

Research

# Predicción del $\text{VO}_2$ máx. en la Mujer: Adaptación del Protocolo de Fox en Cicloergómetro

Lynn A Darby<sup>1</sup> y Roberta L Pohlman<sup>2</sup><sup>1</sup>Kinesiology Division, School of Human Movement, Sport and Leisure Studies, Bowling Green State University.<sup>2</sup>Wright State University.

## RESUMEN

Fox (1) propuso un método simple para predecir el máximo consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$  máx.) a partir de la respuesta de la frecuencia cardiaca (FC) a 5 minutos de ejercicio en cicloergómetro a una potencia de 150 W. Esta ecuación fue establecida solo para hombres, pero el uso de la misma ha sido también sugerido en mujeres (Heyward, 1988), aunque una carga de trabajo de 150 W podría ser muy intensa para este sexo. De este modo, el propósito de este estudio fue construir una ecuación para mujeres para predecir el  $\text{VO}_2$  máx., usando el formato del protocolo de Fox en cicloergómetro, pero a diferentes intensidades (Parte 1). Además, fue realizada una validación de la ecuación de regresión sobre una muestra independiente de mujeres (Parte 2). Los sujetos ( $n=63$ ) completaron un protocolo de ejercicio incremental y discontinuo hasta la fatiga. La intensidad del ejercicio comenzó a 90 W, la duración de cada etapa fue de 5 min, las etapas estuvieron separadas por 10 min de descanso, y la potencia era incrementada a razón de 30 W/etapa. Los datos de FC fueron recolectados en las cargas de trabajo de 90, 120, 150, y 180 W. Fueron desarrollados análisis de regresión lineal simple y múltiple. La FC a 90 W ( $r=-0.69$ ) predijo significativamente el  $\text{VO}_2$  máx. (mL/min); sin embargo, cuando fueron adicionados la edad y el peso corporal a la FC a 90 W, como variables independientes, entonces la ecuación de regresión múltiple fue: Ecuación de Fox para la mujer:  $y = 4093 - (35 \times \text{edad [años]}) + (9 \times \text{Peso Corporal [kg]}) - (11 \times \text{FC [lat/min]})$ . Donde,  $y = \text{VO}_2$  máx. en mL/min; ( $P<0.0001$ ),  $r = 0.74$ ,  $r^2 = 0.55$ ; EES = 250 mL/min. Para la validación cruzada, 15 mujeres completaron el protocolo de Fox CE para la mujer (90 W), y luego se ejercitaron hasta el agotamiento. No hubo diferencias significativas entre el  $\text{VO}_2$  máx. medido y el predicho a partir de la ecuación de Fox para la mujer (Media  $\pm$ DS = 2351  $\pm$ 293; 2406  $\pm$ 217 mL/min;  $t=-1.45$ ,  $P<0.1690$ ,  $r=0.74$ ). El  $\text{VO}_2$  máx. predicho a partir de la ecuación de Fox para la mujer y el predicho a partir de los datos del grupo de validación usando otras ecuaciones CE fueron comparados con respecto la medida de criterio ( $\text{VO}_2$  máx. medido). La ecuación de Fox para la mujer predijo bien el  $\text{VO}_2$  máx. medido ( $r = 0.88$ ; EES = 109 mL/min, CV = 9.0 %). Es sugerido que cuando se use el protocolo de Fox en cicloergómetro, la predicción del  $\text{VO}_2$  máx. para la mujer sea estimada a partir de la ecuación de Fox para la mujer.

**Palabras Clave:** predicción, mujer, evaluación de ejercicio sub-máxima, frecuencia cardiaca

## INTRODUCCIÓN

La evaluación del ejercicio sub-máximo es frecuentemente usada para predecir el máximo consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$  máx.) a partir de una frecuencia cardiaca individual (FC) a una cierta carga de trabajo (3-5). El consumo máximo de oxígeno es luego predicho usando una ecuación de regresión establecida (3). Aunque la exactitud y validez de estas evaluaciones sub-

máximas ha sido cuestionada (4, 5), las mismas son todavía muy usadas para la predicción del  $\text{VO}_2$  máx. en marcos prácticos (e.g., centros de aptitud física). Los problemas inherentes a las evaluaciones sub-máximas, como la no linealidad del  $\text{VO}_2$  y la FC por sobre un lapso completo de esfuerzo, el cambio en la frecuencia cardiaca no relacionado directamente a la carga de trabajo, y la especificidad de la población, son comunes. Sin embargo, las evaluaciones sub-máximas son útiles para estimar la aptitud aeróbica sin un excesivo estrés para los sujetos, y son más apropiadas para los ancianos o los individuos con enfermedades cardiovasculares o metabólicas conocidas. Las evaluaciones sub-máximas son administradas más fácilmente, y de manera más barata y más rápida a grandes números de sujetos (3), y son más exactas cuando se usan para evaluar repetidamente la aptitud de un individuo en respuesta a una intervención (3-6).

