



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

**Validación de la frecuencia cardíaca de recuperación
para estimar el consumo máximo de oxígeno
en la prueba de caminata de seis minutos**

Jaime Vásquez Gómez



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència [Reconeixement 3.0 Espanya de Creative Commons](#).

Ésta tesis doctoral está sujeta a la licencia [Reconocimiento 3.0 España Creative Commons](#).

This doctoral thesis is licensed under the [Creative Commons Attribution 3.0 Spain License](#).



Universidad de Barcelona

Facultad de Educación

Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña

Centro de Barcelona

Programa de Doctorado EEES

Actividad Física, Educación Física y Deporte

**Validación de la frecuencia cardíaca de recuperación
para estimar el consumo máximo de oxígeno
en la prueba de caminata de seis minutos**

Tesis doctoral presentada por:

Jaime Vásquez Gómez

Dirigida por:

Dr. Josep María Padullés Riu

Dr. Marcelo Eduardo Castillo Retamal

Tutorizada por:

Dr. Miguel Ángel Torralba Jordán

Para optar al título de:

Doctor por la Universidad de Barcelona

Barcelona, 2017

© Jaime Vázquez Gómez

Barcelona, Catalunya – 2017

Universitat de Barcelona

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC) – Centre de Barcelona

A mi madre, la señora Nora Adriana Gómez González

A mi padre, el señor Jaime Raúl Vásquez Quijada

ÍNDICE

Agradecimientos.....	15
Motivaciones.....	16
Abreviaturas.....	21
Glosario de términos.....	22
Resumen.....	25
1. INTRODUCCIÓN.....	31
1.1 Estudios preliminares.....	35
1.2 Preguntas de investigación.....	46
1.3 Hipótesis.....	46
1.4 Objetivo general.....	46
1.4.1 Objetivos específicos.....	46
1.5 Justificación.....	47
2. MARCO REFERENCIAL.....	53
2.1 Comportamiento de la frecuencia cardíaca en fase de ejercicio.....	53
2.2 Frecuencia cardíaca en fase de recuperación.....	57
2.3 Consumo de oxígeno en el ejercicio submáximo y máximo.....	65
2.4 Relación entre frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno.....	80
2.5 Predicción del VO ₂ máx. a través de la frecuencia cardíaca de recuperación...	82
3. MATERIAL Y MÉTODO.....	91
3.1 Diseño del estudio.....	91
3.2 Participantes.....	91
3.3 Instrumentos.....	92
3.3.1 Test cardiorrespiratorios.....	92
3.3.1.1 Test de campo.....	92
3.3.1.1.1 <i>Prueba de Caminata de Seis Minutos</i>	92
3.3.1.1.2 <i>Test de Course Navette</i>	93
3.3.1.2 Test en ergómetros.....	93
3.3.1.2.1 <i>Test de Bruce</i>	93
3.4 Estudio uno: caracterización de la PC6M y Course Navette.....	93
3.5 Estudio dos: fiabilidad de la PC6M y Course Navette.....	94

3.6 Estudio tres: validación de la FCr-PC6M para estimar el VO ₂ máx. en EEf	95
3.7 Estudio cuatro: validación de la FCr-PC6M para estimar el VO ₂ máx. en EGCAF.....	98
3.8 Análisis estadístico.....	102
3.9 Cronograma de trabajo.....	103
4. RESULTADOS.....	107
4.1 Estudio uno: caracterización de los test.....	107
4.2 Estudio dos: confiabilidad de los test.....	110
4.3 Estudio tres: validación de la FCr en EEf.....	119
4.4 Estudio cuatro: validación de la FCr en EGCAF.....	136
5. DISCUSIÓN.....	157
5.1 Pruebas de caminata de esfuerzo submáximo.....	157
5.2 Pruebas de carrera de esfuerzo máximo.....	170
5.3 Relación entre FCr y VO ₂ máx.	175
5.4 Ecuaciones para estimar el VO ₂ máx.	176
6. CONCLUSIÓN.....	185
6.1 Supuestos, limitaciones y proyecciones.....	186
BIBLIOGRAFÍA.....	189
Anexo 1. PAR-Q.....	215
Anexo 2. Consentimiento informado para EEf.....	218
Anexo 3. Consentimiento informado para EGCAF.....	220
Anexo 4. Patrocinio de consentimiento informado para EGCAF.....	222
Anexo 5. Patrocinio de consentimiento informado para EEf.....	223
Anexo 6. Documento informativo para participantes EEf.....	225
Anexo 7. Documento informativo para participantes EGCAF.....	227

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación CAFRA – Course Navette en EEF hombres y mujeres.....	39
Figura 2. Relación entre la FCr de 15 seg. y el VO ₂ máx. en 36 sujetos EEF.....	43
Figura 3. Intensidad submáxima en una prueba en escalón.....	55
Figura 4. Reactivación vagal post-ejercicio en bicicleta	56
Figura 5. FCr post-ejercicio en escalón a diferentes temperaturas.....	58
Figura 6. Valores promedios de la FCr en esprint consecutivos en bicicleta.....	60
Figura 7. Respuesta de la FC durante y post-ejercicio.....	61
Figura 8. Dinámica de la FCr post-ejercicio de diferentes intensidades	63
Figura 9. Etapas en la historia del control en la dinámica del VO ₂	66
Figura 10. Exceso en la utilización de la PCr durante el déficit de O ₂	67
Figura 11. Respuesta del VO ₂ a diferentes intensidades.....	68
Figura 12. Respuestas del VO ₂ en ejercicio en cicloergómetro	70
Figura 13. Comportamiento del VO ₂ en cinta rodante.....	72
Figura 14. Curva del VO ₂ alveolar y consumido por las piernas.....	74
Figura 15. Estado estable del VO ₂ en una prueba en cicloergómetro.....	75
Figura 16. Fase dos en la curva del VO ₂	76
Figura 17. Componente lento del VO ₂	78
Figura 18. Representación de la respuesta del VO ₂ a diferentes intensidades.....	79
Figura 19. Nomograma de Åstrand y Rhyning.....	83
Figura 20. Relación FCr-PC6M y VO ₂ máx. en Course Navette (estudio uno).....	109
Figura 21. Relación FCr-PC6M y VO ₂ máx. en Course Navette (estudio dos).....	115
Figura 22. Curva del VO ₂ en un estudiante hombre en la PC6M y test de Bruce...	126
Figura 23. Curva del VO ₂ en una mujer EEF en la PC6M y en el test de Bruce.....	127
Figura 24. Dispersión para el VO ₂ y la FC en la PC6M.....	131
Figura 25. Correlación entre el VO ₂ de recuperación y la FCr en la PC6M	133
Figura 26. Dispersión del VO ₂ máx. del test de Bruce y la FCr de la PC6M.....	134
Figura 27. Rendimiento en la PC6M y Course Navette en mujer EGCAF	139
Figura 28. Rendimiento en la PC6M y Course Navette en hombre EGCAF	140
Figura 29. Dispersión de la FC y el VO ₂ durante la PC6M en EGCAF.....	147
Figura 30. Dispersión de la FCr y VO ₂ de recuperación en la PC6M en EGCAF ...	148
Figura 31. Dispersión del VO ₂ y la FCr de la PC6M en EGCAF.....	149
Figura 32. Dispersión de la FCr y VO ₂ máx. en EGCAF hombres y mujeres	152
Figura 33. Fases en la recuperación de la FC.....	158

Figura 34. FCr en la PC6M de hombres y mujeres.....	159
Figura 35. FCr post-ejercicio a diferentes intensidades del VO ₂ máx.	160
Figura 36. FCr en la PC6M de 14 hombres EGACF y 10 hombres EEF.....	161
Figura 37. FCr en posición sentada post-ejercicio submáximo	164
Figura 38. Relación inversa entre la FCr y el VO ₂ máx.....	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Course Navette propuesto en el Sistema de Medición de la Calidad de la Educación de Educación Física de Chile.....	37
Tabla 2. Datos básicos de los sujetos de la muestra de un estudio preliminar	37
Tabla 3. Rendimiento en CAFRA y Course Navette	38
Tabla 4. Relación entre CAFRA y Course Navette	38
Tabla 5. Datos básicos de 36 EEF de un segundo estudio preliminar.....	41
Tabla 6. Rendimiento en la prueba de Ebbeling para hombres y mujeres EEF.....	41
Tabla 7. Rendimiento aeróbico en el test de Bruce para hombres y mujeres EEF..	42
Tabla 8. Relación entre el test de Ebbeling y el test de Bruce en EEF.....	42
Tabla 9. Intensidad y FCr en test submáximos realizados en cinta rodante.....	45
Tabla 10. Comparación del VO_2 máx. en el test de Bruce.....	46
Tabla 11. Relación porcentual entre el VO_2 y la FC.....	81
Tabla 12. Protocolos submáximos en banco ergométrico que predicen el VO_2 máx. a partir de la FCr y otras variables.....	84
Tabla 13. Protocolos submáximos en cicloergómetro para estimar el VO_2 máx. a partir de la FC y otras variables.....	86
Tabla 14. Muestra de estudiantes que participaron en los cuatro estudios.....	92
Tabla 15. Test de Bruce en cinta rodante.....	98
Tabla 16. Datos básicos de los EEF que realizaron la PC6M y Course Navette....	107
Tabla 17. Rendimiento aeróbico de los EEF en la PC6M y Course Navette.....	107
Tabla 18. Relación entre la FCr-PC6M y el VO_2 máx.-Course Navette en EEF.....	108
Tabla 19. Datos básicos de los EEF que participaron del estudio dos.....	110
Tabla 20. Confiabilidad de la PC6M en el estudio dos	111
Tabla 21. Confiabilidad de la Course Navette en el estudio dos	113
Tabla 22. Correlación entre FCr y VO_2 máx. en la medición uno del estudio dos...	114
Tabla 23. Correlación entre FCr y VO_2 máx. en la medición dos del estudio dos...	117
Tabla 24. Correlación entre FCr y VO_2 máx. en la medición tres del estudio dos...	118
Tabla 25. Datos básicos de EEF que participaron en el estudio tres.....	119
Tabla 26. Rendimiento aeróbico en la PC6M de los EEF en el estudio tres	120
Tabla 27. Comportamiento de la FC y FCr de la PC6M en los EEF.....	121
Tabla 28. Comportamiento del VO_2 y VO_2 de recuperación en la PC6M de EEF...	122
Tabla 29. Rendimiento en la prueba de Course Navette en EEF.....	122

Tabla 30. Desempeño aeróbico en la prueba de Bruce en los EEF.....	123
Tabla 31. Correlación entre el VO ₂ y la FC de la PC6M en EEF.....	130
Tabla 32. Correlación entre la FCr y el VO ₂ de recuperación de la PC6M	132
Tabla 33. Correlación entre el VO ₂ máx. y la FCr en EEF hombres y mujeres.....	134
Tabla 34. Correlación entre el VO ₂ máx. indirecto y la FCr en EEF.....	135
Tabla 35. Datos básicos de los EGCAF que participaron en el estudio cuatro	136
Tabla 36. Rendimiento en la PC6M de los EGCAF del INEFC.....	136
Tabla 37. FC y FCr en la PC6M de los EGCAF hombres y mujeres	137
Tabla 38. VO ₂ y VO ₂ de recuperación de la PC6M en los EGCAF.....	141
Tabla 39. Diferencias en la FC de la PC6M entre hombres y mujeres EGCAF.....	143
Tabla 40. Diferencias en el VO ₂ durante la PC6M en los EGCAF.....	144
Tabla 41. Rendimiento en la prueba de Course Navette en los EGCAF	146
Tabla 42. Correlación entre la FC y el VO ₂ durante la PC6M en EGCAF	147
Tabla 43. Correlación entre FCr y VO ₂ de recuperación de la PC6M en EGCAF ...	148
Tabla 44. Correlación entre la FCr y el VO ₂ de la PC6M en EGCAF.....	149
Tabla 45. Correlación entre la FCr y el VO ₂ máx. en EGCAF	151
Tabla 46. Comparación en el rendimiento aeróbico máximo para pruebas de campo en hombres jóvenes.....	162
Tabla 47. Comparación en el rendimiento en una prueba submáxima en hombres jóvenes.....	163
Tabla 48. Distancia recorrida en la PC6M por sujetos jóvenes.....	166
Tabla 49. Comparación en la distancia recorrida, FC y RPE de la PC6M	168
Tabla 50. Comparación en el VO ₂ máx. estimado en Course Navette en sujetos jóvenes.....	171
Tabla 51. Comparación en la estimación del VO ₂ máx. de hombres jóvenes en Course Navette.....	172
Tabla 52. Comparación en la estimación del VO ₂ máx. de mujeres jóvenes en Course Navette.....	172
Tabla 53. Comparación del VO ₂ máx. en el test de Bruce en hombres	173
Tabla 54. Comparación del VO ₂ máx. en el test de Bruce en mujeres.....	174
Tabla 55. Comparación de pruebas submáximas y máximas que relacionan la FCr y el VO ₂ máx. en cinta rodante.....	176
Tabla 56. Protocolos de caminata en cinta rodante para estimar el VO ₂ máx. a través de la FC y otras variables.....	177

Tabla 57. Protocolos de campo de caminata para estimar el VO_2 máx. mediante la FC y otras variables.....	178
Tabla 58. Test en escalones que estiman el VO_2 máx. a partir de la FCr.....	180

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Equipamiento con la unidad portátil en el estudio cuatro.....	100
Ilustración 2. Realización de la PC6M en EEF durante el estudio uno	109
Ilustración 3. PC6M en EEF durante el estudio uno.....	110
Ilustración 4. Confiabilidad de la PC6M con EEF durante el estudio dos.....	112
Ilustración 5. Course Navette en EEF durante el estudio dos.....	113
Ilustración 6. Course Navette en el estudio dos con EEF.....	116
Ilustración 7. PC6M en EEF durante el estudio dos	118
Ilustración 8. PC6M en EEF durante el estudio tres.....	120
Ilustración 9. Test de Bruce y Course Navette en un EEF hombre	124
Ilustración 10. Test de Bruce, Course Navette y PC6M en EEF mujer	125
Ilustración 11. PC6M y Test de Bruce en un estudiante hombre	129
Ilustración 12. PC6M, test de Bruce y Course Navette en EEF mujer	132
Ilustración 13. PC6M y Course Navette en un hombre de los EGCAF	138
Ilustración 14. PC6M y Course Navette en una mujer de los EGCAF.....	142
Ilustración 15. PC6M y Course Navette en los EGCAF.....	145
Ilustración 16. Equipación con la unidad portátil K4b ² de Cosmed.....	150

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mi madre, la señora Nora Adriana Gómez González y a mi padre, el señor Jaime Raúl Vásquez Quijada.

Al Dr. Josep María Padullés Riu, director de la presente tesis, por entender mi inquietud de desarrollo profesional desde el año 2012, cuando le solicité en un pasillo de INEFC de Barcelona dicha dirección. Al Dr. Miguel Ángel Torralba Jordán, por acceder a tutorizar la investigación y por generar la posibilidad de cursar el Máster Oficial que él coordinaba cuando yo comenzaba este sueño desde Chile. Al Dr. Marcelo Eduardo Castillo Retamal, por ser mi director de tesis en Chile y por ser parte importante en mi formación profesional desde que ingresé a la universidad. Al Dr. Xavier Iglesias Reig por ser mi tutor de Máster y por brindarme todo su apoyo durante la investigación doctoral.

