup, 2003).

En el estudio de Keytel et al. (2005) se estableció que el 35, 62 y 80% del VO_2 máx. se correspondía con el 57, 77 y 90% de la FC máxima para un grupo de sujetos que completaron una prueba en estado estable en cinta rodante o en cicloergómetro. También se ha informado que la FC podría ser un buen indicador de la intensidad del ejercicio cuando el esfuerzo sea de carácter moderado cercano al 50% del VO_2 máx. (Zaletel, Furjan-Mandic y Zagorc, 2009).

Por otro lado, se ha reportado que la predicción del VO_2 máx. se ha realizado en función de indicadores como la FC y el RPE en ejercicio submáximo (Klusiewicz, Faff y Starczewska-Czapowska, 2011), a pesar de ello al predecir el VO_2 máx. a partir de la FC en este tipo de esfuerzo se ha encontrado una fuente importante de error de estimación (Karavirta et al. 2008), pues en algunos casos pueden existir errores como se ha advertido en el protocolo YMCA (Robergs y Landwehr, 2002). Sin embargo, se ha informado que la FC tiene una buena relación con el VO_2 máx. al ejecutar una prueba en escalón con formas de movimiento variadas. Confirmando esta idea, la predicción del VO_2 máx. a partir de la FC obtenida en un test submáximo se ha realizado a través de un nomograma (Achten y Jeukendrup, 2003), en este nomograma se ha podido notar que a menor FCr, en un test de escalón y en una prueba en cicloergómetro, el VO_2 máx. será mayor y viceversa, tanto en hombres como en mujeres. De forma similar, se ha indicado que es posible calcular el VO_2 máx. por medio de la FC obtenida al finalizar una prueba de esfuerzo submáximo en escalón utilizando una ecuación de regresión, tanto para niñas como para niños (Lubans, Morgan, Callister y Collins, 2008). Además se ha demostrado que el VO_2 máx. en una prueba en banco ergométrico y en cinta rodante ha sido similar (Darby et al. 2007). Por su parte, el VO_2 máx. podría predecir la FC submáxima posiblemente por la relación lineal que existe entre estos parámetros o por la variación de la FC día a día (Buono, Roby, Micale, Sallis y Shepard, 1991).

Se han desarrollado múltiples ecuaciones para estimar el VO_2 máx. a través de pruebas de esfuerzo submáximo en cinta rodante, cicloergómetros y escalones ergométricos (Klusiewicz et al. 2011). A la vez se ha diseñado una gran variedad de instrumentos para predecir el VO_2 máx. a partir de ejercicios de carácter submáximo, los cuales se han basado en la relación entre el VO_2 máx. y la FC llevadas a cabo en diferentes maquinarias como cicloergómetros, cintas rodantes, etc. (Ainsworth, McMurray y Veazey, 1997).



Los objetivos del estudio fueron determinar la FCr en la prueba de Ebbeling, estimar y medir el VO₂ máx. en el test Bruce y analizar la relación entre la FCr y el VO₂ máx. en hombres y mujeres estudiantes de educación física. Se plantea que la relación entre las variables es inversa, alta y estadísticamente significativa. El por qué de la realización del trabajo responde a la utilidad práctica del mismo, esto es, la pertinencia de valorar el desempeño aeróbico a través de una prueba de esfuerzo moderado, en este caso de caminata y basada en la FCr, como una alternativa a las pruebas hasta el agotamiento.

2. MÉTODO

La muestra fue no probabilística, de carácter intencionada, pues la elección de los participantes no dependió de la probabilidad. Se midió el desempeño aeróbico en las pruebas en cinta rodante de Ebbeling y Bruce en 15 mujeres y 21 hombres estudiantes de educación física de la universidad privada 1. También se midió la FCr en la prueba de Ebbeling y el VO₂ máx. en la prueba de Bruce (VO₂ máx. directo) en una muestra de 12 hombres estudiantes de educación física de la universidad privada 2 (Tabla I).

Tabla I: Datos básicos de los estudiantes de educación física de la UP1 y UP2 (Datos en valores promedio y desviación estándar).

	UP1	UP1	UP2
	Hombres (21)	Mujeres (15)	Hombres (12)
Edad años	22,3±2,3	21,1±2,3	21,5±2,5
Talla m	1,74±0,04	1,61±0,04	1,70±2,5
Masa kg.	76,2±12,3	61,6±5,2	1,71±0,05
IMC k/m ²	25,1±3,9	23,7±2,5	23,8±1,7

UP1: Universidad Privada 1; UP2: Universidad Privada 2.

Antes de realizar las mediciones todos los estudiantes completaron el Cuestionario de Aptitud para la Actividad Física PAR-Q (www.uwfitness.uwaterloo.ca en Correa, Gámez, Ibáñez y Rodríguez, 2011) traducido al castellano. En los estudiantes de la UP1 se aplicó primero el test de caminata de Ebbeling (Ebbeling, Ward, Puleo, Widrick y Rippe,

1991) e inmediatamente la prueba incremental de Bruce (García, Navarro y Ruiz, 1996). Los test se realizaron entre los meses de mayo y junio de 2014.