En 1973, Fox (1) propuso un método simple para predecir el  $\text{VO}_2$  máx. a partir de la respuesta de la frecuencia cardiaca de varones de edad universitaria a partir de la respuesta de la frecuencia cardiaca a 5 min de ejercicio en cicloergómetro a 150 W (Tabla 1). Ha sido sugerido que esta ecuación podría ser usada con mujeres, sin embargo, la potencia de 150 W puede ser muy alta para muchas mujeres (2). El protocolo de Fox difiere de otros en que la velocidad de pedaleo es de 60 rev/min. Astrand y Rodahl (7) han sugerido que las frecuencias de pedaleo óptimas (para la economía) están entre 40-70 rpm. De este modo, el establecimiento de una ecuación para la mujer a diferentes rev/min con respecto al patrón de 50 rev/min, y a menores potencias, permitirían al evaluador más flexibilidad para elegir un protocolo apropiado para el sujeto que va a ser medido, y para sus objetivos de evaluación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Parte 1

#### Desarrollo de una Ecuación para la Mujer

Los sujetos (n =63) fueron reclutados en dos universidades del medio-oeste de los Estados Unidos. Todos los sujetos completaron una declaración de consentimiento y un cuestionario de historia médica. El protocolo discontinuo en bicicleta ergométrica consistió de series de ejercicio de 5 min sobre una bicicleta ergométrica Monark. La intensidad de ejercicio comenzó a 90 W, la duración de cada etapa fue de 5 min, las etapas estaban separadas por 10 min de descanso, y la potencia se incrementaba a razón de 30 W/etapa hasta el agotamiento. Fue mantenida una velocidad constante de 60 rev/min a través de toda la evaluación. La sesión de evaluación terminaba cuando el sujeto no podía mantener más la cadencia de 60 rpm, alcanzaba la fatiga volitiva, alcanzaba una nivelación o disminución del  $\text{VO}_2$  máx. con un incremento de las cargas de trabajo, y/o alcanzaba un índice de intercambio respiratorio (RER) mayor a 1.0 (8).

Autor	Ecuación	Sexo
Fox (1)	$\text{VO}_2$ máx. (mL/min) = 6300 - (19.26 x FC [@150 W, lat/min])	Hombres
Jones (12)	$\text{VO}_2$ máx. (L/min) = (0.046 x Talla [cm]) - (0.021 x Edad [años]) - (0.62 x Sexo) - 4.31 donde para el sexo, hombres =0, mujeres = 1	Hombres, Mujeres
Storer (13)	$\text{VO}_2$ máx. (mL/min) = (9.39 x Watts máx.) + (7.7 x Peso Corporal [kg]) - (5.88 x edad [años]) + 136.7	Mujeres
Astrand-Ryhrning (4, 14)	$\text{VO}_2$ máx. (L/min) = $\text{VO}_2$ submáximo x [((220-edad [años])-72) / (FC submáx. -72)] donde el $\text{VO}_2$ submáximo (L/min) = (Potencia [Watts] x 0.012) + 0.3	Mujeres

**Tabla 1.** Ecuaciones usadas para comparar la predicción del  $\text{VO}_2$  máx. con la ecuación de Fox para la mujer.

La frecuencia cardiaca fue registrada por medio de un electrocardiograma de 12 derivaciones (Quinton 4000 o Marquette

Case I) durante los minutos 4 y 5 de carga de trabajo. El  $\text{VO}_2$  máx. fue determinado por medio de un análisis de los gases expirados usando una Carta de Mediciones Metabólicas Sensormedics 2900 o Gould 9000 IV. Los procedimientos de calibración estándar fueron completados para cada sistema. Además, todos los sujetos completaron mediciones de peso corporal, talla y peso hidrostático. El volumen residual de las mujeres fue estimado a partir de la capacidad vital usando la fórmula de Wilmore (9), y el porcentaje de grasa fue determinado usando la ecuación de Brozek (10).

Fueron calculadas ecuaciones de regresión simple y errores de estimación estándar de las estimaciones para la FC y las potencias de 90 W y 120 W (11). Fueron calculados análisis de regresión múltiple para determinar si la adición de otras variables (e.g., edad, peso corporal, talla, % de grasa corporal, etc.) incrementaría la fuerza de la predicción (11). Fueron calculados estadígrafos descriptivos para todas las variables para este grupo original, usado para establecer la ecuación de predicción ( $n = 63$ ) (11).

### **Confiabilidad de las Mediciones**

Con el objeto de asegurar que las diferencias en las mediciones no ocurrieron debido al sitio de evaluación, fueron elegidas muestras de 15 participantes de cada lugar, y fueron comparados los consumos de oxígeno a 90 W. Cuando fue calculado un test-t independiente, no hubo diferencias significativas en el  $\text{VO}_2$  debido al sitio de evaluación ( $df = 28$ ,  $t = 1.353$ ,  $P = 0.1870$ ; Lugar 1 =  $1394 \pm 138$  mL/min, Lugar 2 =  $1324 \pm 146$  mL/min (11). De este modo, los datos fueron juntados a partir de los dos sitios de evaluación.