A los profesionales y doctorandos que me ayudaron en este proceso en mi pasantía predoctoral del año 2016 en INEFC de Barcelona, a los estudiantes de Pedagogía en Educación Física de la Universidad San Sebastián de la ciudad de Concepción y a los estudiantes del Grado en Ciencias de la Actividad Física del INEFC de Barcelona que sin la colaboración de ellos, realizando las pruebas o recolectando los datos, no habría terminado esta tesis.

A todos los que colaboraron en la construcción de esta investigación que, a veces, sin saberlo o estando conscientes de ello, entregaron un instante de su tiempo.

A la vida.

MOTIVACIONES

Al cursar los estudios de primer ciclo (pregrado en Chile) me hice varias interrogantes sobre cosas que observaba durante el pasar de los años, en las asignaturas prácticas y teóricas, del área disciplinar o de las ciencias básicas. También, el haber tenido maestros, cuyos estudios doctorales los habían realizado en España (con el tiempo sabría que, en rigor, era Catalunya), y que varios de los profesores que visitaron mi universidad eran provenientes de allí me pregunté: ¿Por qué no poder cursar estudios de posgrado como ellos? A ver si termino de darle vuelo a una de esas interrogantes que me hice en esos años.

Navegando en Internet una vez me encontré con una planilla Excel para el rendimiento en la prueba del escalón de McArdle. Era muy simple, estaba protegida y en la única celda libre se podía colocar el valor de frecuencia cardíaca de recuperación y calcular el consumo de oxígeno máximo. Entonces, probando y probando, advertí que si ponía un valor más bajo el VO_2 máx. resultaba más alto, y al revés, parecía muy sencillo. Con el tiempo me di cuenta que había un nomograma con una serie de líneas verticales y diagonales que cumplía el mismo principio: un valor más bajo de frecuencia resultaba uno más alto de consumo. Calculé varias posibilidades en una planilla y en casi la totalidad de ellas obtuve la misma tendencia, pero sin considerar el peso corporal.

Ante esta observación, le pregunté al profesor de fútbol si podía tomar a los futbolistas de la universidad un test arbitrario de tres minutos de carrera máxima en pista, para correlacionarlo con el VO_2 máx. del test de Cooper, que habían rendido hace un par de semanas atrás. Tras la aplicación, encontré una correlación de 0,76. Eran tiempos en que al haber aprendido a hacer correlaciones, andábamos correlacionando todo a cada rato. Luego un profesor me dijo: "te dio baja la correlación". Al menos había hecho la prueba, ahora entiendo que no era tan baja la correlación.

Estaba con esas interrogantes, sobre el VO_2 máximo, la frecuencia cardíaca, su relación, ¿las podré calcular? Al pasar el tiempo, estas interrogantes se seguían acentuando al ver que venían a mi universidad académicos a exponer sus investigaciones en seminarios o charlas organizados por la carrera de educación física: un tal Juan Manuel García Manso con el tema del entrenamiento deportivo, un tal Fernando Navarro Valdivielso el año siguiente con el tema de la resistencia aeróbica, un joven Julio Tous Fajardo con el entrenamiento de la fuerza, un José Luis

López del Amo con su tesis doctoral en la salida de tacos, un señor Josep María Padullés con estudios mecánicos en atletismo: su charla el día sábado por la mañana y un día de la semana por la tarde reunión con estudiantes “aventajados” del programa de magíster (máster) que cursaba, yo uno de ellos. Las interrogantes y ganas de aprender seguían aumentando.

Entonces, una de esas tantas interrogantes fue más potente y me pregunté: ¿Existe algún tipo de relación entre la frecuencia cardíaca en la recuperación y el VO_2 máx.? Para internar dar respuesta a ello, inventé un test de natación en el que midiendo el primer parámetro se podía calcular de manera teórica el segundo. Lo diseñé, lo apliqué. Posteriormente redacté un artículo al respecto, y cuando lo vi impreso en la revista le dije al profesor de “la correlación baja”: debí enfocarlo de otra forma.

Lo mismo siento hoy al mirar el trabajo de esta tesis doctoral. Como decía uno de los profesores que visitaban la universidad en aquellos años y que tuve la oportunidad de conocer, a él y a los demás, en la realización del Máster allí en Barcelona: es un punto y seguido, no un punto final. Quizá por eso esa sensación de enfocarlo de otra forma, la planilla Excel con la celda libre siempre hay que enfocarla de otra forma.

“La sensación de haber dedicado los esfuerzos en una tarea inútil desaparece cuando los desarrollos son compartidos con los demás”

Josep María Padullés Riu, 2013

“Si no crees en tu propia victoria, empiezas a no merecerla”

José Luis López del Amo, 2011

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de la varianza
ATP	Adenosín trifosfato
CO₂	Dióxido de carbono
EEF	Estudiantes de educación física
EGCAF	Estudiantes del grado en ciencias de la actividad física
F	Femenino
FC	Frecuencia cardíaca
FCr	Frecuencia cardíaca de recuperación
INEFC	Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña
km·h⁻¹	Kilómetros por hora
L·min⁻¹	Litros por minuto
L/seg.	Litros por segundo
M	Masculino
ml·min⁻¹	Mililitros por minuto
mmol/L	Milimoles por litro
m·h⁻¹	Millas por hora
O₂	Oxígeno
p/m	Pulsaciones por minuto
PC6M	Prueba de caminata de seis minutos
PCr	Fosfocreatina
r	Correlación de Pearson
r²	Coefficiente de determinación
RER	Índice de intercambio respiratorio (siglas del inglés respiratory exchange ratio)
rho	Correlación de Spearman
RPE	Índice de esfuerzo percibido (siglas del inglés rating of perceived exertion)
r·min⁻¹	Revoluciones por minuto
SEE	Error de estimación estándar (del inglés standard error of estimate)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
VO₂	Consumo de oxígeno
VO₂ máx.	Consumo máximo de oxígeno
W	Vatios

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Analizador de intercambio de gases: Mide la ventilación y las fracciones de oxígeno y de dióxido de carbono en el aire espirado. A partir de estas mediciones se realizan cálculos sobre el consumo de oxígeno, dióxido de carbono y el índice de intercambio respiratorio.

Cinta rodante: Aparato que dispone de una gran cinta sobre la cual se camina o se hace carrera. Se emplea como ergómetro para medir la producción de trabajo en condiciones controladas. La carga de trabajo varía cambiando la velocidad y/o el ángulo de inclinación de la cinta.

VO₂ máx.: Cantidad máxima de oxígeno que una persona puede tomar de la atmósfera, transportar y usar en sus tejidos. El VO₂ máx. se calcula como el volumen máximo de oxígeno consumido ventilatoriamente por unidad de tiempo, durante la actividad de un grupo de músculos grandes, cuya intensidad aumenta de modo progresivo hasta llegar al agotamiento. A menudo se expresa como VO₂ máx. en términos absolutos (litros/minuto: L·min⁻¹ o relativos: mililitros/kilógramo/minuto: ml·kg⁻¹·min⁻¹).

Correlación: Asociación entre dos variables de tal modo que cuando una cambia la magnitud también lo hace la otra. La correlación puede ser positiva o negativa. Una correlación significativa desde el punto de vista estadístico no implica necesariamente una relación de causa-efecto.

Ecuación de regresión: Técnica estadística para analizar la relación entre dos o más variables, que se emplea para predecir el valor de una variable respecto a otra u otras.

Ejercicio submáximo: Cualquier intensidad del ejercicio por debajo de la intensidad máxima de ejercicio.

Ejercicio máximo: Intensidad del ejercicio que requiere el máximo de las posibilidades de rendimiento de los sujetos.

Escala de Borg: Escala numérica para graduar el nivel de esfuerzo percibido, creada por el fisiólogo sueco Gunnar Borg.

Estimación: Conjunto de técnicas que permiten dar un valor aproximado de un parámetro de una población a partir de los datos proporcionados por una muestra.

Fiabilidad: Característica de una medida o procedimiento experimental que produce resultados consistentes en dos o más mediciones separadas.

Frecuencia cardíaca: Número de latidos cardíacos por minuto. La frecuencia cardíaca suele tomarse en reposo y en ejercicio, y generalmente se expresa en p/m.

Frecuencia cardíaca de recuperación: El período que necesita el corazón para volver al ritmo de reposo.

Índice de esfuerzo percibido: Escala numérica que evalúa la valoración subjetiva de una persona sobre el grado de dureza con el que ha trabajado durante una actividad física (en esta tesis se presenta como RPE, véase abreviaturas).

Índice de intercambio respiratorio: Proporción entre la cantidad de dióxido de carbono liberado y de oxígeno consumido (en esta tesis se presenta como RER, véase abreviaturas).

Intensidad del ejercicio: Nivel de esfuerzo del ejercicio descrita a menudo como leve, moderada o vigorosa. También se puede expresar en forma de frecuencia cardíaca.

Medición: Proceso básico de la ciencia que consiste en comparar un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno cuya magnitud física se desea medir para ver cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud.

Post-ejercicio: Luego de culminar el esfuerzo físico. Se puede caracterizar por la medición de variables indicadoras de la recuperación, como la frecuencia cardíaca, etc.

Prueba física: Test que suele utilizarse para evaluar el nivel de condición física. La condición física presenta varios componentes. Los componentes que suelen evaluarse son la fuerza, velocidad, potencia, flexibilidad y resistencia.

Significancia estadística: Medida de la probabilidad de que un resultado numérico observado en un test se produzca por casualidad.

Test de campo: En la ciencia del deporte, suele ser una medición de una función fisiológica, como el VO_2 máx., que se produce mientras el deportista actúa en una situación competitiva simulada. Por lo general, estos test no son tan fiables como los de laboratorios, pero a menudo tienen mayor validez por su mayor especificidad.

Test de laboratorio: En el deporte, suele ser la medición de una función fisiológica, como la frecuencia cardíaca, que se realiza en un ámbito controlado y que aplica protocolos y equipamiento que reproduce un deporte o una actividad.

Test máximo: Test de evaluación en el que el sujeto rinde sus máximas posibilidades.

Test submáximo: Prueba que evalúa la adaptación del sistema transportador de oxígeno al ejercicio por debajo de la intensidad máxima.

Test-retest: Concordancia entre los datos observados tras varias mediciones.

RESUMEN

La frecuencia cardíaca (FC) podría ser un indicador de la intensidad del ejercicio cuando este es de esfuerzo moderado y próximo al 50% del VO_2 máx. (Zaletel, Furjan-Mandic & Zagorc, 2009). Dado esto se ha encontrado que la predicción del VO_2 máx. se ha realizado en función de la FC y el índice de esfuerzo percibido (RPE) en un ejercicio submáximo (Klusiewicz, Faff & Starczewska-Czapowska, 2011), y se han desarrollado múltiples ecuaciones para estimar el VO_2 máx. a través de pruebas de intensidad submáxima, tanto en cinta rodante, como en cicloergómetros y escalones ergométricos (Ainsworth, McMurray & Veazey, 1997). Bajo estas premisas, el objetivo de la presente tesis fue elaborar ecuaciones para estimar el VO_2 máx. a partir de la FC de recuperación (FCr) obtenida en la prueba de caminata de seis minutos (PC6M) en estudiantes de Educación Física (EEF) de una universidad de la ciudad de Concepción, en Chile, y en estudiantes del Grado en Ciencias de la Actividad Física (EGCAF) de un instituto de la ciudad de Barcelona, en Cataluña (INEFC).

La investigación se estructuró de cuatro estudios por separado, a parte de los estudios preliminares de aproximación. Todos ellos se realizaron bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y de corte transversal, de alcance descriptivo y correlacional, además de exploratorio, tanto en los EEF como en los EGCAF, y la muestra fue no probabilística. En el primer estudio se aplicó el cuestionario PAR-Q, la PC6M y Course Navette en una sola sesión en 127 EEF de 21 años; en el segundo se aplicaron las mismas pruebas pero esta vez tipo test-retest en tres días distintos, añadiendo un consentimiento informado en una muestra de 17 EEF de 22 años. En el tercer estudio, además de las pruebas mencionadas, se aplicó el test de Bruce en tapiz en una segunda sesión con medición directa del VO_2 máx. en 20 EEF de 22 años, quienes dieron su consentimiento por escrito. En la cuarta investigación se trabajó con 28 EGCAF de 21 años los que firmaron un consentimiento informado aplicando la PC6M y Course Navette en única sesión. En esta se midió en forma directa el VO_2 en la caminata y el VO_2 máx. en la carrera incremental. Las variables de interés que se registraron fueron la FCr en la PC6M y el VO_2 máx. en Course Navette y en Bruce con el propósito de relacionarlas y elaborar una ecuación de estimación del VO_2 máx. a partir de la FCr, y así proponer un test alternativo de medición del rendimiento aeróbico. El análisis de los datos se realizó en base a estadística descriptiva e inferencial. En el análisis descriptivo se utilizaron valores promedio, desviación estándar y porcentajes y para la estadística inferencial se

empleó las pruebas de normalidad, análisis de varianza y pruebas de correlación. En estas últimas se optó por un nivel de significancia de $p < 0,05$. Todo el análisis se realizó con el programa SPSS versión 19.

En la primera investigación se encontró una correlación de $\rho = -0,44$ ($p < 0,01$) entre la FCr de la PC6M y el VO_2 máx. en Course Navette. En el segundo estudio no hubo diferencias significativas entre la medición uno, dos y tres en la FCr dentro del primer minuto y el VO_2 máx., y se encontró una correlación de $r = -0,72$ ($p < 0,01$). En la tercera investigación se encontró una correlación de $r = -0,657$ ($p = 0,002$) entre la FCr y el VO_2 máx. medido en el test de Bruce, y la ecuación es $y = 92,468 - (0,278 * FCr 20 \text{ seg.})$ donde y es el VO_2 máx. en $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ y el SEE es de $7,17 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. En el cuarto estudio la correlación fue de $r = -0,479$ ($p = 0,01$) entre la FCr y el VO_2 máx. medido en Course Navette. La ecuación es $y = 74,52 - (0,154 * FCr 30 \text{ seg.})$ y el SEE es de $5,55 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Se concluye que las ecuaciones predicen el VO_2 máx. considerando que el SEE de ambas es mayor a lo encontrado en la literatura disponible.

Palabras clave: FCr, test submáximo, VO_2 máx., test máximo, relación, ecuación.

Introducción

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los parámetros más importantes para evaluar el desempeño aeróbico es el VO_2 máx. y su determinación ha sido utilizada para clasificar niveles de salud, para el diseño del ejercicio de resistencia y también para fines de entrenamiento aeróbico. La medición directa de este parámetro no está al alcance de todos los profesionales de las actividades físico-deportivas, ya sea maestros de educación física, entrenadores, etc., ya que se deben utilizar analizadores de intercambio de gases a los que es difícil de acceder por su coste económico, personal capacitado y la alta demanda de tiempo (Cao, Miyatake, Aoyama, Higuchi & Tabata, 2013), por lo que en muchos casos se debe hacer una estimación del VO_2 máx. a partir de pruebas de campo, de carácter indirecto, de manera que se realiza una aproximación basada en cálculos a través de fórmulas.