El test de Ebbeling tiene como etapa previa un calentamiento de 4 minutos a una velocidad entre 3,22 y 7,24 k/h sugiriendo que el sujeto se encuentre entre el 50 y 70% de la FC máx. La etapa siguiente consiste en un esfuerzo de 4 minutos con una inclinación del 5% en la cinta rodante a la intensidad del calentamiento, también entre el 50 y 70% de la FC máx. (Waddoups, Wagner, Fallon y Heath, 2008). Al finalizar la caminata se midió la FCr post-ejercicio en posición bípeda y estacionaria durante 3 minutos con un monitor de FC, además del RPE (Borg y Kaijser, 2006).

El test de Bruce es una prueba de estadios incrementales en donde el sujeto debe dar su máximo esfuerzo para estimar o medir el VO₂ máx. Los estadios fueron 7 y tuvieron una duración de 3 minutos cada uno a una velocidad de 1,7; 2,5; 3,4; 4,2; 5; 5,5 y 6 millas/hora. La inclinación de cada estadio fue de 10, 12, 14, 16, 18, 20 y 22%, respectivamente (García et al. 1996). Para los estudiantes de la UP1 en esta prueba se estimó el VO₂ máx. según la ecuación propuesta por Bruce, Kusumi y Hosmer (1973) para sujetos activos:

$$\text{VO}_2 \text{ máx. ml/kg/min (r = 0,920) = 6,70 - 2,82 (factor de ponderación para el género) + 0,056 (duración en segundos).}$$
 Siendo el factor de ponderación de 1 para los hombres y de 2 para mujeres.

En los estudiantes de la UP1 las pruebas de Ebbeling y Bruce se aplicaron en una cinta rodante marca SportArt modelo T652M (Industrial Co., Lda. - Estados Unidos) y la medición de la FCr se realizó con monitores de FC marca Polar® modelos RS400sd y RS800sd (Polar Electro – Finlandia).

Las mediciones en los estudiantes de la UP2 se realizaron en el mes de diciembre de 2014 y siguieron el protocolo de administración descrito anteriormente para las dos pruebas. En esta ocasión el VO₂ máx. se midió de forma directa utilizando un analizador de intercambio



de gases marca iWorx® modelo GA-200^a (iWorx Systems Inc. – Estados Unidos), una cinta rodante marca SportArt modelo T675 (Industrial Co., Lda. - Estados Unidos) y un monitor de FC marca Forerunner® modelo 310XT (Garmin International, Inc. – Estados Unidos).

Respecto a los datos básicos de la muestra y sobre su desempeño aeróbico se utilizó estadística descriptiva. Para determinar la ley normal se empleó la prueba de la prueba de Shapiro – Wilk, y para la relación entre la FCr y el VO₂ máx. se utilizó la correlación de Pearson y la de Spearman. El análisis se apoyó en el programa SPSS® versión 19 (International Business Machines -IMB-, Nueva York – Estados Unidos).

3. RESULTADOS

En relación al desempeño aeróbico en la prueba de Ebbeling la FCr fue disminuyendo

post-ejercicio, en donde las mujeres tardaron más en recuperar respecto de los hombres de la UP1. Se puede establecer que esta prueba fue de intensidad moderada ya que en general los valores de la FCr fueron desde los 123 hasta las 93 p/m para ambos géneros, además los hombres registraron un RPE de 9 y las mujeres un RPE de 8, como promedio. La FC durante los 4 minutos de caminata se presentó en valores similares a los obtenidos al finalizar la prueba tanto para hombres como para mujeres. En la prueba de Bruce el valor estimado de VO₂ máx. fue de 49 y 69 ml/kg/min en promedio para hombres y mujeres, respectivamente.

En los estudiantes de la UP2 se mostró un comportamiento descendente en la FCr que fue desde las 91 hasta las 88 p/m, esto también demuestra que fue una prueba submáxima, de intensidad moderada. Da cuenta también de ello el valor de RPE igual a 4,9 como promedio. En la prueba de Bruce el VO₂ máx. alcanzó un valor promedio de 59 ml/kg/min.

Tabla II. Relación entre la FCr de la prueba de Ebbeling y el VO₂ máx. de la prueba de Bruce en los estudiantes de educación física de la UP1 y UP2.