## **Parte 2**

### **Validación Cruzada de la Ecuación de Fox para la Mujer**

Para validar la ecuación, fue evaluado un grupo separado de sujetos (11). 55 mujeres completaron el protocolo de Fox para la mujer y luego anduvieron hasta el agotamiento sin los intervalos de descanso de 10 min entre cada etapa, usando cargas incrementales de 30 W. El  $\text{VO}_2$  máx. y la FC fueron determinados durante cada minuto de las evaluaciones como fue descrito en la parte 1. El  $\text{VO}_2$  máx. predicho para cada sujeto fue calculado usando ecuaciones de regresión múltiple establecidas para el grupo original de mujeres ( $n = 63$ ). Un test-t apareado fue calculado para comparar el  $\text{VO}_2$  máx. medido y predicho. Fueron calculados estadígrafos descriptivos para todas las variables para el grupo de validación cruzada ( $n = 15$ ). El error porcentual promedio fue calculado de la siguiente manera:  $(\text{VO}_2 \text{ máx. predicho} - \text{VO}_2 \text{ máx. medido}) / \text{VO}_2 \text{ máx. medido} \times 100$ .

Los datos de FC a 90 W también fueron usados para estimar el  $\text{VO}_2$  máx. usando otras ecuaciones para cicloergómetro para predecir el  $\text{VO}_2$  máx. (Tabla 2).

Fueron calculadas mediciones repetidas de ANOVA a una vía con un test post hoc HSD Tukey para determinar si había diferencias entre los valores  $\text{VO}_2$  máx. predicho a partir de las ecuaciones de regresión múltiple. Fueron calculados coeficientes de correlación de Pearson entre todos los valores de  $\text{VO}_2$  máx. predicho y medido.

	Grupo Original (n =63)	Grupo de Validación Cruzada (n =15)
<b>Características Físicas</b>		
Edad (años)	20.8 ±2.0	19.5 ±1.4 <sup>c</sup>
Talla (cm)	165.86 ±8.89	172.97 ±9.14
Peso (kg)	59.7 ±8.5	62.9 ±11.0
% de Grasa Corporal	23.2 ±5.2	22.3 ±5.2
<b>Trabajo Submáximo (90 W)<sup>a</sup></b>		
FC (lat/min)	150 ±21	143 ±17
% FC máxima (predicha por la edad)	75 ±10	71 ±8
<b>Trabajo Máximo</b>		
VO <sub>2</sub> predicho (mL/min) <sup>b</sup>	2256 ±272	2406 ±217 <sup>D</sup>
VO <sub>2</sub> medido (mL/min)	2215 ±373	2351 ±293 <sup>D</sup>
VO <sub>2</sub> medido (ml/kg/min)	37.5 ±6.6	36.6 ±5.2 <sup>D</sup>

**Tabla 2.** Características físicas y respuestas fisiológicas de los datos del grupo original y el grupo de mujeres de validación cruzada que completaron el protocolo de Fox en cicloergómetro (90 W) para el trabajo sub-máximo y máximo (n =63).

<sup>a</sup>Mediciones tomadas durante el minuto 5 de trabajo. <sup>b</sup>Usaron la ecuación de Fox para la mujer (Darby y Pohlman). <sup>c</sup>Significativamente menos que el grupo original;  $P < 0.05$ . <sup>D</sup>Ausencia de diferencias significativas entre el VO<sub>2</sub> máx. predicho y el medido.

## RESULTADOS

### Parte 1

Las medias y desvíos estándar de las características físicas y las respuestas fisiológicas a las cargas de trabajo sub-máximas (90 W) y máximas para el grupo original son presentadas en la Tabla 3. Cuando fueron analizadas las frecuencias cardiacas a diferentes cargas de trabajo, la FC a 90 W y a 120 W predijeron significativamente el VO<sub>2</sub> máx. cuando el mismo fue expresado en mL/min, pero no predijeron significativamente al VO<sub>2</sub> máx. cuando el mismo fue expresado relativo al peso corporal en mL/kg/min. La FC a 90 W fue elegida como la mejor variable para predecir el VO<sub>2</sub> máx. en mL/kg/min, debido a que de los 63 participantes solo 31 tuvieron FC <170 para 120 W. A 90 W los sujetos estuvieron trabajando a un VO<sub>2</sub> de 1340 ±150 mL/min, el cual estuvo al 64 ±14 % del VO<sub>2</sub> máx. Además, a 90 W los resultados de la regresión lineal simple FC-VO<sub>2</sub> fueron: n =63, r = -0.69, EES =270 mL/min versus a 120 W, n =31, r = -0.54, EES =257 mL/min.