Los indicadores fisiológicos que se utilizan para predecir el VO_2 máx. en las fórmulas de diferentes pruebas físicas han sido la distancia recorrida, la FC, la potencia, la velocidad, la inclinación de la cinta rodante, la masa corporal, el género, la raza, etc. De estos indicadores la FC ha demostrado tener una estrecha relación con el VO_2 máx. en pruebas que lo predicen, ya sean de esfuerzo submáximo (Marsh, 2012) o de esfuerzo máximo. En las pruebas de esfuerzo máximo, que tienen un carácter incremental hasta el agotamiento, el VO_2 y la FC tienen una relación lineal por lo que en las pruebas indirectas, cuando se alcanza la FC máx., es probable que se alcance el VO_2 máx. (Robergs & Landwehr, 2002), ya que la FC se mantiene estable durante un tiempo determinado, cuando el VO_2 máx., teóricamente, logra una meseta estable, pese al aumento de la intensidad luego de varios minutos de esfuerzo.

En las pruebas que estiman el VO_2 máx., que son de carácter submáximo, la relación entre la FC y el VO_2 es estrecha. Estos test se caracterizan por ser de menor duración que las pruebas incrementales hasta el agotamiento y, precisamente, no demandan las máximas posibilidades del sujeto si no que durante su ejecución la intensidad es estable y constante de manera que, cuando la FC alcanza un estado estable, a los pocos minutos de comenzar el ejercicio, el VO_2 presenta un comportamiento parecido, es decir, constante y estable hasta el final del esfuerzo. Además, estas pruebas submáximas son de fácil administración en grupos grandes de personas, requieren poco tiempo y equipamiento (Cao et al., 2013).

Ante esto, Sartor et al., (2013) reafirman que la necesidad de un bajo riesgo y bajo costo para la evaluación del VO_2 máx. ha provocado la validación de una gran cantidad de pruebas submáximas, tanto para los deportes, la parte clínica y la vida

cotidiana. En este sentido, se han reportado en la literatura algunas pruebas de esfuerzo submáximo que estiman el VO_2 máx. por medio del género, la masa corporal, la FC, entre otros (Ferrar, Evans, Smith, Parfitt & Eston, 2014). También existen pruebas submáximas que solamente estiman el VO_2 máx. a partir de la FC, en estos casos, en base a la FCr post-ejercicio.

Las mediciones indirectas, de carácter submáximo, que determinan el VO_2 máx., son ampliamente utilizadas desde hace varias décadas (Jinzhou, Yibing, Ruipeng, Xi & Gongbing, 2008). El test en escalón de Ryhming estima el VO_2 máx. a través de la FC utilizando un nomograma. Parte de la validez del nomograma se estableció por la evaluación de 18 hombres bien entrenados, de 18 a 19 años, en quienes el VO_2 máx. se obtuvo en una prueba máxima. Los sujetos también ejecutaron la prueba en banco ergométrico y un test en cinta rodante con inclinación de 10 grados. Durante el desarrollo de las pruebas submáximas la FC se utilizó para calcular el VO_2 máx. de los sujetos, existiendo mínimas diferencias entre la medición directa e indirecta. El nomograma también incluyó datos de 27 hombres y 31 mujeres bien entrenados, de 20 a 30 años, donde el VO_2 máx. se consiguió con pruebas máximas en cinta rodante y cicloergómetro. Para calcular el VO_2 máx. se utilizó una prueba submáxima en cicloergómetro en hombres y mujeres, donde se encontró pequeñas diferencias entre la estimación y medición. Por último, en 31 mujeres y 28 hombres, de 20 a 30 años, el VO_2 máx. se calculó a partir de la FC y el VO_2 en una prueba submáxima en cicloergómetro, también para la prueba en escalón, donde las diferencias entre la estimación y medición fueron mínimas (Åstrand & Ryhming, 1954).

Marley & Linnerud (1976) indicaron que el test del escalón de Ryhming fue desarrollado como una adaptación de la prueba en escalón de Harvard, reportando ser válido y fiable, donde se necesita la FC para estimar la capacidad aeróbica por medio de un nomograma. Más adelante se llegó a la conclusión que un intervalo de 15 a 30 segundos post-ejercicio es ideal para medir la FC, por lo que se hicieron cálculos basados en las respuestas cardíacas de hombres y mujeres, de 18 a 59 años, añadiendo el peso corporal para medir el nivel de aptitud física, considerando más tarde que incluir el peso corporal es innecesario por encontrarse diferencias mínimas en la FC entre sujetos con más peso corporal que otros.

Estos mismos autores desarrollaron normas de la prueba en escalón sin incluir el peso corporal para estudiantes universitarios de primer año, en donde calcularon el VO_2 máx. en base a la FCr desde los 15 a 30 segundos post-ejercicio. En esa oportunidad, y luego de medir a 1478 hombres y 484 mujeres, de 18 y 17 años, respectivamente, encontraron que los sujetos que obtuvieron menor FCr presentaron

un mayor VO_2 máx., y a la inversa. Los autores plantearon que aumentaría la aplicación y la utilidad práctica de esta prueba de recuperación como medición de campo.

Por su parte, el test de McArdle o Queen's College Step Test ha estimado el VO_2 máx. a través de la FCr por medio de una ecuación de regresión establecida para mujeres, la cual se ha validado con el criterio de una prueba incremental hasta el agotamiento en cinta rodante (McArdle, Katch, Pechar, Jacobson & Ruck, 1972). También se ha validado aplicándose en hombres, donde la ecuación que predice el VO_2 máx. de igual manera incluye solamente la FCr (McArdle, Katch & Katch, 2001). En los últimos años la prueba del escalón de Queen's College se ha validado utilizando una prueba incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro en 40 mujeres (Chatterjee, Chatterjee & Bandyopadhyay, 2005) y en 30 hombres universitarios (Chatterjee, Chatterjee, Mukherjee & Bandyopadhyay, 2004). En ambas ocasiones las ecuaciones que calculan el VO_2 máx. incorporan solamente la FCr al finalizar la subida y bajada del escalón. De igual forma, el test en escalón de Francis y Feinstein (Pitetti, Fernhall, Stubbs & Stadler, 1997; Francis & Feinstein, 1991) estima el VO_2 máx. incluyendo como indicador a la FCr en su ecuación de predicción para adolescentes.

Otro test en escalón, como el de Forest Service, utiliza la FCr para predecir el VO_2 máx. en su tabla de cálculo, tanto para hombres como para mujeres, pero incluye el peso corporal como variable importante (George, Fisher & Vehrs, 1996). Por su parte, el test de Harvard en escalón utiliza solamente la FCr en su fórmula de estimación, esta vez para calcular un índice de aptitud física, pero no el VO_2 máx. (Bandyopadhyay, 2007; Das, Ghosh, & Gangopadhyay, 2010).

Por otra parte, los test submáximos en cicloergómetro, como los de Fox y de Åstrand y Ryhming, también emplea la FCr para calcular el VO_2 máx. El segundo de ellos además incluye la potencia en W como variable de predicción. Otros protocolos en cicloergómetro también consideran la FCr junto a otros indicadores, como el género, la edad, la masa corporal, etc., para calcular dicho parámetro fisiológico (Akalan et al., 2008). Por ejemplo, el test de Fox (1973) en cicloergómetro estima el VO_2 máx. en base a la relación entre esta variable y la FC submáxima al quinto minuto de esfuerzo a 150 W, reportado en 87 hombres jóvenes sanos universitarios (19,5 años) no entrenados. El VO_2 máx. directo se midió con un ejercicio en cicloergómetro intervalado e incremental hasta el agotamiento, y la ecuación de regresión que calcula el VO_2 máx. incluye solamente la FC. El VO_2 máx. = $6300 - 19,26 * FC$, con un valor de $r = -0,76$ ($p < 0,001$) y con un SEE de $\pm 246 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$.

Los test de campo que se ejecutan por medio de la carrera utilizan la FCr añadiendo otros factores como el tiempo, la distancia, la edad, la masa corporal, etc.

En protocolos en cinta rodante también se ha utilizado la FC junto a otros indicadores, como el volumen de CO₂, el VO₂, el RER, y otros datos básicos, como el género, la edad y la masa corporal (Akalan, Robergs, & Kravitz, 2008).

En sujetos jóvenes se ha podido encontrar diversas ecuaciones que predicen el VO₂ máx. medido a través del análisis de intercambio de gases directo a partir de un esfuerzo submáximo. Estas fórmulas poseen una estructuración y exactitud muy variada (Ferrar et al., 2014), y han presentado valores de correlación entre 0,747 y 0,819, siendo las más altas encontradas en test submáximos de caminata ($r=0,821$) y carrera ($r=0,88$), mientras que las correlaciones más bajas, en pruebas ejecutadas en bicicleta ($r=0,743$) en jóvenes menores de 18 años.

Actualmente, son pocos intentos que se han realizado en las investigaciones internacionales para compilar ecuaciones que estiman el VO₂ máx. a partir de un ejercicio submáximo en sujetos jóvenes (Ferrar et al., 2014). Junto a esto, test submáximos en cinta rodante que estiman el VO₂ máx. no consideran la FCr (Marsh, 2012; Vehrs, George, Fellingham, Plowman & Dutsman-Allen, 2007).

Es decir, existen pocos trabajos que exponen de manera explícita la relación entre la FCr post-ejercicio submáximo con el VO₂ máx. Algunos estudios dan a conocer esta relación de manera implícita en las fórmulas de regresión para el cálculo del VO₂ máx., por lo que, sólo utilizan la FCr para estimarlo. Sin embargo, estas pruebas físicas submáximas de donde surgen las ecuaciones han sido validadas utilizando como criterio una prueba máxima en un ergómetro distinto.

En lo que se refiere al contexto universitario chileno, los estudiantes de educación física de distintos niveles de carrera son evaluados a través de pruebas de resistencia cardiorrespiratoria de carácter incremental hasta el agotamiento o máximas. Estas han dado poca posibilidad para evaluar el desempeño aeróbico a través del comportamiento de la FC post-ejercicio submáximo en pruebas pedestres de campo. Poco se conoce sobre la relación entre la FCr y el VO₂ máx. en la población de estudiantes de educación física. Es posible rastrear algunos artículos donde se presentan evaluaciones a estudiantes de educación física en Chile, pero estos sólo reportan el desempeño en variadas pruebas de condición física (Valdés, Godoy & Caniuqueo, 2013; Valdés, Godoy & Muñoz, 2013), pero en ningún caso la relación entre pruebas cardiorrespiratorias submáximas y máximas, como tampoco la relación entre la FCr y el VO₂ máx.

En los últimos números digitales editados de revistas científicas chilenas en el área de las ciencias de la actividad física no se registra la relación entre las variables

de interés (FCr y VO_2 máx.) en estudiantes de educación física¹. Tampoco se encuentra esta relación en revistas disponibles en SciELO para su dominio en Chile² en el área más cercana a las ciencias de la actividad física.

1.1 Estudios preliminares

Precisamente ante esta carencia de investigaciones chilenas al respecto, durante la presente investigación doctoral se realizaron dos estudios preliminares y posteriormente se llevaron a cabo cuatro estudios con pruebas estandarizadas, algunas de ellas con mediciones directas de consumo de oxígeno.

En un estudio preliminar, con carácter de aproximación a la temática en cuestión, se determinó la relación entre la FCr y el VO_2 máx. en un grupo de 136 EEF, cuya población fue perteneciente a una universidad de la ciudad de Concepción – Chile, con la cual se desarrolló gran parte de la presente tesis. Se aplicó una prueba de caminata de tres minutos en la que se midió la FCr pos-ejercicio y posteriormente se llevó a cabo la prueba de Course Navette en marzo de 2014. Los resultados arrojaron una correlación moderada entre las variables de interés (Vásquez, Garrido, Loyola & Saavedra, 2014).

La prueba de caminata de tres minutos que se administró fue la de CAFRA (caminata fraccionada), que se ha utilizado para medir el desempeño aeróbico de escolares chilenos (Agencia de Calidad de la Educación, 2014a) y también se ha usado para caracterizar la condición aeróbica de sujetos chilenos que practican goalball (Valdés, Godoy & Herrera, 2014). El test de CAFRA es de resistencia aeróbica y de rendimiento cardiovascular y se mide la FC al finalizar el esfuerzo. Este test consiste en caminar alrededor de una pista en forma de pentágono de 50 metros (10 metros cada lado del pentágono) a una velocidad de $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ durante tres minutos (en total 500 metros), al ritmo de una señal acústica acompañada de música que va al ritmo de la marcha. Al finalizar se mide la FCr durante seis segundos, después de ocho segundos de culminar el test, para calcularla en pulsaciones por minuto (Bahamonde, 2012). En esa oportunidad, la medición de la FCr se realizó con monitores de FC, marca Polar, modelos RS400sd y RS800sd (Polar Electro – Finlandia).

¹ Para más información al respecto véanse las siguientes revistas: *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, Universidad Católica del Maule, 2006 – Julio 2016 (salvo en diciembre de 2014 y julio de 2015, ya el autor ha publicado los estudios preliminares detallados más adelante); *Revista Horizonte: Ciencias de la Actividad Física*, Universidad de Los Lagos, Septiembre 2010 – Diciembre 2015; *Ciencias de la Actividad Física*, Universidad de Playa Ancha, 1993 – 2012; *Educación Física – Chile*, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, 2007 – 2009 y 2012.

² Sólo he podido constatar la *Revista Chilena de Nutrición*, 2001 – 2016, n° 1; en éste último número se asocia el VO_2 peak con la composición corporal en mujeres universitarias.

La prueba de Course Navette se utilizó para la estimación del VO_2 máx. que se realizó a través de la fórmula $y = 5,857x - 19,458$, propuesta por Léger & Lambert (1982), en donde: $y = \text{VO}_2$ máx. ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$); $x = \text{velocidad}$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) del último palier completado. El criterio de término de la prueba fue cuando los estudiantes, en 2 ocasiones consecutivas, no llegaron a la línea de 20 metros. Cabe destacar que la velocidad de cada palier descrita en el audio del protocolo del Sistema de Medición de la Calidad de la Educación en el apartado de Educación Física (Agencia de Calidad de la Educación, 2014b), era distinta a la del test original cuando se aplicaba esta medición en el sistema escolar. Para determinar la relación entre la FCr y el VO_2 máx. se utilizó una estadística inferencial a través de las pruebas de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y la correlación de Spearman. El análisis se apoyó en el programa Statistical Package for the Social Sciences, SPSS, versión número 19 (International Business Machines, Nueva York - Estados Unidos).

En las siguientes tablas se aprecia la caracterización del test de Course Navette, los datos básicos de los participantes, el rendimiento aeróbico en la prueba de caminata y de carrera incremental, y la relación entre ellas (tabla 1 a 4).

Tabla 1

Course Navette propuesto en el Sistema de Medición de la Calidad de la Educación de Educación Física de Chile.

Palier minutos	Velocidad km·h ⁻¹	Metros Palier	Metros acumulados
1	8,4	140	140
2	8,4	140	280
3	9,6	160	440
4	9,6	160	600
5	9,6	160	760
6	10,8	180	940
7	10,8	180	1120
8	12	200	1320
9	12	200	1520
10	12	200	1720
11	13,2	220	1940
12	13,2	220	2160
13	14,4	240	2400
14	14,4	240	2640
15	14,4	240	2880

Tabla 2

Datos básicos de los sujetos de la muestra de un estudio preliminar (valores promedio y desviación estándar).

Género	n	Edad años	Masa kg.	Talla m	IMC kg/m ²
F	32	19,7±1	62,6±8,2	1,62±0,07	23,8±3,1
M	104	20,3±1,7	71,81±1,2	1,74±0,06	23,8±3,1
F + M	136	20,1±1,6	69,6±11,3	1,71±0,08	23,8±3,1

Tabla 3
Rendimiento en CAFRA y Course Navette (valores promedio y desviación estándar).