	UP1 Hombres (21) Bruce VO ₂ máx.	UP1 Mujeres (15) Bruce VO ₂ máx.	UP1 Muestra (36) Bruce VO ₂ máx.	UP2 Hombres (12) Bruce VO ₂ máx.
FC final	-0,504*	-0,22	-0,458**	-0,42
FCr 15 seg.	-0,596**	0,03	-0,548**	-0,4
FCr 30 seg.	-0,593**	0,01	-0,494*	-0,48
FCr 45 seg.	-0,613**	0,02	-0,441*	-0,48
FCr 60 seg.	-0,320	0,1	-0,328	-0,5
Test Ebbeling	(s)	(p)	(p)	(p)

La correlación es significativa a nivel 0,05 (bilateral); ** La correlación es significativa al nivel de 0,01 (bilateral); (s): Spearman; (p): Pearson; FCr: Frecuencia cardíaca de recuperación; UP1: Universidad Privada 1; UP2: Universidad Privada 2.

Se observa en la Tabla II que la correlación más alta del VO₂ máx. se presenta con la FCr de 45 segundos en los hombres de la UP1 y por sobre este tiempo la relación disminuye. La relación es moderada y estadísticamente significativa, lo que indica que a menor FCr en Ebbeling mayor será el VO₂ máx. en Bruce. Considerando este valor como criterio, es probable que los estudiantes que tuvieron

un estado estable de FC más bajo durante la prueba de caminata recuperaran más rápido la FC post-ejercicio y tuvieran mejor desempeño en la prueba de Bruce. Para las mujeres la relación no se presenta como en los hombres, esta no es inversa y tampoco es significativa. Por lo tanto es aventurado suponer relaciones entre la FC en estado estable, la FCr y el VO₂ máx.



Se puede apreciar en la misma tabla II que para los 36 estudiantes de la UP1 la relación más alta entre VO₂ máx. y FCr se presenta con un valor moderado y estadísticamente significativo en la toma de FCr a los 15 segundos. Se puede considerar que la FCr a los 15 segundos de la prueba de Ebbeling es un indicador del VO₂ máx. estimado en la prueba de Bruce para la muestra de 36 estudiantes, pues a medida que los sujetos recuperaron más rápido su FC, mayor fue el VO₂ máx.

En los 12 estudiantes de la UP2 la correlación más alta se presenta con el cruce de la FCr medida a los 60 segundos, pero esta no es significativa. De igual manera la tendencia es inversa entre las 2 variables, es decir, a menor FCr mayor es el VO₂ máx., pese a esto no se puede afirmar que la FCr de Ebbeling es un indicador del VO₂ máx. medido en Bruce.

4. DISCUSIÓN

En el presente estudio el objetivo fue analizar la relación entre la FCr de una prueba submáxima de caminata con el VO₂ máx. de una prueba de carrera incremental en estudiantes hombres y mujeres de educación física. Se ha descrito que la respuesta de la FC post-ejercicio puede utilizarse como un indicador de la condición cardiorrespiratoria (Webb, Vehrs, George y Hager, 2014), también se ha postulado que durante la locomoción el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca a una intensidad submáxima son indicadores importantes en el estrés físico de este tipo de esfuerzo (Morgan et al. 2002 en de Mendonça y Duarte, 2008).

La FCr post-ejercicio submáximo se ha utilizado para la evaluación de la aptitud cardiovascular, esta se ha basado en el principio de la relación entre la intensidad de trabajo, la FCr y el VO₂ máx. (Yuan et al. 2008). Además se ha demostrado en algunos trabajos que el VO₂ máx. está relacionado con la FCr, en ellos se ha indicado que la actividad vagal (se asocia con la disminución del ritmo cardíaco), la ejercitación y la edad influyen sobre el VO₂ máx. y que se relacionan con la FCr. También se ha mencionado que la FCr está relacionada inversamente con el VO₂ máx. (Uchchukwu,

2009), lo que confirma algunos hallazgos del presente estudio. Sin embargo Santo y Golding (2003) concluyen que la FCr puede ser lo no suficientemente sensible para predecir con precisión y exactitud el VO₂ máx. ya que ha encontrado que el error de estimación estándar ha sido entre un 15 y 20% siendo más sensibles los registros de FC durante el test para predecir el VO₂ máx. Finalmente los autores exponen que la FCr puede ser más útil para caracterizar de manera general al VO₂ máx.

El principio que indica que la FCr se relaciona de manera inversa con el VO₂ máx. (Uchchukwu, 2009) se ha encontrado en los 21 hombres y en todos los estudiantes (hombres y mujeres) que realizaron la prueba de Ebbeling y de Bruce de la UP1, y también en los hombres de la UP2. Esta relación la han podido materializar Zwiren et al. (1991) quienes estimaron el VO₂ máx. utilizando la prueba de caminata de 1 milla sobre 38 mujeres (33 ± 3 años), en donde la ecuación de predicción incluía la FCr, entre otras variables, desde el final de la prueba hasta 2 minutos de recuperación post-ejercicio.

Respecto a la prueba de caminata en cinta rodante de Ebbeling, esta se ha validado en 55 hombres y 63 mujeres universitarios de 20,6 ± 2,3 años (Alexander, 2000) lo que da el precedente que es plausible de aplicar en poblaciones universitarias como se ha realizado en el presente estudio. También se ha reportado que la prueba de Ebbeling y la prueba de Bruce se han aplicado en hombres jóvenes, pero no se ha realizado la relación entre la FCr y el VO₂ máx. (Laurent et al. 2008).