Ecuación	n	Variables	r	EES (mL/min)	VO <sub>2</sub> máx. ± DS	Coefficiente de Variación (%) <sup>D</sup>
Valor Medido	---	---	---	---	2351 ± 293	12.5
Fox, mujeres	63	FC-90 W, BS, edad	0.74	250	2406 ± 217	9.0
Fox, hombres <sup>B</sup>	87	FC-150 W	0.76	246	3552 ± 331*	9.3
Astrand-Rhyming	44	FC submáxima, Carga de Trabajo submáxima			2650 ± 645	24.3
Storer <sup>C</sup>	116	Watts <sub>max.</sub> , Peso Corporal, Edad	0.93	147	1915 ± 86*	4.5

**Tabla 3.** Comparación del VO<sub>2</sub> máx. medido y predicho a partir de varias ecuaciones con cicloergómetro usando los datos del grupo<sup>A</sup> de validación cruzada.

\* $P < 0.05$ ; significativamente diferente con respecto al valor medido. <sup>A</sup>Calculado a partir del grupo de validación cruzada ( $n = 15$ ).

<sup>B</sup>Calculado a partir de la FC-90 W. <sup>C</sup>Calculado a partir de los Watts máximos 150 W. <sup>D</sup>CV = (DS/media)\*100 para VO<sub>2</sub> máx. calculado a partir de cada ecuación.

Los resultados de la ecuación de regresión múltiple indicaron que el peso corporal y la edad también predijeron significativamente el VO<sub>2</sub> máx. junto con la FC a 90 W. La ecuación de regresión múltiple fue:

$$\text{VO}_2 \text{ máx. (mL/min)} = 4093 - (35 \times \text{edad [años]}) + (9 \times \text{Peso Corporal [kg]}) - (11 \times \text{FC [lat./min]})$$

( $P < 0.0001$ ),  $r = 0.74$ , EES = 250 mL/min).

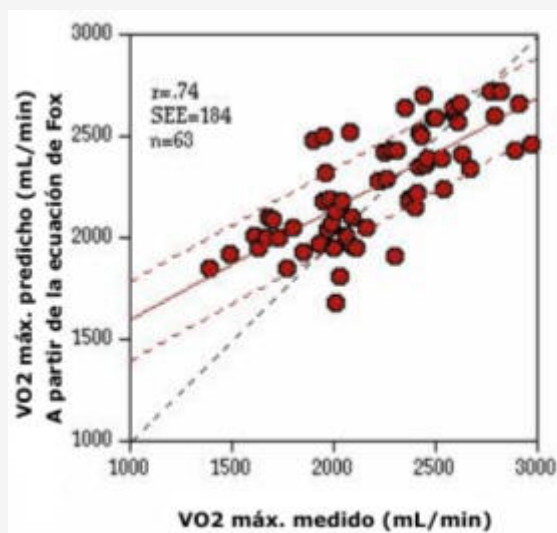
La media para el VO<sub>2</sub> máx. medido fue 2215 ± 373 mL/min y es mostrada en la Tabla 2. La media para el VO<sub>2</sub> máx. predicho usando los 63 sujetos fue 2256 ± 272 mL/min. No hubo diferencias significativas entre el VO<sub>2</sub> máx. predicho y el medido ( $df = 62$ ,  $t = -1.326$ ,  $P = 0.1896$ ). La FC máxima fue 189 ± 9 lat./min. La regresión lineal simple para el VO<sub>2</sub> máx. predicho versus el VO<sub>2</sub> máx. medido para los 63 participantes de la muestra original es presentada en la Figura 1 con una  $r = 0.74$  y un EES = 184 mL/min.

## Parte 2

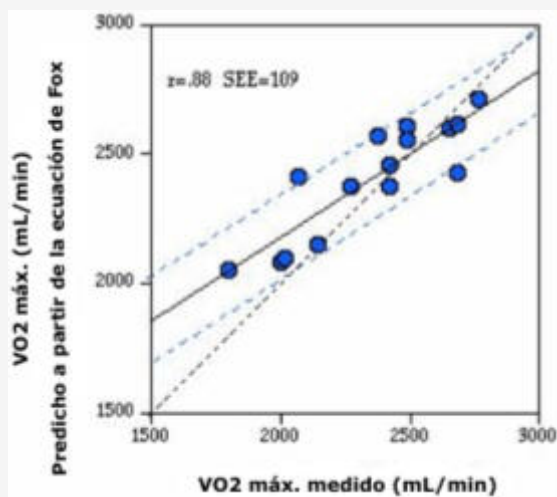
Un grupo separado de sujetos (i.e., el grupo de validación cruzada) fue reclutado para comparar el VO<sub>2</sub> máx. medido con el VO<sub>2</sub> máx. predicho calculado usando la ecuación de Fox para la mujer. No hubo diferencias significativas entre los valores del VO<sub>2</sub> máx. predicho y el VO<sub>2</sub> máx. medido para este grupo de mujeres de validación (ver Tabla 2) con una diferencia promedio = 55 mL/min,  $df = 14$ ,  $t = -1.450$ ,  $P = 0.1690$ . Todas las otras características físicas entre el grupo de la ecuación original y el grupo de validación no fueron significativamente diferentes con excepción de la edad (ver Tabla 2). La regresión lineal simple para el VO<sub>2</sub> máx. predicho versus el VO<sub>2</sub> máx. medido para el grupo de validación cruzada es presentada en la Tabla 2.