Género	CAFRA p/m FCr	CAFRA % FC máx.	Course Navette Paliers	VO ₂ máx. ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
F	133±18,5	68,8±9,6	6,2±1,7	42±5
M	111,1±19,2	57,6±10	9,7±1,9	52,7±5,4
F + M	116,2±21,2	60,2±11	8,9±2,4	50,2±6,9

Se desprende de la tabla precedente que el test de CAFRA es de intensidad moderada ya que los porcentajes de FCr oscilan entre el 50 y 70 % de la FC máx. en los 136 sujetos, entre el 58 y 78% en las mujeres y entre el 47 y 67% en los hombres. Hipotéticamente, el valor porcentual y absoluto de FCr fue similar al que existió durante el desarrollo del test.

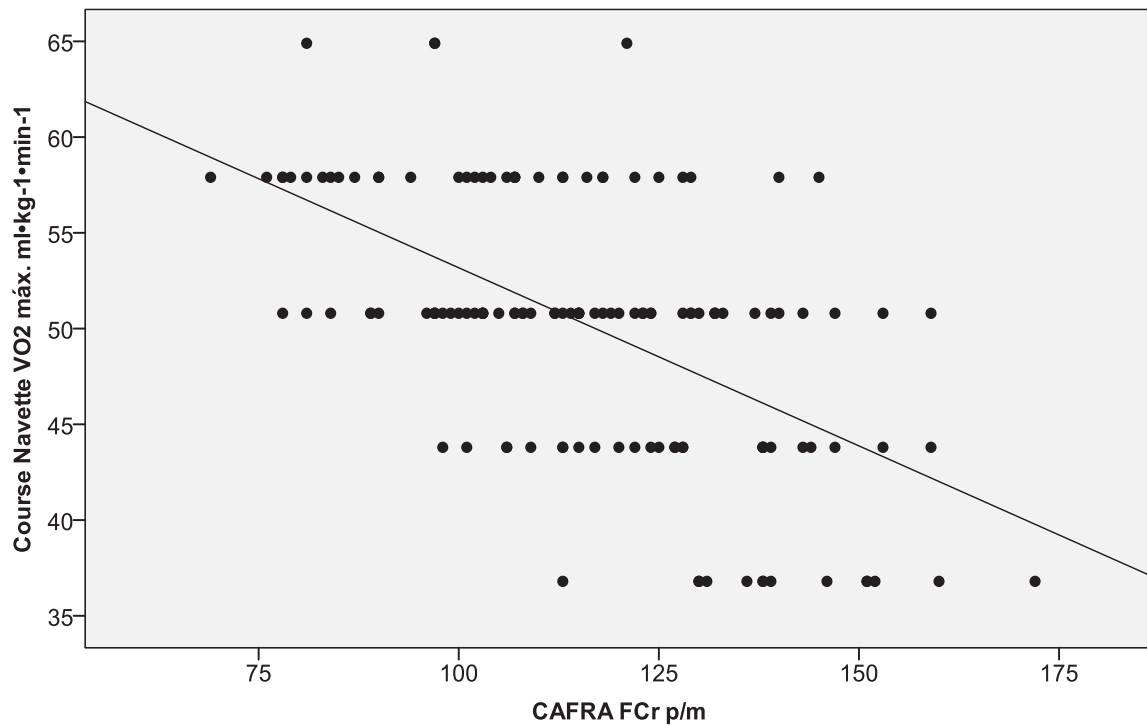
Tabla 4
Relación entre CAFRA y Course Navette (valores promedio y desviación estándar; r: Spearman).

Género	CAFRA FC p/m	Course Navette VO ₂ máx. ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	r	p
M + F	116,2±21,2	50,2±6,9	-0,545	p<0,0001

Los datos de FCr se distribuyeron según la ley normal (p=0,926), sin embargo, los valores de VO₂ máx. no se distribuyeron de manera normal (p<0,001), hipotéticamente porque se estimó por medio de una fórmula, pues posiblemente se distribuirían según la ley normal si se haya medido de forma directa, ya que tal medición arrojaría variaciones en el VO₂ máx. para un grupo o varios de sujetos que completaron el mismo palier.

Figura 1

Relación CAFRA – Course Navette en EEF hombres y mujeres (n = 136).



En la figura 1 se puede apreciar la distribución de puntos que refleja la FCr y el VO_2 máx. de los estudiantes. Al parecer los puntos se acercarían mucho más a la línea de ajuste si el VO_2 máx. estuviera distribuido de manera normal, tal como se comentaba anteriormente, por lo que la correlación hipotéticamente se elevaría.

Por otro lado, a lo largo de la investigación, se realizó otro estudio preliminar con el objeto de establecer la relación entre las variables de interés pero esta vez se utilizaron pruebas en cinta rodante. La prueba de caminata fue la de Ebbeling y la prueba hasta el agotamiento fue la de Bruce (Vásquez, Godoy, Gündel & Rodríguez, 2015).

El test de Ebbeling se aplicó en sujetos de entre 20 y 59 años de los cuales 67 fueron hombres y 72 mujeres (Ebbeling, Ward, Puleo, Widrick & Rippe, 1991). Este test tiene como etapa previa un calentamiento de cuatro minutos a una velocidad entre $3,22$ y $7,24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, sugiriendo que el sujeto se encuentre entre el 50 y 70% de la FC máxima ($220 - \text{edad}$). La etapa siguiente consiste en un esfuerzo de cuatro minutos con una inclinación en la cinta del 5% a la intensidad del calentamiento, también entre el 50 y 70% de la FC máx. (Waddoups, Wagner, Fallon & Heath, 2008). La ecuación de predicción para el VO_2 máx. que han planteado los autores es la siguiente ($p < 0,01$): $\text{VO}_2 \text{ máx. (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 15,1 + \text{velocidad (m}\cdot\text{h}^{-1}) - 0,327 * \text{FC (p/m)} - 0,263 *$

velocidad * edad (años) + 0,00504 * FC * edad + 5,98 * género (Ebbeling et al., 1991), donde el género para mujeres = 0 y el género para hombres = 1. Para medir la FCr también se utilizó los monitores de ritmo cardíaco marca Polar, modelos RS400sd y RS800sd (Polar Electro – Finlandia), y la cinta rodante empleada fue de marca SportArt, modelo T652M (Industrial Co., Lda. - Estados Unidos), tanto para el test de Ebbeling como para el test de Bruce.

En esta prueba en cinta rodante se ha reportado un valor de $r = 0,96$ (Akalan et al., 2008; Waddoups, Wagner, Fallon & Heath, 2008), un valor de $r^2 = 0,86$ y un SEE de $4,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Peterson, Palmer & Laubach, 2004; Waddoups et al., 2008) y de $5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Akalan et al., 2008). Según Waddoups et al., (2008) la validez de este test se ve disminuido cuando se realiza con intensidades extremas del 50 y 70% de la FC máx., sin embargo, Ebbeling et al., (1991) concluyen que esta prueba es un método válido para la estimación del VO_2 máx.

En el capítulo “Material y Método” se detallan el protocolo en la cinta rodante utilizado en la prueba de Bruce, y se profundiza sobre esta. Sin embargo, y para efectos de esta introducción, es pertinente mencionar que es un test escalonado, con una duración de tres minutos cada estadio, donde la velocidad y la inclinación de la cinta aumentan en cada uno de ellos. En esa oportunidad, se estimó el VO_2 máx. con la ecuación propuesta por Bruce, Kusumi & Hosmer (1973) para sujetos saludables: $\text{VO}_2 \text{ máx. ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} = 6,70 - 2,82$ (factor de ponderación para el género) + 0,056 (duración en segundos); siendo el factor de ponderación 1 para los hombres y 2 para mujeres ($r=0,92$).

Las mediciones se llevaron a cabo entre los meses de mayo y agosto del año 2014 con EEF. Antes de aplicar las mediciones los estudiante completaron el cuestionario de aptitud física PAR-Q (véase el anexo 1) en su versión en castellano y se determinaron datos básicos de los sujetos como la masa corporal, la altura y la fecha de nacimiento. Luego se aplicaron las pruebas en cinta rodante, primero el test de caminata de Ebbeling y posteriormente la prueba incremental de Bruce. En la prueba de caminata se midió la FCr post-ejercicio en posición bípeda sobre la cinta rodante durante tres minutos, haciéndose los registros desde el final del test (minuto cuatro) cada 15 segundos hasta completar el minuto siete. Junto a esto se les pidió a los estudiantes reportar el RPE, y luego de uno o dos minutos se aplicó la prueba de Bruce en la misma cinta rodante donde se les fue animando a los participantes a dar su máximo esfuerzo. Finalmente se midió el RPE y se estimó el VO_2 máx.

Para relacionar las variables de interés se procedió a determinar la ley normal con la prueba de Shapiro–Wilk, y para la relación entre la FCr y el VO_2 máx. se utilizó la correlación de Pearson.

Desde la tabla 5 hasta la tabla 7 se exponen los datos básicos de los sujetos y el rendimiento en las pruebas físicas.

Tabla 5
Datos básicos de 36 EEF de un segundo estudio preliminar.

Género	n	Edad años	Masa kg.	Talla m	IMC kg/m ²
M	21	22,3±2,3	76,2±12,3	1,74±0,04	25,1±3,9
F	15	21,1±2,3	61,6±5,2	1,61±0,04	23,7±2,5
M + F	36	21,4±2,3	64,5±9,9	1,63±0,06	24,1±3,1

Tabla 6
Rendimiento en la prueba de Ebbeling para hombres y mujeres EEF
(FC y FCr en p/m).

Ebbeling	FC final	FCr 15 seg.	FCr 30 seg.	FCr 45 seg.	FCr 60 seg.	RPE
M	117,1±9,1	112,3±11	102,7±12,7	98,0±12,3	93,7±13,1	9,3±1,8
F	123,1±7,6	122,0±6,8	111,5±10,7	104,3±10,8	100,3±12,3	8,1±1,4
M + F	119,6±8,9	116,2±10,6	106,3±12,5	100,6±12	95,6±13	8,7±1,7

La FC final podría ser indicativa del estado estable de la FC durante el test para hombres y mujeres. Al igual que en la prueba de CAFRA, el test de Ebbeling se puede catalogar de esfuerzo de moderada intensidad ya que los hombres culminaron el test al 61% de la FC máx. y las mujeres al 64% de la FC máx. ambos en valores promedio. El RPE también da cuenta del esfuerzo de carácter moderado de la prueba.

Tabla 7
Rendimiento aeróbico en el test de Bruce para hombres y mujeres EEF (VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹).

Test Bruce	VO ₂ máx.	FC máx. p/m	FC máx. %	RPE
M	69,2±7,8	186,9±7,4	98,5±5,2	16,1±2
F	49,8±4,4	190,6±3,4	101,7±3,9	16,8±2
M + F	61,1±11,6	188,5±6,3	99,8±4,9	16,3±2

El valor del RPE debería reportarse en valores cercanos a 20 debido al esfuerzo máximo característico de la prueba, sin embargo, y de manera hipotética, se pudo establecer una errónea comprensión de la escala en comparación con la prueba de caminata que se aplicó antes, ya que la prueba de Bruce es de carácter incremental y no es constante ni de intensidad uniforme.

A continuación se detallan las correlaciones entre ambas variables de interés: FCr y VO₂ máx. .

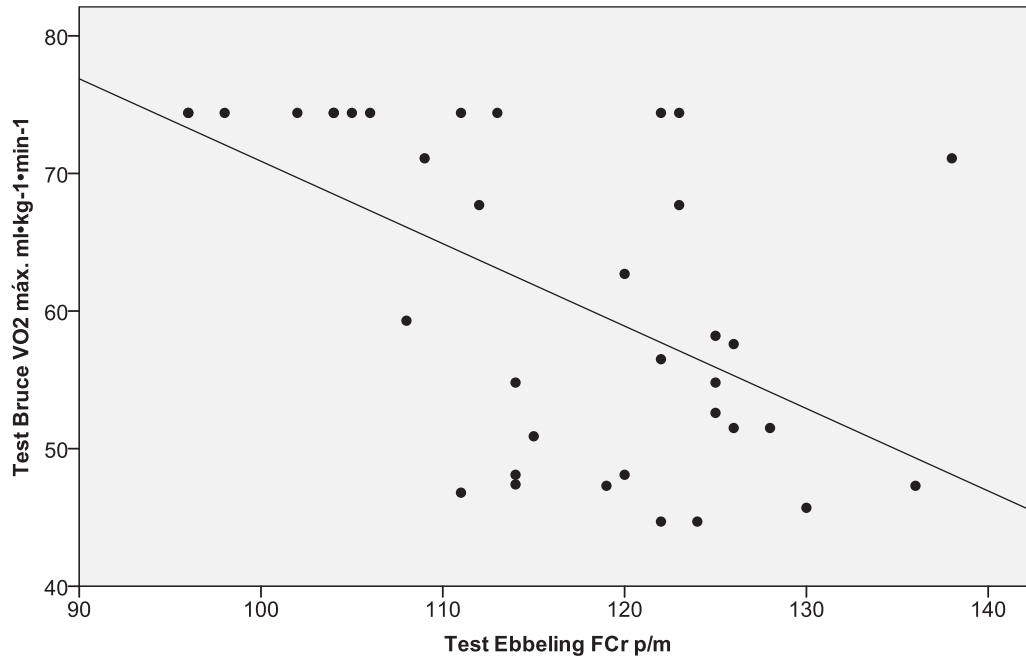
Tabla 8
Relación entre el test de Ebbeling y el test de Bruce en EEF (VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹; r: Pearson; ns: no significativo).

n	Test Bruce VO ₂ máx.	Test Ebbeling FCr	r	p
36	59,8±6,1	0:00 (final)	-0,458	=0,005
		0:15	-0,548	=0,001
		0:30	-0,494	=0,002
		0:45	-0,441	=0,013
		1:00	-0,328	ns

Tanto el VO₂ máx. (p=0,097) como la FC final (p=0,929) y la FCr registrada a los 15, 30, 45 y 60 segundos (p=0,675; 0,724; 0,542 y 0,528, respectivamente) se distribuyeron de manera normal. Se puede apreciar que la correlación para la FCr de 15 segundos es estadísticamente significativa. Asimismo, se puede suponer que cuanto menor es la FCr de 15 segundos mayor será el VO₂ máx.

Figura 2

Relación entre la FCr de 15 segundos y el VO₂ máx. en 36 sujetos EEF.



Por otro lado, la prueba de caminata en cinta rodante de Ebbeling se testeó en 55 hombres y 63 mujeres universitarios de $20,6 \pm 2,3$ años (Alexander, 2000), esto sugiere que es plausible de aplicar en poblaciones universitarias, como fue realizado en la investigación previa. Por su parte, la prueba de Ebbeling y la prueba de Bruce se han aplicado en hombres jóvenes, pero no se ha realizado la relación entre la FC y el VO₂ máx. (Laurent et al., 2008). El estudio implicó que 15 mujeres universitarias sanas de $23,3 \pm 2,9$ años caminaran sobre una cinta rodante a una velocidad de $4,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ durante 5 minutos (Ebbeling, Hamill & Crussemeyer, 1994). Esa velocidad era similar a la de las mujeres EEF que caminaron en la prueba de Ebbeling.