Sobre las pruebas de caminata un primer estudio (tabla IV, ver más adelante) reporta que 15 mujeres universitarias sanas de 23,3 ± 2,9 años caminaron sobre una cinta rodante a una velocidad de 4,2 k/h durante 5 minutos (Ebbeling, Hamill y Crussemeyer, 1994). Esta velocidad es similar a la que han caminado las mujeres de la UP1 en la prueba de Ebbeling.

Con respecto a las pruebas submáximas en otra investigación se evaluó a 10 hombres voluntarios y desentrenados de entre 18 y 25 años los cuales hicieron un calentamiento de



3 minutos a la mitad de la velocidad alcanzada al 75% de la FC máx., luego se esforzaron al 75% de su FC máxima durante 7 minutos en la misma cinta rodante. Al finalizar los sujetos recuperaron en posición bípeda y estática sobre la cinta rodante durante 2 minutos (Redondo y Boone, 1998). Esta metodología que coincide con el protocolo de recuperación que se empleó en el presente estudio para la prueba de Ebbeling en los estudiantes de la UP1 y UP2. También se ha evaluado a 22 hombres y 8 mujeres físicamente activos de 33 ± 10 años a quienes se les aplicó 2 veces una prueba incremental de esfuerzo máximo en cinta rodante para determinar el VO₂ máx. y

posteriormente en 2 ocasiones una prueba de esfuerzo submáximo en el mismo ergómetro (al 80% de la velocidad máxima en la cinta) con una duración de 10 minutos en donde la FCr se midió durante 5 minutos; 1 minuto de pie y 4 minutos sentado (Bosquet, Gamelin y Berthoin, 2008). Este procedimiento de medir la FCr en posición de pie coincide también con el protocolo que se utilizó en este estudio.

Los valores de FCr de los 2 estudios citados anteriormente se comparan con los encontrados en los hombres de la UP1 y UP2 en la prueba de Ebbeling (tabla III).

Tabla III. Comparación entre la FCr de los hombres en test submáximos en cinta rodante.

	Redondo y Boone (1998)	Bosquet et al. (2008)	UP1	UP2
Género	M	M	M	M
n	10	22	21	12
Test submáximo	Cinta rodante	Cinta rodante	Cinta Ebbeling	Cinta Ebbeling
Intensidad	75% FC máx.	80% veloc. máx.	50-70% FC máx.	50-70% FC máx.
FCr 1 min	--	--	93,7 ± 13,1	88,3 ± 7,2
FCr 2 min	120 ± 10	120 ± 12-15	91,7 ± 12,3	84 ± 5,7

FCr: Frecuencia cardíaca de recuperación; M: masculino; FC máx.: Frecuencia cardíaca máxima; veloc.: velocidad; UP1: Universidad Privada 1; UP2: Universidad Privada 2.

En la tabla anterior se aprecia que las intensidades de las pruebas son de carácter submáximo y que provocan un estrés proporcional en cuanto a la FCr de los sujetos.

También se ha elaborado una prueba submáxima de caminata en cinta rodante de 5 minutos de duración la cual se realizó a diferentes velocidades y en dos ocasiones, en donde la FC se midió durante toda la prueba. En este caso se midió el desempeño en 11 hombres y 11 mujeres voluntarios físicamente activos de 24 ± 6 años (Darter, Rodríguez y Wilken, 2013). Junto a estas mediciones se ha reportado otra prueba de caminata submáxima de 5 minutos de duración a una velocidad de 4 k/h con diferentes grados de inclinación de la

cinta rodante sobre un grupo de 9 hombres y 7 mujeres voluntarios estudiantes de educación física de 22 ± 4 años (de Mendoça y Duarte, 2008). A los sujetos también se les midió el VO₂ máx. en una prueba incremental hasta el agotamiento en cinta rodante. Esta prueba máxima se aplicó inmediatamente después de las pruebas submáximas. El procedimiento que indica de Mendoça y Duarte (2008) es igual empleado en el presente estudio (UP1 y UP2), en el que se administró la prueba de Ebbeling e inmediatamente después la de Bruce.

Los valores de FC de las 2 investigaciones citadas recientemente más los estudios de Ebbeling et al. (1994) y de Bosquet et al. (2008) se observan en la Tabla IV.



Tabla IV. Comparación en la FC y la FCr de hombres y mujeres en test submáximos ejecutados en cinta rodante.