Debido a que ha sido sugerido que la ecuación de Fox para el hombre podría ser usada para la mujer, los errores de la ecuación de Fox para el hombre versus la ecuación de Fox para la mujer para predecir el VO<sub>2</sub> máx. del grupo de validación cruzada son presentados en la Figura 3. Los errores (i.e., diferencias entre cada VO<sub>2</sub> máx. predicho y medido) son graficados versus el VO<sub>2</sub> máx. medido. Como puede ser observado los errores de la ecuación de Fox para el hombre son mucho más grandes (i.e., aproximadamente 500-1600 mL/min) que los errores de las ecuaciones de Fox para la mujer (i.e., no más de 200 mL/min arriba o debajo de los valores medidos). Por lo tanto, la ecuación de Fox para la mujer predice mejor el VO<sub>2</sub> máx. medido para estas mujeres.

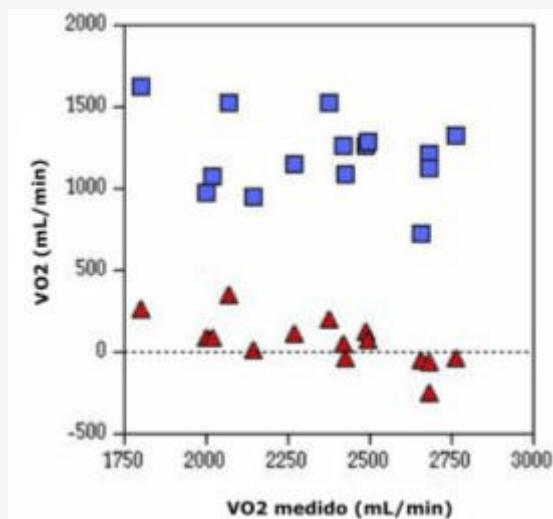
Para comparar la ecuación de Fox para la mujer con otros protocolos, fueron usados datos de HR y demográficos en las otras ecuaciones CE (cicloergómetro). Hubo una diferencia significativa entre el VO<sub>2</sub> máx. predicho y el VO<sub>2</sub> máx. medido (ver Tabla 3) ( $F = 54.11$ ,  $P < 0.001$ ). Los test HSD Tukey revelaron que el VO<sub>2</sub> máx. predicho calculado a partir de la ecuación de Fox para la mujer no fue significativamente diferente del VO<sub>2</sub> máx. medido, que era la medición de criterio. Todos los otros VO<sub>2</sub> máx. promedio obtenidos a partir de otras ecuaciones excepto la de Astrand-Ryhming (4) fueron significativamente diferentes con respecto al VO<sub>2</sub> máx. medido. Los coeficientes de correlación, errores de estimación estándar, y porcentajes de error promedio para el VO<sub>2</sub> máx. predicho y el VO<sub>2</sub> máx. medido son presentados en la Tabla 4.



**Figura 1.** Ecuación de regresión del VO<sub>2</sub> máx. medido versus el VO<sub>2</sub> máx. predicho a partir de la ecuación de Fox para la mujer ( $n = 63$ ):  $VO_2 \text{ máx. (mL/min)} = 4093 - (35 \times \text{edad [años]}) + (9 \times \text{Peso Corporal [kg]}) - (11 \times \text{HR (lat/min)})$ .



**Figura 2.** Gráfica del grupo de validación cruzada del VO<sub>2</sub> máx predicho usando la ecuación de Fox para la mujer versus el VO<sub>2</sub> máx medido.



**Figura 3.** Errores del VO<sub>2</sub> máx. predicho a partir de la ecuación de Fox para hombres y mujeres usando los datos del grupo de validación cruzada (n =15).

Ecuación	r	EES (ml.min <sup>-1</sup> ) <sup>A</sup>	% de EES Promedio <sup>B</sup>	% de Error Promedio <sup>C</sup>
Fox para mujeres	0.88*	109	4.6	2.3
Fox para hombres	0.71*	241	10.3	51.1
Jones	0.13	423	18.0	11.3
Astrand-Rhyming	0.72*	465	19.8	12.7
Storer	0.62*	70	3.0	-18.5

**Tabla 4.** Correlaciones entre el VO<sub>2</sub> máx. de criterio y el VO<sub>2</sub> máx. predicho.

\*P<0.05; <sup>A</sup>EES = $[(Y-Y')^2/N]-1/2$ ; <sup>B</sup>(EES/ VO<sub>2</sub> máx. medido promedio) x 100; <sup>C</sup>(VO<sub>2</sub> máx. predicho - VO<sub>2</sub> máx. medido / VO<sub>2</sub> máx. medido) x 100.