También se evaluaron a 22 hombres y 8 mujeres físicamente activos de 33 ± 10 años a quienes se les aplicó dos veces una prueba incremental de esfuerzo máximo en cinta rodante para determinar el VO₂ máx. y posteriormente, en dos 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 cinco minutos: un minuto de pie y cuatro minutos sentado. Los valores de VO₂ máx. ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) fueron de 58,1 a 57,3 ($\pm 6,9$ y $\pm 7,5$) y los valores de FCr en un minuto fueron de 120 ± 12 -15 p/m (Bosquet, Gamelin & Berthoin, 2008), que fueron más elevados que los encontrados en este estudio previo ($95,6 \pm 13$).

En la misma línea de los test de caminata se elaboró una prueba submáxima en cinta rodante de cinco minutos de duración, que se realizó a diferentes velocidades y en dos ocasiones, midiéndose la FC durante toda la prueba. En ese caso se midió el desempeño en 11 hombres y 11 mujeres voluntarios físicamente activos de 24 ± 6 años (Darter, Rodríguez & Wilken, 2013). Junto a estas mediciones se ha reportado otra prueba de caminata submáxima de cinco minutos de duración a una velocidad de $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ con diferentes grados de inclinación de la cinta rodante sobre un grupo de nueve hombres y siete mujeres voluntarias EEF de 22 ± 4 años (Vilhena de Mendonça & Pereira, 2008). A los sujetos también se les calculó el VO_2 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 Vilhena de Mendonça & Pereira (2008) también fue empleado en la investigación previa, en el que se administró el test de Ebbeling e inmediatamente después el test de Bruce.

Los valores de FC de los dos estudios referidos, más los estudios de Ebbeling et al., (1994) y de Bosquet, Gamelin & Berthoin (2008) se observan en la tabla 9.

Tabla 9
 Intensidad y FCr en test submáximos realizados en cinta rodante
 (M: masculino; F; femenino; vel.: velocidad.
 * Se excluyó un sujeto por falla del monitor de FC).

	Ebbeling et al., (1994)	Bosquet et al., (2008)	Vilhena de M. & Pereira (2008)	Darter et al., (2013)	EEF (2014)
Género	F	M + F	M + F	M + F	M + F
n	15	22 + 8	16	21*	21 + 15
Test	Cinta rodante	Cinta rodante	Cinta rodante	Cinta rodante	Ebbeling
Intensidad	4,2 km·h ⁻¹	80% vel. máx.	4 km·h ⁻¹ (2,5%)	5,9±0,2 km·h ⁻¹	5,4±0,9 km·h ⁻¹
FC \bar{x} . p/m	91,5±10,5	--	93,7±16,4	115,9±19,4 y 113,2±20	117,1±8,8
FCr 1 min	--	120±12-15	--	--	97±12,7

En la tabla 9 se presentan trabajos en donde la mayoría caracterizó a hombres y mujeres en conjunto. Se advierte que las intensidades de las pruebas submáximas no sobrepasan los 6 km·h⁻¹, en que los sujetos generalmente comenzarían la carrera suave. Además, se observa que los valores de FC promedio durante las pruebas aumentan o disminuyen según la velocidad empleada en la cinta rodante.

A la vez, Laurent et al., (2008) miden el VO₂ máx. a través de la prueba de Bruce con seis 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. Los valores de VO₂ máx. contrastan con los encontrados en los hombres EEF que fueron de 69,2±7,8 ml·kg⁻¹·min⁻¹ y una FC de 186,9±7,4 p/m, respectivamente. Al parecer el VO₂ máx. en los hombres EEF está sobreestimado ya que se calculó a través de una fórmula.

Tabla 10
Comparación del VO₂ máx. en el test de Bruce.

	Laurent et al., (2008)	Estudio preliminar (2014)
VO ₂ máx. ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	48,2±1,5	69,2±7,8
FC p/m	195±2	186,9±7,4

1.2 Preguntas de investigación

En relación a lo expuesto en la introducción del estudio, en el contexto y a las investigaciones previas, las preguntas a las que se pretende responder en esta investigación son:

- ¿Existirá una alta correlación entre la FC de un test de caminata y el VO₂ máx. de una prueba hasta el agotamiento en estudiantes de carreras de tercer ciclo asociadas a la actividad física?
- ¿Será posible elaborar una ecuación para estimar el VO₂ máx. con bajo error de predicción a partir de la FC obtenida en una prueba de caminata en una muestra de estudiantes?

1.3 Hipótesis

La correlación entre la FC_r obtenida en una prueba de caminata y el VO₂ máx. de una prueba incremental hasta el agotamiento es alta y estadísticamente significativa. Por lo tanto, se postula que es factible elaborar una ecuación con bajo error de estimación para predecir el VO₂ máx. a partir de la FC_r de un test de caminata.

1.4 Objetivo general

Proponer un test de caminata para la estimación del rendimiento aeróbico para estudiantes de carreras universitarias asociadas a las ciencias de la actividad física.

1.4.1 Objetivos específicos

- Establecer la relación entre la FC_r de pruebas submáximas y el VO₂ máx. de pruebas máximas a partir de la revisión bibliográfica en profundidad.
- Determinar la fiabilidad de la FC_r en la PC6M y del VO₂ máx. de Course Navette en una muestra de estudiantes EEF.

- Comparar el rendimiento aeróbico de la PC6M y de los test incrementales máximos entre hombres y mujeres EEF, y entre hombres y mujeres EGCAF con fines de validar ecuaciones de predicción del VO_2 máx.
- Validar la FCr de la PC6M como predictor del VO_2 máx. de Course Navette en una muestra de EEF de una universidad chilena y en una muestra de EGCAF de INEFC.
- Elaborar ecuaciones para estimar el VO_2 máx. a partir de la FCr de la PC6M para una muestra de EEF de una universidad chilena y para una muestra de EGCAF de INEFC.

1.5 Justificación

La realización de esta investigación tiene un motivo científico central que la justifica que es validar la FCr de la PC6M para la estimación del VO_2 máx. y generar ecuaciones predictivas para una muestra EEF de una universidad chilena y para una muestra de EGCAF de INEFC.

Una población particular para aplicar este tipo de pruebas, tanto submáximas como máximas, son los EEF y EGCAF, ya que estas personas se adaptan durante el año académico al ejercicio físico de forma regular y con variadas intensidades, dado a las actividades físico-deportivas que realizan en los cursos prácticos y fuera de ellos, de manera que la probabilidad de correr riesgos relativos para su salud es baja, lo que sería distinto al someter a estos esfuerzos a individuos inactivos físicamente, o no familiarizados al ejercicio físico regular, pertenecientes a otras carreras universitarias.

La FC es un indicador del desempeño aeróbico que tiene una relación estrecha con el VO_2 máx., tanto en ejercicio submáximo como máximo, al ser comparada con otros indicadores, como el RPE, el peso corporal, la carga, el género, etc., que en ocasiones se utilizan en las fórmulas de predicción en pruebas submáximas para estimar el VO_2 máx. A la vez, existen pocos estudios que reportan de manera explícita la relación entre la FCr y el VO_2 máx., solamente se puede apreciar en las ecuaciones de algunos test submáximos que predicen el VO_2 máx. y que no incluyen otras variables para dicho cálculo. Así, es posible encontrar algunos test que consisten en subir y bajar un escalón que estiman el VO_2 máx. solamente a partir de la FCr.

Esta investigación pretende aportar herramientas prácticas, siendo simples y fáciles de utilizar (Jinzhou, Yibing, Ruipeng, Xi & Gongbing, 2008), para la valoración del desempeño aeróbico proponiendo la utilización de la PC6M, que se ha aplicado en otro tipo de sujetos pero no necesariamente en estudiantes de tercer ciclo de carreras asociadas a la actividad física, esta vez con una ecuación para estimar el VO_2 máx. Esta prueba de intensidad submáxima propuesta brindaría una mayor seguridad y

menor riesgo en la integridad física los evaluados durante la aplicación. Por lo tanto, los beneficiarios directos de esta herramienta son los propios maestros y EEF de la universidad chilena y de INEFC, quienes podrán utilizar la herramienta en los procesos de valoración de la condición física durante el año académico.

Otro valor científico de esta investigación es que los diferentes sujetos que colaboraron pueden valorar su participación en el presente estudio como parte de su formación profesional investigadora, es decir, tanto los estudiantes que rindieron las pruebas, como los estudiantes que ayudaron en la recolección de datos, ya sea en las mediciones directas o indirectas, lo que es sin duda un impacto positivo en su aprendizaje por medio de la vivencia del procedimiento de investigación. Esto repercutirá y beneficiará sus habilidades investigativas, posiblemente en los trabajos de final de carrera.

La pertinencia de elaborar una ecuación para estimar el VO_2 máx. a través de la FCr obtenida en la PC6M se justifica porque generalmente, para evaluar el desempeño aeróbico en los estudiantes, se utilizan pruebas máximas hasta el agotamiento, las que pueden generar un cierto riesgo, aunque sea mínimo y que es prescindible, en la salud de los que son evaluados. Los estudiantes perciben estas pruebas con reticencia y no todos realizan un esfuerzo al máximo de sus posibilidades, junto a esto muchas de estas valoraciones se realizan cuando comienza el año académico, momento en el que la mayoría de los estudiantes puede tener baja condición aeróbica, por lo tanto, no es correcto someter a esfuerzos máximos a estas personas, por el contrario, es pertinente valorar su condición cardiorrespiratoria a través de esfuerzos submáximos.

La PC6M en sí, con sus ecuaciones para la estimación del VO_2 máx., será percibida con mayor disposición por parte de los estudiantes ya que se les solicitará un esfuerzo de intensidad submáxima, o en algún caso de intensidad moderada, y de corta duración, considerando que el conocimiento del punto de finalización de los test es un incentivo extra para su realización. Además, como resguardo ético de la prueba de caminata es que en el proceso de la presente investigación el rendimiento o desempeño no fue abierto al juicio de los demás estudiantes, que esperaban su turno para ser medidos en el mismo test y espacio físico, ya que el desempeño fue igual en tiempo y muy similar en intensidad (ritmo de caminata), por lo tanto, la sentencia, los prejuicios de sus pares o de los compañeros de clase se omitió en un alto grado, lo que no ocurre en las pruebas hasta el agotamiento en las que el que resiste menos, es decir, el que recorre menos distancia, etc. es sometido a criterios arbitrarios de rendimiento susceptibles de ir en contra de la autoestima, atacando de alguna forma la intimidad de las personas que realizan las pruebas.

Por otro lado, la pertinencia social de este estudio radica en la utilización de esta prueba de caminata, ya sea por parte de aquellos que participaron realizando las pruebas o colaborando en la administración del protocolo y/o en la recolección de datos, evaluando a personas o estudiantes con pruebas de condición física de un tenor similar, no sólo en el apartado cardiorrespiratorio si no que podría ser transferible a otras cualidades de la aptitud física.

Marco referencial

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Comportamiento de la frecuencia cardíaca en fase de ejercicio

Todo ejercicio físico requiere de ajustes en la función cardiovascular para lograr un equilibrio en el sistema circulatorio. La modulación de la respuesta de la FC y sus cambios van a depender del sistema nervioso autónomo parasimpático a través de la inhibición o excitación de las vías eferentes por medio del nervio vago y por otro lado por el sistema autónomo simpático (Leite et al., 2010). Por ejemplo, hay evidencia de que los indicadores que reflejan la interacción entre el sistema nervioso autónomo y el sistema cardiovascular pueden servir como información predictiva. En este caso la pobre respuesta de la FC en el ejercicio se ha asociado a la muerte cardíaca súbita y la FCr post-ejercicio en una prueba de esfuerzo estándar ha sido predictiva de mortalidad (Freeman, Dewey, Hadley, Myers & Froelicher, 2006). Además, el sistema nervioso simpático y parasimpático se relacionan con otros sistemas fisiológicos (Lamberts et al., 2009). Un mayor flujo vagal cardíaco antes de un período de entrenamiento se asocia con un aumento en el VO_2 máx. en sujetos sedentarios y atletas (Kiviniemi, Hautala, Kinnunen & Tulppo, 2007).

Un método no invasivo para medir la respuesta autónoma del sistema nervioso es la variabilidad de la FC (Lamberts et al., 2009). Esta ha sido utilizada para evaluar los efectos del entrenamiento en atletas jóvenes (Baumert et al., 2006) y también para probar su utilidad en la prescripción del ejercicio de resistencia en hombres sanos, moderadamente entrenados. Sin embargo, pocos estudios han investigado la variabilidad de la FC como un medio para ajustar los entrenamientos (Kiviniemi et al., 2007).

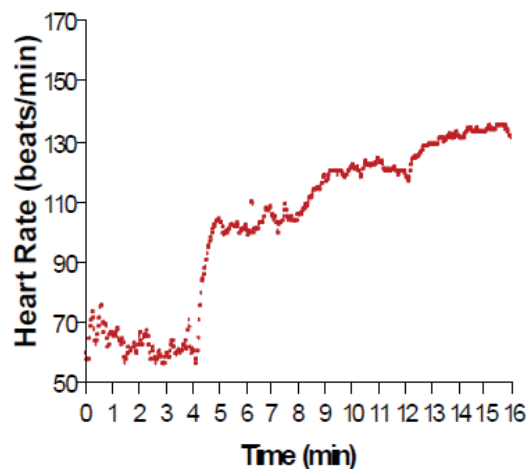
En el inicio del ejercicio aeróbico el comportamiento de la FC es más lento, pudiéndose atribuir esto a una escasa intervención del sistema parasimpático (Xu & Rhodes, 1999), pues en la transición desde el reposo al ejercicio existe una disminución en algunos parámetros de la variabilidad de la FC (Achten & Jeukendrup, 2003) como en el caso del tono vagal cardíaco por causa del aumento de intensidad del ejercicio en pruebas aplicadas en hombres jóvenes sanos (Casadei, Cochrane, Johnston, Conway & Sleight, 1995), y también sufre la disminución progresiva del sistema nervioso parasimpático, desde el reposo hasta el 60% del umbral ventilatorio, con el aumento de la actividad del sistema nervioso simpático a una intensidad que supera el umbral ventilatorio en una serie de pruebas submáximas (Yamamoto, Hughson & Peterson, 1991). Este comportamiento se puede manifestar en términos absolutos (Achten & Jeukendrup, 2003) de intensidad, pues al parecer existe una

disminución en la actividad del sistema nervioso simpático y un aumento en el sistema nervioso parasimpático. En este sentido, hubo una disminución de la bradicardia relativa a la misma intensidad absoluta de ejercicio aeróbico en sujetos jóvenes después de un entrenamiento de al menos cinco días por semana. También existió actividad simpática reducida y aumento de la actividad parasimpática en los mismos sujetos entrenados al ser comparados con sujetos controles (Gregoire, Tuck, Yamamoto & Hughson, 1996). Se ha reportado que antes del ejercicio en cicloergómetro las fluctuaciones de la FC fueron mayores en sujetos normales (sin enfermedad cardíaca conocida) que en sujetos con insuficiencia o trasplantados, siendo que durante el ejercicio la potencia de la FC se redujo en los sujetos normales (Arai et al., 1989). También la actividad simpática se vio aumentada en el ejercicio en bicicleta a intensidades del 30 y 60% del VO_2 máx. (González et al., 2000). Por su parte, Kamath & Fallen (1993) indican que la potencia de los segmentos cortos de la variabilidad de la FC representa un medio no invasivo para analizar el equilibrio entre los componentes simpático y parasimpático del sistema autónomo. Estos fenómenos demostrarían que la acción del sistema parasimpático disminuye (Achten & Jeukendrup, 2003) al inicio del ejercicio.