	Ebbeling et al. (1994)	UP1	Bosquet et al. (2008)	de Mendocça y Duarte (2008)	Darter et al. (2013)	UP1
Género	F	F	M + F	M + F	M + F	M + F
n	15	15	22 + 8	16	21*	21 + 15
Test submáximo	Cinta rodante	Cinta Ebbeling	Cinta rodante	Cinta rodante	Cinta rodante	Cinta Ebbeling
Intensidad	4,2 k/h	4,6 ± 0,8 k/h	80% veloc. máx.	4 k/h ± 2,5%	5,9 ± 0,2 k/h	5,4 ± 0,9 k/h
FC media p/m	91,5 ± 10,5	120,3 ± 8	--	93,7 ± 16,4	115,9 ± 19,4 - 113,2 ± 20	117,1 ± 8,8
FCr p/m 1 min	--	98,5 ± 13,7	120 ± 12-15	--	--	97 ± 12,7

*Se excluyó a un sujeto por falla del cardiotacómetro. FC: Frecuencia cardíaca; FCr: Frecuencia cardíaca de recuperación; M: Masculino; F: Femenino; UP1: Universidad Privada 1.

En la tabla precedente se presentan trabajos en donde en su mayoría se caracterizó a hombres y mujeres en conjunto, y sólo en 2 de ellos a mujeres. Se advierte que las intensidades de las pruebas submáximas no sobrepasan los 6 k/h, sobre la cual generalmente los sujetos comenzarían la carrera suave. Consecuentemente los valores de FC son más bajos cuando la velocidad de la cinta fue menor.

En las pruebas incrementales de VO₂ máx. este parámetro se ha medido por calorimetría indirecta en 7 mujeres (22,7 ± 2,6 años) y 9 hombres (21 ± 1,3 años) estudiantes de educación física voluntarios utilizando la prueba incremental de Bruce de 8 estadios en 4 ocasiones (Romero, Soto y Moncada, 2012). Otro estudio también midió el VO₂ máx. en la prueba en cinta rodante de Bruce en un grupo de 22 sujetos estudiantes de educación física

aparentemente sanos, integrando un subgrupo los individuos de 23 ± 1,7 años y otro los de 27,5 ± 1,5 años (Machado, 2013). A la vez Laurent et al. (2008) miden el VO₂ máx. a través de la prueba de Bruce de 6 estadios en 30 hombres de 23,9 ± 0,9 años moderadamente activos, esto último se determinó por medio de la prueba de caminata de Ebbeling. Valores de VO₂ máx. también se han reportado al aplicar la prueba de Bruce en estudiantes universitarios, en este caso 6 hombres de 20,6 ± 3,4 años y 6 mujeres de 21,4 ± 2,9 años, todos voluntarios y físicamente activos (Willmert et al. 2002). En mujeres entrenadas y no entrenadas de 20,8 ± 0,9 años también se ha medido el VO₂ máx. en la prueba de Bruce (Roy et al. 2004). Los valores de VO₂ máx. de estos trabajos se comparan en las siguientes tablas (V y VI) con los datos obtenidos en el presente estudio, tanto con los hombres y mujeres de la UP1 como con los hombres de la UP2.

Tabla V. Comparación entre el VO₂ máx. y la FC de hombres que ejecutaron el test de Bruce.

	Willmert et al. (2002)	Laurent et al. (2008)	Romero et al. (2012)	Machado (2013)	UP1	UP2
Género	M	M	M	M	M	M
n	6	30	9	11	21	12
Test máx.	Bruce	Bruce	Bruce	Bruce	Bruce	Bruce
VO ₂ máx.*	48,8 ± 8	42,8 ± 1,5	50,2 ± 5,5	46,6 ± 6	69,2 ± 7,8	59 ± 3,8
FC p/m	184 ± 11,4	195 ± 2	180,7 ± 2,1	--	186,9 ± 7,4	--

*ml/kg/min; FC: Frecuencia cardíaca; M: Masculino; UP1: Universidad privada 1; UP2: Universidad Privada 2.



En la Tabla V se aprecia que los valores de VO₂ máx. de los hombres de la UP1 son mayores a los demás trabajos, esto podría ser porque en el presente estudio se estimó este parámetro a través de una ecuación de regresión en la cual aparentemente se

sobreestima el valor, también se debe tener en cuenta que la prueba de Bruce se ha aplicado con diferentes protocolos respecto del número de estadios del test. Por último, se puede apreciar que los valores de FC alcanzados en la mayoría de las pruebas son elevados.

Tabla VI. Comparación entre el VO₂ máx. y la FC de mujeres que ejecutaron el test de Bruce.

	Willmert et al. (2002)	Roy et al. (2004)	Romero et al. (2012)	UP1
Género	F	F	F	F
n	6	20	7	15
Test máximo	Bruce	Bruce	Bruce	Bruce
VO ₂ máx.*	48,8 ± 8	38,7 ± 6,2	41,6 ± 6	49,8 ± 4,4
FC p/m	184 ± 11,4	--	180,7 ± 2,1	190,6 ± 3,4

*ml/kg/min. FC: Frecuencia cardíaca; F: Femenino.