## DISCUSIÓN

Aunque existen problemas inherentes al uso de evaluaciones sub-máximas para predecir el VO<sub>2</sub> máx., los resultados del presente estudio indican que una ecuación de regresión múltiple separada fue necesaria para predecir el VO<sub>2</sub> máx. para la mujer usando el protocolo de Fox en bicicleta ergométrica (90 W para 5 minutos a 60 rev/min). Una carga de trabajo inicial de 150 W fue muy grande para muchas de las mujeres y no provocó una FC sub-máxima (i.e., <170 lat./min). Además, Storer (13) reportó, ha sido bien establecido que el VO<sub>2</sub> máx. es más bajo en las mujeres si es expresado en términos absolutos (mL/min). Esto debe ser debido al hecho que la cantidad de masa muscular en las piernas determina frecuentemente la producción de trabajo total en una bicicleta ergométrica. En general, la mujer tiene menos masa muscular total, menores concentraciones de hemoglobina, y menores gastos cardíacos máximos que los hombres y de este modo, podría no tener un VO<sub>2</sub> máx. tan alto sobre el cicloergómetro. Como ha destacado Wells (15) hay más similitudes que diferencias entre los sexos, y algunas mujeres podrían ser capaces de mantener 150 W por 5 min, correspondientes del protocolo de Fox (hombres) (1). Sin embargo, basándose en los resultados del presente estudio, estas diferencias generales en las características fisiológicas afectan mayormente el rendimiento máximo, cambian la pendiente de la línea de regresión FC-VO<sub>2</sub> y así, se necesita una ecuación específica para la mujer.

## Errores a partir de Suposiciones de Evaluaciones Sub-máximas

El error que puede ser asociado con la predicción del  $\text{VO}_2$  máx. a partir de los datos de la FC se producen debido a violaciones de las suposiciones de las evaluaciones sub-máximas, que son las siguientes: 1. Un  $\text{VO}_2$  máx. estable es alcanzado a una carga de trabajo dada; 2. Existe una relación directa para la FC y el  $\text{VO}_2$  máx., y los puntos de los datos de la FC son medidos en una porción de la línea de regresión FC- $\text{VO}_2$  que es lineal (i.e., a una carga de trabajo >45 % del  $\text{VO}_2$  máx. de modo que los incrementos en el  $\text{VO}_2$  se producen debido a incrementos en la FC y no a incrementos del volumen de eyección); 3. la frecuencia cardiaca es consistente para una edad dada; 4. la eficiencia mecánica para completar el ejercicio es esencialmente la misma para todos los sujetos (3).

De estos criterios que pudieron ser medidos o controlados en el presente estudio, los primeros dos criterios fueron logrados por el grupo original, ya que la FC promedio fue de 150 (lat/min) (i.e, entre 120 y 175 lat/min) y la carga de trabajo relativa fue del 64% del  $\text{VO}_2$  máx. Para el tercer criterio, la FC máxima medida para los sujetos fue de  $189 \pm 9$  lat/min mientras que la frecuencia cardiaca máxima estimada (220-edad) hubiera sido de aproximadamente 198 lat/min. Los sujetos del presente estudio detuvieron el ejercicio de ciclismo de manera característica cuando la carga de trabajo no pudo seguir siendo movida. McArdle, Match y Pechar (16) han reportado que el  $\text{VO}_2$  máx. es un 6-11 % más bajo en el cicloergómetro en comparación con la cintaergómetro. En el presente estudio, esto fue verdad para la FC máxima cuando, los valores medidos del cicloergómetro fueron comparados a la FC máxima predicha por la edad. Sin embargo, la cantidad de error introducido por la variabilidad inter-sujeto en la FC máxima cuando se usan ecuaciones de predicción sub-máximas ha sido reportada por Davies (17) como baja, con un coeficiente de variación de  $\approx 5\%$ .