Se ha indicado que la actividad vagal está presente en el estado de reposo antes de comenzar el ejercicio, mientras que no lo está en la actividad autónoma simpática, sin embargo se ha demostrado que el tono parasimpático predomina en estado de reposo (Borresen & Lambert, 2008) y que el aumento en el ritmo de la FC al comenzar el ejercicio se debe a la disminución de la actividad parasimpática. Es decir, a medida que aumenta la intensidad del ejercicio la taquicardia que se presenta es producto del aumento de la actividad simpática y de la disminución de la actividad parasimpática (Borresen & Lambert, 2008). La actividad parasimpática ha disminuido progresivamente desde el estado de reposo hasta el 60% del umbral ventilatorio y la actividad simpática aumentó cuando la intensidad superó dicho umbral en ocho sujetos que realizaron pruebas submáximas en cicloergómetro para luego incrementar la intensidad según porcentajes del umbral ventilatorio (Yamamoto et al., 1991). Cuando la intensidad del ejercicio superó el 50% del VO_2 peak, la actividad del sistema parasimpático disminuyó, y cuando la intensidad estuvo al 50 – 60% del VO_2 peak, la actividad del sistema nervioso simpático aumentó inicialmente. Mientras que a intensidades mayores al 60% del VO_2 peak aumentó significativamente durante el ejercicio incremental en cicloergómetro en un trabajo que investigó la influencia del sistema nervioso autónomo sobre la FC y la relación con otros indicadores (Nakamura, Yamamoto & Muraoka, 1993).

Una de las aplicaciones más importantes de la FC como indicador de la intensidad ha sido durante el ejercicio submáximo (Robergs & Landwehr, 2002). El cambio en la FC a intensidades submáximas de esfuerzo se utiliza como un indicador del estado de entrenamiento, sin embargo, el SEE se debe a que no ha existido una frecuencia de investigaciones sistemáticas, por lo que, los cambios en la FC que se han considerados relevantes no pueden ser determinantes (Lamberts et al., 2004). Ante esto, se ha propuesto que un ejercicio de intensidad liviana (figura 3) estaría bajo el 75% de la FC máxima, uno de intensidad moderada, entre el 75 y el 85%, y el de intensidad elevada, entre el 85 y 90% de la misma (Zaletel et al., 2009). Por su parte, en un estudio elaborado por Barak et al., (2010) se eligió una intensidad del 80% de la FC pico para aplicar una carga de ejercicio submáximo en cicloergómetro. También se ha indicado que la variación de la FC durante un ejercicio submáximo parece estar entre 3 y 6 p/m (Lamberts et al., 2004).

Figura 3
Intensidad submáxima en una prueba en escalón.
Test de cuatro estadios en hombres y mujeres de $27,8 \pm 8$ años
(tomado de Akalan et al., 2008).



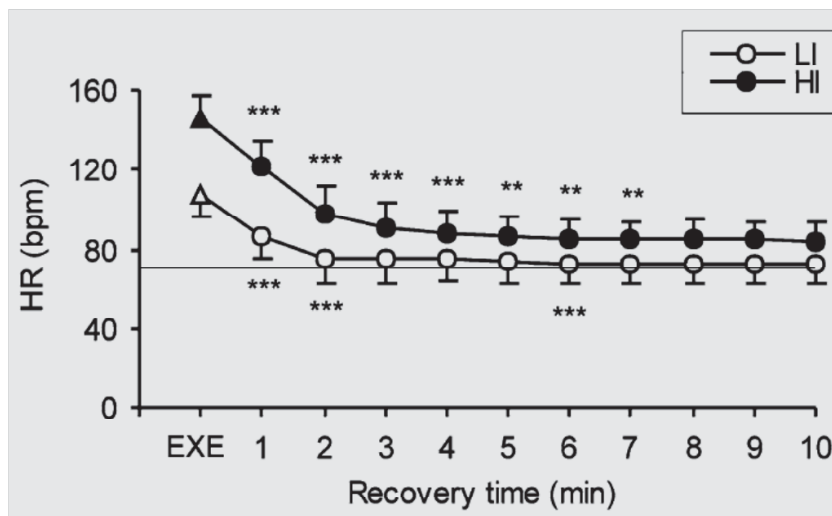
En la figura recién expuesta, según la FC máxima teórica ($220 - \text{edad}$) los sujetos estarían entre el 26 y el 73% de la FC máx. aproximadamente, ya que la intensidad del ejercicio a menudo se expresa como porcentajes de la FC máxima. En este sentido, luego de realizar una prueba incremental máxima en cicloergómetro en un grupo de ciclistas varones, se ha encontrado una relación lineal entre los porcentajes de carga de trabajo y los porcentajes de la FC máxima. La relación entre estos dos indicadores de intensidad se debe determinar de manera individual cuando se requiere una intensidad de entrenamiento adecuada basada en la FC (Arts & Kuipers, 1994). Por su parte, Brisswalter & Legros (1994) no encuentran diferencias significativas entre el

coste energético de la FC y el ritmo de zancada (entre otros parámetros) durante pruebas submáximas al 75% del VO_2 máx. en corredores de élite en media distancia. Sin embargo, la variación de la FC día a día en un ejercicio submáximo ha sido de 6 p/m, además durante la carrera de 10 km la FC es aproximadamente 20 p/m mayor que en situaciones no competitivas, de tal manera que los monitores de FC han medido este indicador con exactitud bajo diversas condiciones (Lambert, Mbambo & ST Clair Gibson, 1998).

También se ha planteado que la relación lineal entre la FC y la intensidad del ejercicio submáximo se mantiene hasta un cierto punto cuando el incremento de la intensidad supera al de la FC. Para verificar estos datos se ha estudiado a un grupo de corredores hombres de larga distancia sobre una cinta rodante y a un grupo de hombres jóvenes no entrenados en un cicloergómetro (Bunc, Heller & Leso, 1988).

La variabilidad de la FC se ha determinado generalmente sobre el control autónomo del ritmo cardíaco en estado de reposo, no obstante se ha elaborado un análisis de estos parámetros en estado no estacionario para verificar los cambios transitorios de la FC (Martinmäki, Häkkinen, Mikkola & Rusko, 2008) como es la recuperación después del ejercicio en cinta rodante a diferentes intensidades (Kaikkonen, Nummela & Rusko, 2007). Así, la reactivación vagal se ha advertido después de finalizar el ejercicio en bicicleta (figura 4) en sujetos sanos (Martinmäki & Rusko, 2008).

Figura 4
Reactivación vagal post-ejercicio en bicicleta. Ejercicio a baja intensidad (LI) y alta intensidad (HI) (tomado de Martinmäki & Rusko, 2008).



Se observan, en la figura anterior, diferencias significativas entre la FCr dependiendo si es post-ejercicio de alta o baja intensidad (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$). Cuando los ejercicios son a altas intensidades la FC coincide con la acumulación de lactato en sangre, lo que también es usado para establecer zonas de intensidad. Se ha propuesto un método indirecto para determinar el umbral anaeróbico sólo basándose en la FC (Achten & Jeukendrup, 2003). En este se ha encontrado una relación lineal entre la FC y la velocidad de carrera a intensidades submáximas, pero una meseta estable a altas intensidades de carrera, reportándose un punto de inflexión en la relación velocidad de carrera – FC, al mismo tiempo que el umbral anaeróbico. Así, se ha postulado que el umbral anaeróbico es fundamental para determinar el ritmo de carrera en competiciones aeróbicas (Conconi, Ferrari, Ziglio, Droghetti & Codeca, 1982). El punto de deflexión de la FC en el test de Conconi se ha utilizado generalmente para establecer cargas de entrenamiento aeróbico, y también cualquier entrenamiento se podría prescribir por medio de porcentajes de la FC. Así, el monitoreo de la FC ha sido un buen método para controlar la intensidad del esfuerzo con métodos fraccionados (Passelergue, Cormery, Lac & Léger, 2006).

2.2 Frecuencia cardíaca en fase de recuperación

Para la medición de la condición física en un ejercicio submáximo se han utilizado pruebas en escalón, en estas los diferentes ángulos que se provocan en las extremidades inferiores al ejecutar la subida y la bajada del banco estimulan el cambio de la FC (Souza et al., 2007). Este fenómeno ha estado presente en las primeras pruebas en escalón expuestas en la literatura como en el Test de McArdle (McArdle, Katch & Katch, 1990), Test de Harvard (Das et al., 2010), Step Test de Åstrand y Ryhming (López & Fernández, 2008), entre otros.

Uno de los medios no invasivos para controlar la respuesta del sistema nervioso autónomo es la FCr post-ejercicio (Lamberts et al., 2009). Además la recuperación del ritmo cardíaco es un indicador indirecto de la función autónoma y puede ser un medio de cuantificación de los efectos del entrenamiento (Borresen & Lambert, 2007). La recuperación del ritmo cardíaco es la velocidad con la que esta disminuye post-ejercicio moderado o intenso (Lamberts et al., 2009). Algunos estudios han manifestado el valor predictivo de la FCr, en cuanto a patologías, post-ejercicio en cinta rodante. La FC de uno a dos minutos de recuperación ha sido válida para realizar este tipo de pronósticos (Shetler et al., 2001).

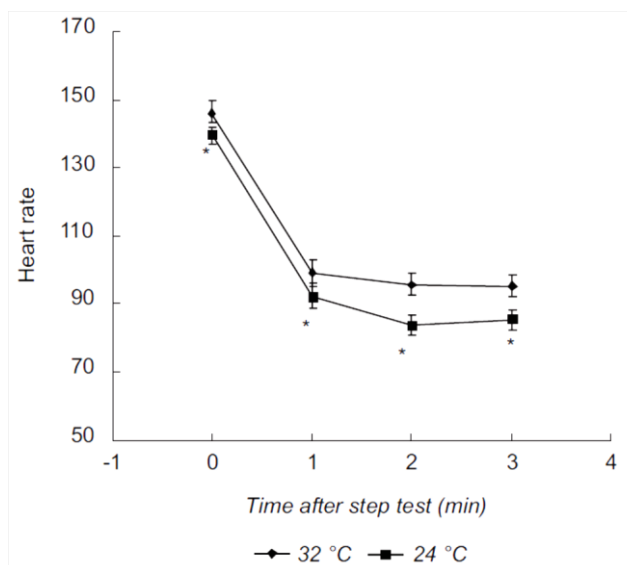
Las pruebas de subir y bajar escalones sirven para verificar la FC durante el esfuerzo y la recuperación de la misma post-ejercicio, la cual es un indicador del

estado cardiopulmonar. De manera que, cuando la FCr es más rápida en volver al estado de reposo (figura 5) mejor es el estado cardiopulmonar (Chen et al., 2006).

Se supone que la FCr es más rápida cuando la condición aeróbica del sujeto es mejor, por lo tanto, su porcentaje aumentaría al elevarse el nivel de condición física (Lamberts et al., 2004). Así, y luego de realizar ejercicio a intensidades similares, se desprende que la FC se recupera más rápido en sujetos entrenados que en sujetos no entrenados (Lamberts et al., 2009).

También, luego que se realizaran dos pruebas de 30 minutos en cicloergómetro, se ha encontrado que el comportamiento de la FCr a igual intensidad relativa (70% del VO_2 máx.) ha sido muy similar en estos sujetos, pero la recuperación a intensidad absoluta (VO_2 de $1,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) ha sido más rápida en 12 de ellos entrenados comparados con 10 sujetos desentrenados (Short & Sedlok, 1997).

Figura 5
FCr post-ejercicio en escalón a diferentes temperaturas
(*diferencias significativas; tomado de Chen et al., 2006).



Nótese que en la figura que aunque la temperatura es distinta la fase rápida de la FCr de todas formas es en el primer minuto, y se enfatiza este aspecto porque en la presente tesis no se consideró la temperatura ambiente para aplicar las pruebas submáximas para la medición de la FCr. De todas formas se ha establecido un descenso exponencial para graficar la respuesta de la FC post-ejercicio la cual expresa claramente el comportamiento de dicha curva tras el esfuerzo submáximo. Se ha atribuido que el sistema parasimpático desencadenaría esta curva exponencial (Pierpont, Stolpman & Gornik, 2000 en Borresen & Lambert, 2008). En este sentido,

Pierpont, Stolpman & Gornick (2000) han descrito que el decaimiento exponencial de la FCr ha sido establecido como un indicador de la actividad parasimpática, sin embargo, su aceptación ha sido limitada. Estos mismos autores estudiaron a nueve sujetos jóvenes voluntarios en una prueba de esfuerzo máximo y en una prueba de esfuerzo submáximo en la que concluyen que este modelo de decaimiento exponencial de la FC puede ser inadecuado para el ejercicio de carácter máximo, pero puede ser razonable para ejercicios de esfuerzo submáximo.

La FCr post-ejercicio es controlada por medio de interacciones complejas entre variables neurales y humorales, pudiendo ser la reactivación del sistema parasimpático el factor más determinante en la recuperación de este parámetro fisiológico (Buchheit, Duché, Laursen & Ratel, 2010). La reactivación vagal es importante en el decaimiento de la FC post-ejercicio, pues en los primeros 30 segundos de recuperación predomina el sistema parasimpático en atletas y enfermos cardíacos luego del ejercicio de intensidad máxima. Así, la recuperación de la FC en 30 segundos post-ejercicio podría reflejar la reactivación vagal, la cual se presenta más acelerada en atletas bien entrenados (Imai et al., 1994). Este fenómeno se presenta junto con la disminución en la actividad del sistema simpático (Buchheit et al., 2010). Borresen & Lambert (2008) reafirman que la recuperación de la FC post-ejercicio se basa en una relación entre el sistema nervioso simpático y parasimpático. Por otra parte, se ha indicado que algunos metabolitos resultantes del esfuerzo físico, como las catecolaminas, fosfatos inorgánicos o el lactato, podrían estimular la actividad simpática por medio de un control quimio-reflejo de la FCr (Buchheit et al., 2010).

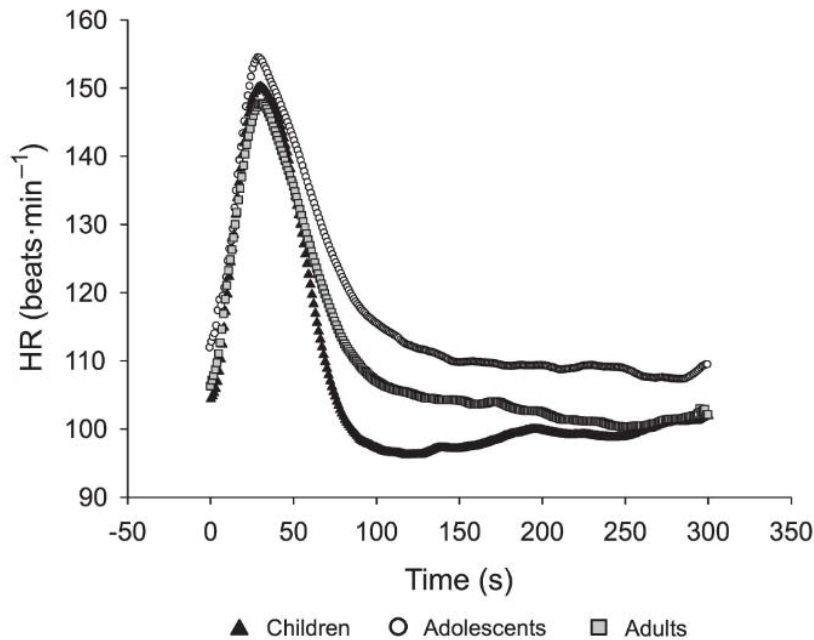
Asimismo, se ha postulado que la disminución del tono simpático contribuye más en la recuperación de la FC (figura 6), postergando para más tarde a la actividad parasimpática con un papel más predominante (Borresen & Lambert, 2008). Como se aprecia en la figura 6, en la FCr de 60 segundos hubo diferencias significativas según la edad ($p < 0,001$), pero no existieron entre adolescentes y adultos ($p = 0,61$), además hay que advertir que la FCr tiene una fase rápida de descenso hasta aproximadamente los 60 segundos.