En las mujeres de la UP1 el valor de VO₂ máx. es superior, esto también podría ser explicado por la fórmula de estimación y el número de estadios que contiene cada protocolo. La FC alcanzada demuestra un desempeño elevado.

Con respecto a la relación entre la FCr y el VO₂ máx. se ha encontrado una correlación con un valor de $p = 0,051$ tras aplicar una prueba máxima y unas pruebas submáximas en cinta rodante en 10 hombres sanos y físicamente activos de 36 ± 7 años (con estatura de $1,82 \pm 0,04$ metros, y 84 ± 8 kg). La prueba máxima se realizó con el 1% de inclinación y con una velocidad de inicio de 6 k/h para ir aumentando 0,5 k/h cada 1 minuto hasta que el sujeto claudicara el ejercicio por fatiga voluntaria. Los criterios de VO₂ máx. fueron alcanzar la meseta en la curva del VO₂ a pesar de un aumento de intensidad, un RER mayor a 1,1 y alcanzar la FC máxima dentro de 10 p/m según la fórmula $220 - \text{edad}$ (no todos

los sujetos cumplieron todos los criterios). Las pruebas submáximas tuvieron un esfuerzo hasta alcanzar la intensidad del 90, 80 y 70% de la FC máx. y la recuperación fue de pie durante 1 minuto para luego caminar a 4 k/h durante 1 minuto. Estas pruebas submáximas se realizaron en días posteriores a la prueba máxima, en todas ellas a los sujetos no se les permitió comer ni tomar café 2 y 3 horas antes de las mediciones, respectivamente, además no se permitió realizar actividad física extenuante ni ingesta de alcohol 48 horas antes de las mediciones (Karjalainen, 2012). Con respecto a la relación entre FCr y VO₂ máx. obtenida en el presente estudio luego de aplicar las pruebas de Ebbeling y Bruce, respectivamente, esta se presentó significativa solamente en los hombres la UP1 aunque las condiciones de medición no consideraron el tipo ni el tiempo de ingesta previa de nutrientes, ejercicio físico, etc.



Tabla VII. Comparación entre la significancia estadística de la relación FCr post-ejercicio submáximo y el VO₂ máx. en ejercicio máximo ejecutados en cinta rodante.

	Karjalainen (2012)	UP1	UP2
Género	M	M	M
n	10	21	12
Correlación	Cinta VO ₂ máx.*	Bruce VO ₂ máx.**	Bruce VO ₂ máx.**
FCr 60 seg.	-- (s)	-0,32 (s)	-0,5 (p)
p (significancia)	=0,051	>0,05	>0,05
Test submáximo	Cinta	Ebbling cinta	Ebbling cinta

VO₂ máx. L/min; ** VO₂ máx. ml/kg/min; FCr: Frecuencia cardíaca de recuperación; UP1: Universidad Privada 1; UP2: Universidad Privada 2; M: Masculino; F: Femenino; (p): Pearson; (s): Spearman.

Aunque la relación entre ambos parámetros de interés en el estudio de Karjalainen (2012) no es significativa, se debe tener en cuenta que el VO₂ máx. se expresó en forma absoluta, es decir, en litros por minuto (L/m) considerando la masa corporal de los sujetos. En cambio en el presente estudio (hombres de UP1 y UP2) el VO₂ máx. se expresó en forma relativa (ml/kg/min) sin considerar la masa corporal. Esta condición puede ser determinante para la significancia estadística de la correlación.

La correlación entre la FCr de Ebbling y el VO₂ máx. del test de Bruce es moderada, inversa y significativa en el total de estudiantes de educación física de ambos géneros de la UP1, también la relación es moderada, inversa y significativa en los 21 estudiantes hombres, lo que indica que los que recuperan mejor la FC en la prueba de Ebbling tienen mayor valor de VO₂ máx. en la prueba de Bruce. En cambio para las 15 mujeres las correlaciones no son inversas ni significativas. En los 12 estudiantes de la UP2 las correlaciones entre la FCr y el VO₂ máx. son inversas y moderadas, pero no significativas.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que la FCr tiene un comportamiento descendente luego de terminar la prueba de Ebbling en los estudiantes de educación física hombres y mujeres de la UP1, esto es, hasta el primer minuto de recuperación se observó un descenso y desde el minuto 1 hasta el minuto

3 de hubo una estabilización en la frecuencia cardíaca, aunque un poco más oscilante en las mujeres. En los hombres de la UP2 el comportamiento de la FCr fue más armónico, es decir, el descenso de la FC fue paulatino desde el final de la prueba hasta el minuto 3 de recuperación.

El VO₂ máx. de las mujeres estudiantes de educación física de la UP1 estimado en la prueba de Bruce se clasificó entre bueno y alto, y el de los hombres de la misma forma. Por último, el VO₂ máx. medido en los hombres de la UP2 se clasificó entre bueno y alto (Lopategui, 2014).