Para el cuarto criterio, la consistencia del trabajo mecánico entre sujetos no fue medida en el presente estudio, pero el  $\text{VO}_2$  máx. submáximo registrado fue de  $1350 \pm 150$  mL/min a 90 W. El coeficiente de variación, una medida de variación relativa, para esta potencia fue de  $\approx 11\%$ . El coeficiente de variación para el grupo original de Fox para 150 W fue de  $\approx 6\%$ . Un número de factores pueden afectar la eficiencia mecánica (i.e., largo de las piernas, radio de la palanca, uso de punteras), pero no son comúnmente controladas en una evaluación sub-máxima. Podría ser interesante destacar que el  $\text{VO}_2$  máx. sub-máximo a 90 W, estimado a partir de otras ecuaciones para cicloergómetro que no son específicas para el sexo y que han sido establecidas para predecir el  $\text{VO}_2$  a intensidades sub-máximas de ejercicio a partir de los datos de la potencia, fue de  $1289 \pm 30$  mL/min para la ecuación del ACSM (3), y  $1495 \pm 30$  mL/min para la ecuación de Lang et. al (18) y Latin et al. (19) establecidas para hombres. Estos resultados podrían proporcionar evidencia circunstancial acerca de que en el presente estudio, las mujeres trabajaron a un  $\text{VO}_2$  más bajo de lo que podría haber sido predicho para hombres a la misma carga de trabajo, y por lo tanto se necesitaría una ecuación específica para el sexo. Además, Astrand-Ryhming (4) reportaron que la mujeres alcanzan un  $\text{VO}_2$  más bajo a cualquier carga de trabajo en comparación con los hombres (4) y esto podría ser otra razón para usar la ecuación de Fox para la mujer, específica para el sexo.

## Comparación con las otras Ecuaciones de Predicción en Cicloergómetro

Dadas estas limitaciones y suposiciones de las evaluaciones sub-máximas, cuando fue comparado el  $\text{VO}_2$  máx. predicho a partir de la ecuación de Fox para la mujer usando los datos del grupo de validación, con otras ecuaciones (ver Tabla 3 y 4), el EES, y el promedio porcentual de EES fueron comparables a otros protocolos en cicloergómetro. En la revisión de las ecuaciones de predicción sub-máximas en cicloergómetro, Cardus (20) reportó que usualmente hay una diferencia de 300 mL/min entre el  $\text{VO}_2$  máx. estimado y el real, a partir de los protocolos en cicloergómetro, siendo las estimaciones menores que el  $\text{VO}_2$  máx. medido. En el presente estudio, la diferencia promedio entre el  $\text{VO}_2$  máx. medido y el predicho para el grupo original fue de 41 mL/min, y para el grupo de validación la misma fue de 55 mL/min. De manera contraria a Cardus (20), la ecuación propuesta para la mujer sobreestimo en vez de subestimar el  $\text{VO}_2$  máx. Las otras ecuaciones para CE elegidas fueron: Storer (mujer) (13); Jones (mujer) (12); Fox (hombre) (1) y Astrand-Ryhming (4, 14), debido a que las mismas eran comparables en una o más variables de sexo, tiempo, revoluciones de los pedales, y cargas de trabajo usadas en la ecuación de Fox para la mujer. Debería ser destacado que el protocolo de Storer (13) es una evaluación de carga de trabajo máxima, ya que el  $\text{VO}_2$  máx. es predicho a partir de una carga de trabajo máxima en Watts. Las cargas de trabajo máximas para el grupo de validación fueron usadas para predecir el  $\text{VO}_2$  máx. usando la ecuación de Storer. Para la ecuación de Jones (12), solo son usadas la edad y la talla y no los datos sub-máximos reales (e.g., FC). Aunque las ecuaciones son similares en cuanto a que son ecuaciones de predicción, las mismas no son iguales a las ecuaciones que usan una FC sub-máxima para predecir el  $\text{VO}_2$  máx. Estas otras ecuaciones fueron presentadas con propósitos de comparación, y no como sustitutos del presente protocolo de Fox para la mujer. La intención del presente estudio fue desarrollar una ecuación de predicción submáxima para la mujer, en caso que la ecuación de Fox para el hombre no fuera apropiada.

Aunque el valor r para la ecuación de Fox para la mujer es moderado ( $r = .74$ ) es comparable a otros valores r para la ecuación de Fox para el hombre (ver Tabla 3) (1). Fox (1) estableció que las ventajas de usar el protocolo de Fox fueron que el problema con la relación lineal de la FC y el  $\text{VO}_2$  es anulado debido a que un punto es usado para predecir el  $\text{VO}_2$



máx., y a que es usada una velocidad de pedaleo diferente, 60 rev./min. Esta velocidad de pedaleo es mayor que algunos protocolos en cicloergómetro, los cuales usualmente usan 50 rev./min. Sharkey (21) ha indicado que los sujetos desentrenados realizan mejor la evaluación a 60-70 rev./min, debido a que mayores cargas de trabajo no pueden ser sostenidas tan fácilmente a 50 rev./min. Además, la diferencia entre el presente protocolo y los muy usados protocolos de Astrand-Rhyming (4, 14) es que el presente método selecciona un nivel de trabajo patrón mientras que el método de Astrand-Rhyming provoca una FC de 125-170 con ajustes de la carga de trabajo durante la evaluación en CE, en caso de que fuera necesario.