Savin, Davidson & Haskell (1982) investigaron la FC post-esfuerzo de carácter máximo en seis hombres, de tal manera que se les dividió en grupos en donde se bloqueó, en forma separada, el sistema parasimpático y el simpático, y también ambos sistemas simultáneamente, y un grupo de control. La FCr tuvo un decaimiento exponencial en cada uno de los sujetos de los diferentes grupos atribuyéndose que la disminución del retorno venoso y la necesidad sistémica del gasto cardíaco acompañan al decaimiento exponencial de la FC, que pareciera ser una propiedad de

la circulación. Otras referencias señalan que existe una interacción entre los dos sistemas, actuando más rápido el sistema parasimpático, por lo que ocupa un rol importante al comienzo de la fase de recuperación de la FC, provocando su desaceleración (Borresen & Lambert, 2008).

Figura 6

Valores promedio de la FCr en esprint consecutivos en bicicleta. Datos de niños, adolescentes y adultos (tomado de Buchheit et al., 2010).



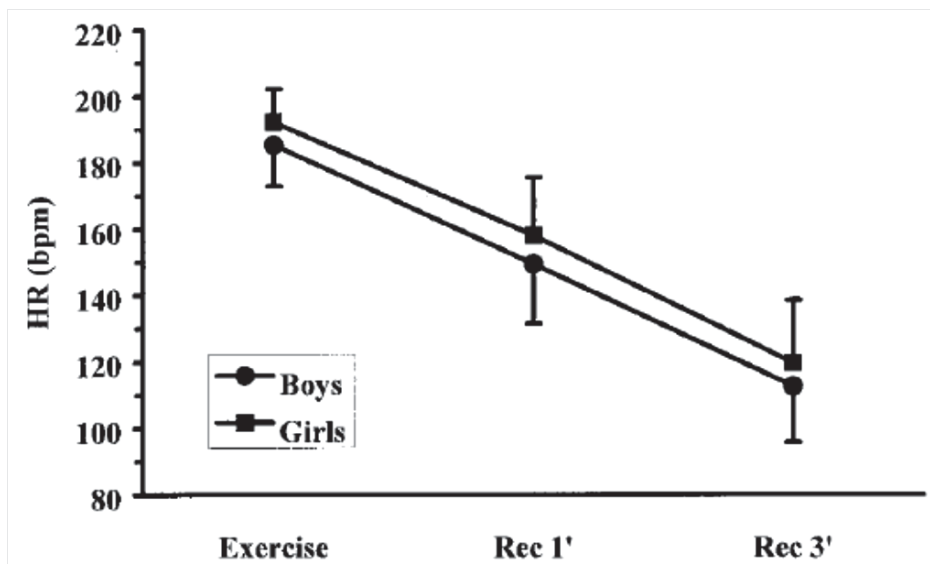
El aumento de la actividad simpática se ha asociado al aumento de la FC, mientras que la deceleración del ritmo cardíaco se asocia con la activación vagal. Tras estudiar a un grupo de 17 hombres jóvenes, de edad media de 20 años en situación de post-ejercicio en una prueba de escalón, se encontró que la FC disminuyó gradualmente pero que, al cabo de 30 minutos en posición supina no alcanzó los valores de reposo pre-ejercicio, existiendo una acción del sistema parasimpático en la fase de recuperación del ritmo cardíaco (Javorka, Zila, Balhárek & Javorka, 2002). Esta idea ha sido apoyada con el argumento que el ejercicio y el período de recuperación se asocian con la disminución parasimpática (Kannankeril & Goldberger, 2002). Ante esto, Kannankeril, Le, Kadish & Goldberger (2004) señalan que existe poca información sobre los efectos del ejercicio de alta intensidad sobre la actividad parasimpática y la recuperación. Sin embargo, los autores indican que en sujetos normales (libres de enfermedad médica y cardiovascular) los efectos parasimpáticos son prominentes en las primeras fases de la recuperación post-ejercicio máximo.

Pareciera ser que el control cardiovascular es regulado por diferentes aferencias sensitivas, tanto musculares como arteriales (Buchheit et al., 2010), pues en el ejercicio dinámico, donde se involucran grandes grupos musculares, el comando central eleva la FC y reajusta los barro-reflejos ante una presión arterial mayor, por lo tanto, la actividad simpática aumenta (Rowell & O'Leary, 1990).

Por otra parte, la comparación entre géneros sobre la recuperación del ritmo cardíaco ha sido distinta a intensidad absoluta y similar a intensidad relativa en el ejercicio submáximo observado en niños y niñas. Por lo tanto, es importante controlar la intensidad del ejercicio para medir con mayor precisión la FC durante la recuperación (Borresen & Lambert, 2008). Con respecto a niños y niñas se ha descrito que la FCr post-ejercicio fue diferente cuando la intensidad de carga se administró en términos absolutos en una prueba submáxima en cicloergómetro, pero fueron similares cuando la intensidad se administró en forma relativa. Se detalla además que la FCr fue menor en niños que en niñas al primer minuto post-ejercicio (figura 7), pero no en el tercero, y que el VO_2 peak no se relacionó con la FC post-ejercicio (Mahon, Anderson, Hipp & Humt, 2003).

Figura 7

Respuesta de la FC durante y post-ejercicio. La intensidad es 85-95% del VO_2 peak (tomado de Mahon et al., 2003).



A diferencia de los niños y las niñas, un estudio ha señalado que la FCr luego de 1 y 2 minutos de terminar el esfuerzo ha sido mayor en hombres que en mujeres (Arena et al., 2010). También se ha propuesto que la recuperación del ritmo cardíaco en el

ejercicio submáximo es más rápido en comparación con el ejercicio de carácter máximo en individuos sanos, pues esto se atribuye a que el sistema simpático se activa en menor medida durante el ejercicio submáximo. Para medir la recuperación del ritmo cardíaco se ha indicado como medio óptimo utilizar una prueba de esfuerzo submáximo estandarizada con el fin de verificar la respuesta a los entrenamientos (Borresen & Lambert, 2008).

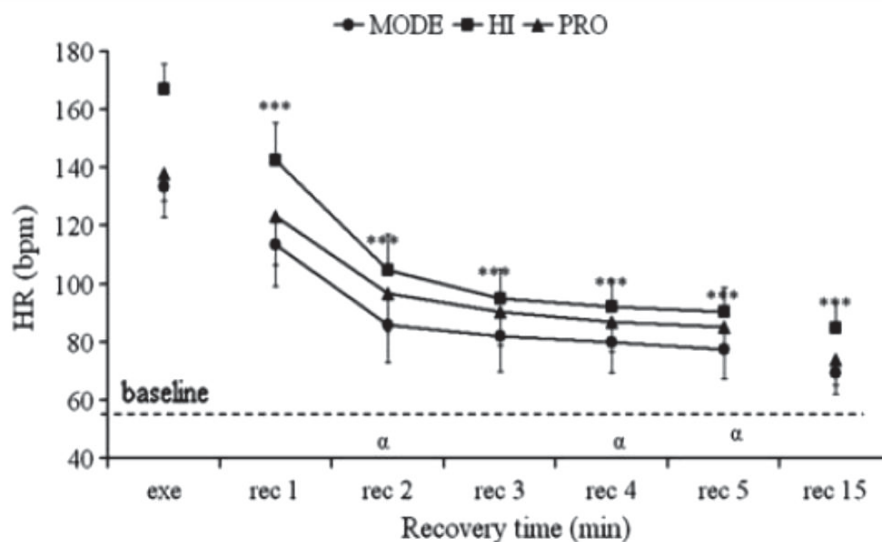
La FCr puede llegar a valores de reposo post-ejercicio en una actividad de corta duración y de baja intensidad dentro de cinco minutos (Barak et al., 2010). Esto varía según los niveles de entrenamiento, ya que el sistema nervioso autónomo tiene una recuperación más rápida en los sujetos altamente entrenados que en los entrenados luego del ejercicio de alta intensidad (Seiler, Haugen & Kuffel, 2007). En sujetos sanos, que realizaron ejercicio durante 20 minutos en estado estable, al 50 y al 80% del umbral anaeróbico, se encontró que a los 15 minutos post-ejercicio aún persistía la taquicardia en posición sentado. Ante esto, el estudio concluyó que después de 15 minutos de recuperación la actividad simpática había aumentado mientras que la actividad parasimpática (vagal) no se había recuperado en su totalidad, y que para la restauración completa del control autónomo fue suficiente una hora para el ejercicio al 50% del umbral anaeróbico (Terziotti, Schena, Gulli & Sevese, 2001).

La recuperación de la FC depende de la intensidad del ejercicio y de la modalidad (Barak et al., 2010). En la figura 8 se presentan diferencias entre la intensidad moderada y alta (** $p < 0,001$) y entre la intensidad moderada y la carrera prolongada ($p < 0,05$), nótese en la gráfica que la FC tiene una fase rápida en la recuperación hasta el minuto 2 aproximadamente. En este sentido, se ha evaluado la actividad vagal post-ejercicio en hombres y mujeres jóvenes a intensidades de 2, 3 y 4 mmol/L de lactato sanguíneo en pruebas de cicloergómetro en posición supina durante 20 minutos. Luego de cinco minutos de finalizado el ejercicio la reactivación parasimpática se redujo en sujetos no entrenados independiente de la intensidad del ejercicio (Gladwell, Sandercock & Birch, 2010). También se ha descrito un estudio en el que un grupo de hombres (35 ± 5 años) entrenados en resistencia realizaron ejercicio en cinta rodante a intensidades del 60% (3 km), 60% (14 km) y del 85% (3 km) de la velocidad del VO_2 máx. Se encontró que la recuperación de la variabilidad de la FC fue similar en las tres formas de ejercicio señaladas, siendo menor en la tercera que en la primera. También se concluyó que el aumento de la intensidad y del volumen provocó una disminución en la recuperación de la variabilidad de la FC inmediata, y que los dos primeros minutos de recuperación dan información suficiente sobre la

recuperación de la variabilidad de la FC (Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko & Nummela, 2010).

Figura 8

Dinámica de la FC_r post-ejercicio de diferentes intensidades. Moderada intensidad (MODE) en carrera de 3km al 60% del VO₂ máx., de alta intensidad (HI) en carrera de 3 km al 80% del VO₂ máx. y prolongado (PRO) en 14 km al 60% del VO₂ máx. (tomado de Kaikkonen et al., 2010).



Se ha demostrado también que en la recuperación de la FC influye la posición del cuerpo. Así, se ha reportado un retraso en la actividad vagal tras ejecutar ejercicio independientemente de si fue en posición vertical o en posición supina. Sin embargo, se ha observado que la recuperación en el comportamiento de la FC fue moderadamente afectada por la posición del cuerpo en el ejercicio (Barak et al., 2010). En un estudio con sujetos jóvenes, moderadamente entrenados, en el que realizaron ejercicio submáximo e intermitente máximo seguidos de cinco minutos de recuperación en diferentes posiciones del cuerpo, se concluyó que la posición supina acelera y aumenta la activación parasimpática más que las posición vertical, sentado y supina con piernas hacia arriba, pero los efectos fueron menos evidentes post-ejercicio intermitente máximo (Buchheit, Al Haddad, Laursen & Ahmaid, 2009a). También, se ha descrito un protocolo de carrera incremental en 20 metros con cuatro estadios de dos minutos y con pausas de recuperación entre ellos de un minuto, en las cuales los sujetos se mantienen de pie en forma estacionaria, con el fin de verificar la FC durante todo el test y en la recuperación durante un minuto luego de haber terminado el estadio número cuatro (Borresen & Lambert, 2008).

La recuperación según la posición del cuerpo en el esfuerzo puede prescribir la recuperación de la FC post-ejercicio submáximo. El ejercicio de alta intensidad provoca una reactivación vagal acompañada de otros fenómenos produciendo que la FC no llegue a valores de reposo luego de 10 minutos (Barak et al., 2010). En relación a esto se encontró que en sujetos normales (sin enfermedad cardíaca conocida), luego que realizaran ejercicio incremental en cicloergómetro, existió un aumento gradual de la actividad vagal en la recuperación (Arai et al., 1989).

Inclusive la recuperación de la variabilidad de la FC medida en posición vertical y supina en un tiempo menor a una hora pareciera depender del tipo de ejercicio, ya sea constante o intermitente, contrariamente a lo que ocurre con la recuperación en un tiempo menor a 48 horas, en hombres jóvenes medidos en posición supina y vertical (Mourot, Bouhaddi, Tordi, Rouillon & Regnard, 2004). Tampoco la FC ha llegado a valores de reposo luego de 30 minutos y de una hora (Barak et al., 2010). En el ejercicio submáximo en cicloergómetro, a intensidades cercanas al 65% del VO_2 máx., y con una hora de duración se ha encontrado que la actividad parasimpática aumentó y que la actividad simpática disminuyó luego de una hora y, requirió de más tiempo de recuperación en sujetos varones saludables de entre 18 y 35 años (Poerber, Braun & Freedbon, 2004). Junto a esto se ha sugerido que existe una activación del sistema simpático persistente en un grupo de sujetos controles sanos hasta 24 horas post-ejercicio de intensidad máxima (Furlan et al., 1993).

Aunque es sabido que las respuestas fisiológicas variables en un ejercicio submáximo pueden resultar de la contribución de las vías aeróbicas y anaeróbicas, las cuales van a depender de la FC máxima y del VO_2 máx., los estudios reportados sobre la recuperación del comportamiento de la FC post-ejercicio han definido las intensidades de carga como porcentajes del VO_2 máx. (Barak et al., 2010), pues generalmente las intensidades del ejercicio se determinan en relación a porcentajes de la FC o del VO_2 máx. (Meyer, Gabriel & Kindermann, 1999). Parekh & Lee (2005), tras observar a un grupo de hombres jóvenes luego de realizar ejercicio en cinta rodante, concluyen que el ejercicio a una intensidad del 80% del VO_2 máx. de reserva causó una restauración más rápida de la modulación vagal que a intensidades del 50% del VO_2 máx. de reserva medido en la recuperación durante 30 minutos en posición supina.

Por otro lado, y luego de realizar un ejercicio submáximo al 50 y al 80% del umbral anaeróbico, se ha demostrado que en la recuperación de la FC en 15 minutos el sistema cardiovascular se vio alterado y el tono del nervio vago no se recuperó completamente; y se observó que después del ejercicio submáximo hubo un retraso de la actividad vagal y en algunos parámetros del comportamiento de la FC

independiente de las posiciones del cuerpo en el ejercicio (el descenso en el comportamiento de la FC post-ejercicio puede deberse a efectos hormonales sobre la modulación vagal). Después de realizar un ejercicio en posición vertical cae el gasto cardíaco y la presión arterial, lo que se puede restablecer por medio de una mayor acción del sistema simpático. Se ha sugerido que luego de 15 minutos de realizar ejercicio submáximo los valores de FC no regresan a valores previos al ejercicio, independiente de la posición del cuerpo durante su ejecución. Se plantea, además, que aún no se conoce con claridad cuál es la posición del cuerpo más favorable para acelerar la recuperación de la regulación autonómica cardíaca (Barak et al., 2010).