La tendencia de la relación entre la FCr y el VO₂ máx. es que cuando existió una menor FCr al terminar la prueba de Ebbling, es decir cuando fue más baja, fue mayor el VO₂ máx. en el test de Bruce. Estas relaciones fueron negativas, moderadas y significativas en los hombres de la UP1 y para el conjunto de hombres y mujeres de la UP1, pero bajas y no significativas en los hombres estudiantes de educación física de la UP2, aunque negativas. En las mujeres estudiantes de educación física de la UP1 las relaciones fueron muy bajas, positivas y no significativas.

Por último, se concluye que la FCr obtenida en el test de Ebbling es un indicador del VO₂ máx. de la prueba de Bruce para los estudiantes de educación física de la UP1, tanto para hombres como para los hombres y mujeres en su conjunto.



Una limitación del estudio es que no se controlaron variables externas que pudieron influir en el desempeño aeróbico tanto en la prueba de caminata como en la incremental, esto es, la prohibición de hacer ejercicio físico intenso 48 horas antes de las mediciones o ingerir antes de las pruebas sustancias que alteren la FC como, café, algún tipo de gaseosas, etc. Ante esto, la sugerencia para futuras investigaciones es controlar variables de ejercicio físico y nutricionales antes de la aplicar los test.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achten, J. & Jeukendrup, E. (2003). Heart rate monitoring applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538. Disponible en <http://web.ebscohost.com>

Ainsworth, B., McMurray, R. & Veazey, S. (1997). Prediction of peak oxygen uptake from submaximal exercise test in older men and women. *Journal of Ageing and Physical Activity*, 5, 27-38. Disponible en <http://web.ebscohost.com>

Alexander, J. (2000). *Validity of a single-stage submaximal treadmill walking test for predicting VO_2 max in college students* [abstract]. Oregon, United States: Microform Publications.

Barak, O., Jakovljevic, D., Popadic, J., Ovcin, Z., Brodie, D. & Grujic, N. (2010). Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions. *Journal of Sport Science and Medicine*, 9, 176-182. Disponible en <http://web.ebscohost.com>

Borg, E. & Kaijser, L. (2006). A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian Journal of Medicine Science in Sport*, 16, 57-69. doi:10.1111/j.1600-0838.2005.00448.x

Bosquet, L., Gamelin, F. & Berthoin, S. (2008). Reliability of postexercise heart rate recovery. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 238-243. doi: 10.1055/s-2007-965162

Bruce, R., Kusumi, F. & Hosmer, D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal*, 85(4), 546-562. doi: 10.1016/0002-8703(73)90502-4



- Buono, M., Roby, J., Micale, F., Sallis, J. & Shepard, E. (1991). Validity and reliability of predicting maximum oxygen uptake via field test in children and adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 3, 250-255. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Correa, J., Gámez, E., Ibáñez, M. y Rodríguez, C. (2011). Aptitud física en mujeres adultas mayores vinculadas a un programa de envejecimiento activo. *Salud UIS*, 43(3), 263-269. Disponible en <http://www.scielo.cl/>
- Darby, L., Marsh, J., Shewokis, P. & Pohlman, R. (2007). Specificity of a maximal step exercise test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 11(3), 131-148. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Darter, B., Rodríguez, K. & Wilken, J. (2013). Test-retest reliability and minimum detectable change using the k4b2: oxygen consumption, gait efficiency, and heart rate for healthy adults during submaximal walking. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 84, 223-231. doi:10.1080/02701367.2013.784720
- de Mendonça, G. & Duarte, F. (2008). Between-day variability of net and gross oxygen uptake during graded treadmill walking: effects of different walking intensities on the reliability of locomotion economy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33, 1199-1206. doi:10.1139/H08-109
- Ebbeling, C., Hamill, J. & Crussemeyer, J. (1994). Lower extremity mechanics and energy cost of walking in high-heeled shoes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 19(4), 190-196. Disponible en <http://www.jospt.org>
- Ebbeling, C., Ward, A., Puleo, E., Widrick, J. & Rippe, J. (1991). Development of a single-stage submaximal treadmill walking test. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise*, 23(8), 966-973.
- García, J., Navarro, M. y Ruiz, J. (1996). *Bases teóricas del entrenamiento deportivo: principios y aplicaciones*. Madrid, España: GYMNOS.
- Karavirta, L., Tulppo, M., Nyman, K., Laaksonen, D., Pullinen, T., Laukkanen, R.,... & Hakkinen, K. (2008). Estimation of maximal heart rate using the relationship between heart rate variability and exercise intensity in 40-67 years old men. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 25-32. doi:10.1007/s00421-007-0667-5
- Karjalainen, P. (2012). *Heart rate recovery after maximal and submaximal exercise*. (Tesis de maestría). University of Jyväskylä, Finlandia. Disponible en <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/40063>
- Keytel, L., Goedecke, J., Noakes, T., Hiiloskorpi, H., Laukkanen, R., Van der Merwe, L. & Lambert, V. (2005). Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *Journal of Sport Sciences*, 23(3), 289-297. doi:10.1080/02640410470001730089
- Klusiewicz, A., Faff, J. & Starczewska-Czapowska, J. (2011). Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal and maximal exercise on a ski ergometer. *Biology of Sport*, 28(1), 31-35. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Lamberts, R., Lemmink, K., Durandt, J., & Lambert, M. (2004). Variation in heart rate during submaximal exercise: implications for monitoring training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 641-645. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Lambrick, D., Faulkner, J., Rowlands, A. & Eston, R. (2009). Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal ratings of perceived exertion and heart rate during a continuous exercise test: the efficacy of RPE 13. *European Journal of Applied Physiology*, 107, 1-9. doi:10.1007/s00421-009-1093-7