## Conclusiones

Sin tener en cuenta los problemas con las evaluaciones sub-máximas, las mismas son todavía muy usadas en el campo de la fisiología del ejercicio como una medición de la aptitud cardiorrespiratoria, especialmente cuando no pueden ser realizadas evaluaciones máximas. La información de las ecuaciones de predicción sub-máximas es mejor usada en las evaluaciones intra-individuos para averiguar la aptitud física del individuo sin el costo, riesgo, tiempo, y esfuerzo para el sujeto (3). A partir de los datos presentados, si es usado el protocolo de Fox en cicloergómetro con mujeres, es sugerido que el  $\text{VO}_2$  máx. sea predicho a partir de la ecuación de Fox para la mujer en vez la ecuación para hombres, Como sugirió Heyward (2), en esta muestra de participantes fue demostrado que para la mujer es necesaria una carga de trabajo más baja, sin embargo, estas respuestas sub-máximas de la FC a 90 W no deberían ser usadas en la ecuación original de Fox (1) para el hombre. El  $\text{VO}_2$  máx. predicho debería ser interpretado cuidadosamente y usado dentro de los lineamientos y limitaciones de cualquier evaluación sub-máxima en cicloergómetro.

## Agradecimientos

A los autores les gustaría agradecer a Heping Zhang y Michelle Cwiklinski por la ayuda en la recolección de datos, y la Dr. Michael Liang por la ayuda en la edición.

**Dirección para correspondencia:** Lynn A. Darby, Ph.D., FACSM, 215 Eppler South, Bowling Green State University, Bowling Green, OH 43403, Phone (419) 372-6903, Fax: (419) 372-2877, correo electrónico: ldarby@bgsu.edu; <http://www.bgsu.edu/departments/hmsls>

## REFERENCIAS

1. Fox E.L (1973). A simple, accurate technique for predicting maximal aerobic power. *J Appl Physiol*; 35: 914-916
2. Heyward V.H (1998). Advanced fitness assessment & exercise prescription. *Champaign, IL: Human Kinetics*
3. American College of Sports Medicine (1995). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. *Baltimore: Williams & Wilkins*
4. Astrand P-O, Ryhming I (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol*; 7: 218-221
5. Kasch F.W (1984). The validity of the Astrand and Sjøstrand submaximal tests. *Phys Sports Med*; 12: 47-52
6. Montoye H.J., Ayen T., Washburn, R.A (1986). The estimation of  $\text{VO}_2$  max from maximal and submaximal measurements in males, age 10-39. *Res Qtrly*; 57: 250-253
7. Astrand P-O, Rodahl K (1986). Textbook of work physiology: physiological bases of exercise. *New York: McGraw-Hill book Company*, 363-390
8. Fox E.L, Bowers R.W., Foss M.L (1988). The physiological basis of physical education and athletics. *Philadelphia: Saunders College Publishing*
9. Wilmore J.H (1969). The use of actual, predicted and constant residual volumes in the assessment of body composition by underwater weighing. *Med Sci Sports*; 1: 87-90
10. Brozek J., Grande F., Anderson J.T., Keys A (1963). Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci*; 110: 113-140
11. Vincent, W.J (1995). Statistics in kinesiology. *Champaign, IL: Human Kinetics*
12. Jones N.L., Makrides L., Hitchcock C., Chypchar T., McCartney N (1985). Normal standard for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis*; 131: 700-708
13. Storer T.W., Davis J.A., Caiozzo V.J (1990). Accurate prediction of  $\text{VO}_2$ max in cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc* 22: 704-712
14. Adams, G.M (1988). Exercise physiology laboratory manual. *Boston, MA: The McGraw-Hill Companies, Inc.*,147
15. Wells C (1985). Women, sport & performance. *Champaign, IL: Human Kinetics Publishers*
16. McArdle, Katch, Pecher (1973). Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for  $\text{VO}_2$  max. *Med Sci Sports Exerc*; 5: 156-160
17. McArdle, Katch, Pecher (1973). Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for  $\text{VO}_2$  max. *Med Sci Sports Exerc*; 5: 156-160

18. Lang P.B., Latin R.W., Berg K.E., Mellion M.B (1992). The accuracy of the ACSM cycle ergometry equation. *Med Sci Sports Exerc* 24:272-276
19. Latin R.W., Berg K.E., Smith P., Tolle R., Woodby-Brown S (1993). Validation of a cycle ergometry equation for predicting steady-rate VO<sub>2</sub>. *Med Sci Sports Exerc* 25: 970-974
20. Cardus D (1978). Exercise testing: methods and uses. In: RS Hutton, editor, *Exerc Sport Sci Rev. USA: Franklin Institute Press*, 6: 59-103
21. Sharkey B.J (1988). Specificity of testing. In: Grana WA, editor. *Advances in sports medicine and fitness. Chicago, IL: Year Book Medical Publishers*, 23-44

### **Cita Original**

Lynn A. Darby and Roberta L. Pohlman. Prediction of max VO<sub>2</sub> for women: Adaptation of the Fox cycle ergometer protocol. *JEPonline*; Vol. 2, No. 4, 1999.