- Lopategui, E. (2014). Experiencia de laboratorio: batería de pruebas para medir los componentes de la aptitud física relacionados con la salud. Disponible en <https://scholar.google.cl>
- Laurent, C., Meyers, M., Robinson, C., Strong, L., Chase, C. & Goodwind, B. (2008). Validity of the VmaxST portable metabolic measurement system. *Journal of Sports Sciences*, 26(7), 709-716. doi: 10.1080/02640410701758685
- Lubans, D., Morgan, P., Callister, R. & Collins, C. (2008). The relationship between pedometer step counts and estimated VO₂ máx. as determined by a submaximal fitness test in adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 20, 273-284. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Lubans, D., Morgan, P., Collins, C., Boreham, C. & Callister, R. (2009). The relationship between heart rate intensity and pedometer step counts in adolescents. *Journal Sport Sciences*, 27(6), 591-597. doi:10.1080/02640410802676687
- Machado, R. (2013). Nível de incompetência cronotrópica em estudantes de educação física. *Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício*, 7(41), 494-497. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Redondo, D. & Boone, T. (1998). Central and peripheral circulatory responses during four different recovery positions immediately following submaximal exercise. *Journal of Exercise Physiology Online*, 1(1), 1-12. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Robergs, R. & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the "HRmax=220-age" equation. *Official Journal of The American Society of Exercise Physiologists*, 5(2), 1-10. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Romero, O., Soto, M. & Moncada, J. (2012). Maximal oxygen consumption in college students is reliable following four consecutive trials. *Journal of Physical Education and Sport*, 12(4), 476-481. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Roy, J., Smith, J., Bishop, P., Hallinan, C., Wang, M. & Hunter, G. (2004). Prediction of maximal VO₂ from a submaximal stairmaster test in young women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(1), 92-96. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Santo, A. & Goldin, L. (2003). Predicting maximum oxygen uptake from a modified 3-minute step test. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74(1), 110-115.
- Uchechukwu, D. (2009). Post-exercise heart rate recovery: an index of cardiovascular fitness. *Journal of Exercise Physiology*, 12(1), 10-22. Disponible en <http://web.ebscohost.com>
- Waddoups, L., Wagner, D., Fallon, J. & Heath, E. (2008). Validation of a single-stage submaximal treadmill walking test. *Journal of Sports Sciences*, 26(5), 491-497. doi: 10.1080/02640410701591425
- Webb, C., Vehrs, P., George, J. & Hager, R. (2014). Estimating VO₂ max using a personalized step test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 18, 184-197. doi: 10.1080/1091367X.2014.912985
- Willmert, N., Porcari, J., Foster, C., Doberstein, S. & Brice, G. (2002). The effects of oxygenated water on exercise physiology during incremental exercise and recovery. *Journal of Exercise Physiology Online*, 5(4), 16-21. Disponible en <http://web.ebscohost.com>



Yuan, J., Fu, Y., Zhang, R., Li, X. & Shan, G. (2008). The reliability and sensitivity of indices related to cardiovascular fitness evaluation. *Kinesiology*, 40(2), 138-145. Disponible en <http://web.ebscohost.com>

Zaletel, P., Furjan-Mandic, G. & Zagorc, M. (2009). Differences in heart rate and lactate levels at three different workloads in step aerobics. *Kinesiology*, 41(1), 97-104. Disponible en <http://web.ebscohost.com>

Zwiren, L., Freedson, P., Ward, A., Wilke, S. & Rippe, J. (1991). Estimation of VO₂ max: a comparative analysis of five exercise tests. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62(1), 73-78. doi: 10.1080/02701367.1991.10607521

Dirección para correspondencia:

Jaime Vásquez Gómez

Magíster en Ciencias de la Actividad Física,
Universidad Católica del Maule – Chile

Máster Oficial en Actividad Motriz y
Educación, Universidad de Barcelona (UB)
– España

Doctorando en Actividad Física, Educación
Física y Deporte, UB – España

Académico Facultad de Ciencias de la
Actividad Física

Universidad San Sebastián, Concepción –
Chile

Contacto:

jaime.vasquez@uss.cl

Recibido: 20-04-2015

Aceptado: 30-11-2015