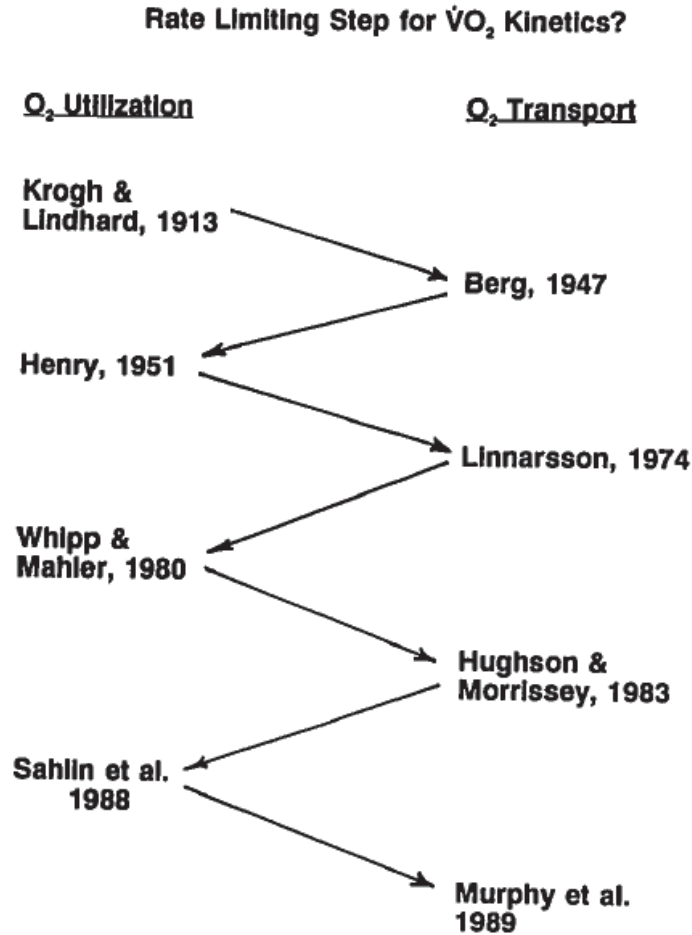
2.3 Consumo de oxígeno en el ejercicio submáximo y máximo

En el aumento del VO_2 tras los cambios de intensidad en el esfuerzo se puede diferenciar entre el sistema de transporte de O_2 y de la utilización de O_2 . De estos sistemas (figura 9) se ha establecido que el primero es el que limita el VO_2 (Hughson, 1990). A intensidades moderadas de ejercicio y de carácter constante se han presentado dos tipos de respuesta. La primera se caracteriza por un retraso de la sangre en llegar a la musculatura en esfuerzo y que lo determina principalmente el flujo sanguíneo pulmonar. En la segunda existe una extracción de oxígeno por parte de la musculatura, lo que provoca un aumento exponencial en el comportamiento del VO_2 para lograr un estado de equilibrio que no varía a esta intensidad moderada de trabajo (Whipp, 1994).

Tras el comienzo del ejercicio submáximo el VO_2 no puede llegar de inmediato al estado estable, por lo que otras fuentes de energía deben cumplir esta transición, como es el caso de la PCr y las reservas de oxígeno musculares (Xu & Rhodes, 1999). De tal forma, ante un ejercicio de intensidad moderada en bicicleta en posición supina en un grupo de hombres (Barstow, Buchthal, Zanconato & Cooper, 1994), se observó que la constante de tiempo para la hidrólisis del ATP no fue significativamente diferente a la de la PCr, presentando valores entre 24 y 26 segundos en los primeros instantes.

Figura 9

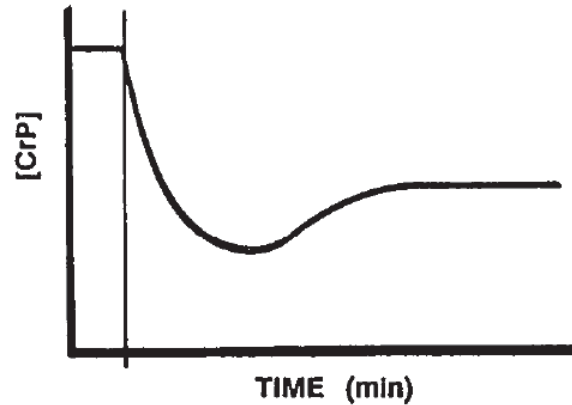
Etapas en la historia del control en la dinámica del $\dot{V}O_2$. El transporte vs la utilización del oxígeno (tomado de Hughson, 1990).



Se ha demostrado que los niveles de PCr disminuyen al inicio del ejercicio submáximo (figura 10) a una intensidad del 65% del $\dot{V}O_2$ máx. y luego no hay cambios en ella (Xu & Rhodes, 1999). En un estudio, que investigó el desempeño de 11 sujetos que realizaron ejercicio submáximo al 67% del $\dot{V}O_2$ peak durante 98 minutos antes y después de un entrenamiento de tres a cuatro días, se advirtió que las concentraciones de lactato se redujeron en un 44% a los tres minutos de ejercicio y que el $\dot{V}O_2$ no se alteró en la fase no estacionaria (Green, Cadefau, Cussó, Ball-Burnett & Jameison, 1995). Esto indicaría que al inicio de este ejercicio submáximo se emplearían fuentes anaeróbicas para la resíntesis de ATP.

Figura 10

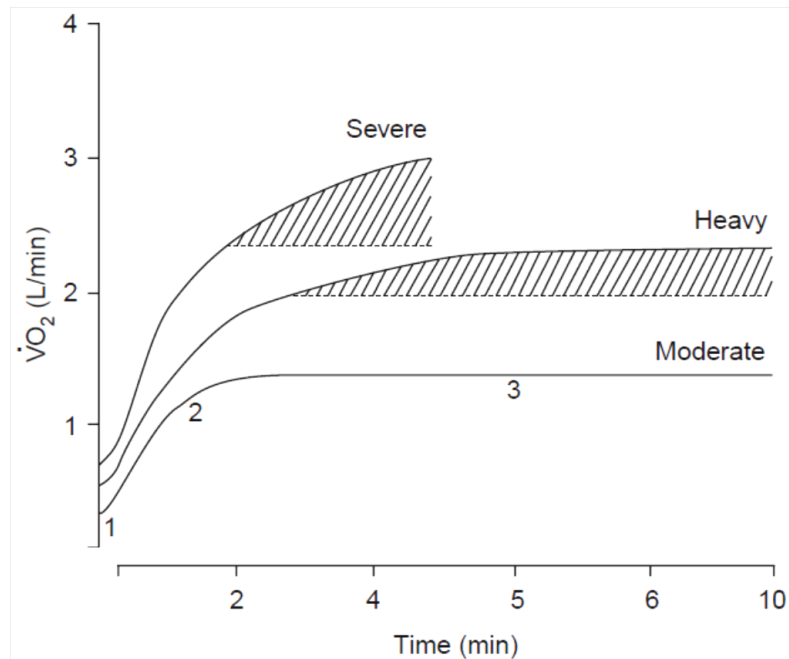
Exceso en la utilización de la PCr durante el déficit de O₂.
 La PCr suministraría fosfatos de alta energía inclusive en el ejercicio submáximo en bicicleta (tomado de Hughson, 1990).



Junto a lo anterior, se ha reportado una correlación entre la disminución de la PCr y el tiempo en que responde el VO₂ en el ejercicio submáximo. También se ha encontrado que las constantes de tiempo del comportamiento de la PCr fueron similares al comportamiento del VO₂ en la fase de estado estacionario (Xu & Rhodes, 1999), por tanto, el comportamiento de la PCr refleja la del VO₂ (figura 10). Así, el comportamiento del VO₂ es muy similar a la de la PCr al inicio del ejercicio, tanto de forma experimental como teórica (Lai et al., 2007). Por un lado, la respuesta de la PCr ha demostrado ser lineal a la intensidad del esfuerzo caracterizando una simetría (Rossiter et al., 2002), y más aún en detalle la relación entre la creatinkinasa, la ATPasa celular del músculo y la fosforilación oxidativa ha quedado de manifiesto en algunas ecuaciones que describen su funcionamiento acoplado (Kushmerick, 1998). Por otro lado, en los primeros instantes del ejercicio de intensidad moderada, la respuesta del VO₂ pulmonar se presenta en una curva exponencial, es decir, por debajo del umbral de lactato, y luego adquiere una simetría con el ritmo del esfuerzo. Al contrario, en el ejercicio de alta intensidad el comportamiento del VO₂ es más complejo, por lo que esta curva exponencial y simetría no se ha demostrado para caracterizar la respuesta del VO₂.

Figura 11

Respuesta del $\dot{V}O_2$ a diferentes intensidades.
Las zonas sombreadas indican el componente lento del $\dot{V}O_2$ (tomado de Gaesser & Poole, 1996 en Xu & Rhodes, 1999).



En el estudio de McCreary et al., (1996) se comparó las respuestas de la PCr, del fosfato inorgánico³ y del $\dot{V}O_2$ durante un ejercicio de intensidad moderada, que consistía en realizar flexiones plantares de tobillo en un grupo de hombres y mujeres jóvenes. Se encontró que las constantes de tiempo para las variables de interés fueron similares y que el comportamiento del $\dot{V}O_2$ en el músculo reflejó la de los fosfatos musculares. Sin embargo, se ha planteado que en personas jóvenes al ocurrir más rápido el fenómeno de la aceleración del comportamiento del $\dot{V}O_2$ pulmonar, el esfuerzo no requiere de una producción de energía anaeróbica aportada por la PCr en el ejercicio submáximo (Stathokostas, Kowalchuk, Petrella & Paterson, 2009).

Por otro lado, se ha determinado, que la respuesta del $\dot{V}O_2$ en el ejercicio también varía según la posición del cuerpo, pues el comportamiento del $\dot{V}O_2$ es más lento en posición supina que en posición vertical (Xu & Rhodes, 1999). Se comparó el $\dot{V}O_2$, el déficit de O_2 , el estado estable de $\dot{V}O_2$ y el $\dot{V}O_2$ en la recuperación en la realización del ejercicio en posición vertical y supina a intensidad constante en hombres adultos. El déficit de O_2 y el $\dot{V}O_2$ de recuperación fue menores en la posición vertical que en la supina, el estado de equilibrio del $\dot{V}O_2$ fue similar en ambos tipos de

³ La energía liberada de la PCr se usa para unir un fosfato inorgánico (P_i) al ADP (Wilmore y Costill, 2007).

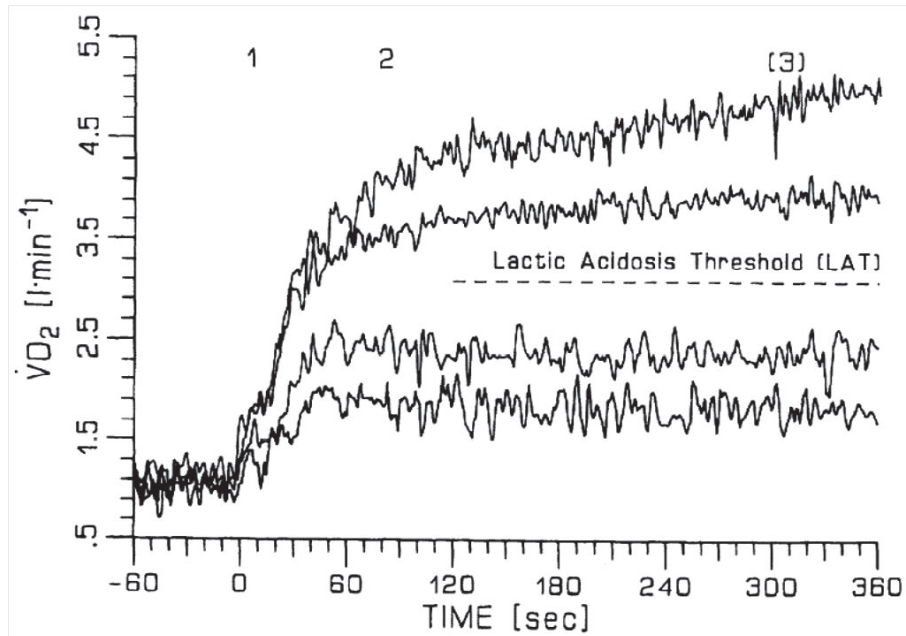
esfuerzo y el VO_2 total mayor en la posición vertical (Convertino, Goldwater & Sandler, 1984). Hughson (1991) encuentra que el VO_2 y a FC se redujeron significativamente en una prueba hasta el agotamiento en posición supina, comparada con la posición vertical en hombres jóvenes y sanos. En pruebas submáximas no hubo diferencias en estas variables, tanto en posición vertical como supina.

El comportamiento del VO_2 se ha estudiado generalmente en músculos pequeños, pues la dificultad técnica de utilizar medios no invasivos para la medición de la PCr y el flujo de sangre así lo amerita. Sin embargo, existe similitud en el estrés fisiológico entre la musculatura pequeña y la musculatura más grande, pero la extrapolación de resultados debe realizarse con precaución, pues se ha encontrado una respuesta menor del comportamiento del VO_2 en la musculatura de los brazos en comparación con la musculatura de las piernas (Xu & Rhodes, 1999). En este sentido, se estudió los tiempos medios de VO_2 de la musculatura de piernas y brazos en trabajo de cicloergometría de intensidad submáxima, tanto en posición supina como vertical. La respuesta del tiempo medio del VO_2 en posición supina fue más larga en los brazos que en las piernas a igual VO_2 absoluto, pero similar en términos relativos. En posición vertical (sentado) el tiempo medio del VO_2 fue más corto, pero el del brazo ligeramente más largo que el de las piernas. Finalmente, el déficit de O_2 fue mayor que la deuda de oxígeno en la recuperación en ambas formas de ejercitación (vertical y supino). Se detalla además que la glucólisis anaeróbica ocurre temprano, sobre todo en el ejercicio con los brazos (Cerretelli, Shindell, Pendergast, Di Pampero & Rennie, 1977).

Por otra parte, se ha sugerido que en el ejercicio submáximo de ciclismo a intensidades bajas de 50, 55 y 100 W el VO_2 alcanza un valor de estado estable a los tres minutos de ejercicio, pero al aumentar el esfuerzo hasta los seis minutos a intensidades de 125, 150 y 175 W no se obtiene un estado estacionario (Noordhof, Koning & Foster, 2010). En el caso de ciclistas entrenados se ha evaluado la linealidad del comportamiento del VO_2 durante diferentes intensidades de trabajo (34, 54, 85 y 100% del VO_2 máx.). El VO_2 aumentó de manera lineal al tiempo en las dos intensidades menores de trabajo, pero no se observó linealidad en las otras intensidades mayores (Barstow & Molé, 1991). Como se muestra en la figura 12, el estado estacionario del VO_2 se aprecia desde los 120 segundos (fase 3) por debajo del umbral de lactato, pero este estado no se presenta por sobre dicho umbral.

Figura 12

Respuestas del VO_2 en ejercicio en cicloergómetro. Un sujeto joven realiza cuatro cargas de trabajo: 36, 47, 79 y 100% del VO_2 máx. (LAT: umbral de lactato. Tomado de Barstow & Molé, 1991).



La respuesta del VO_2 en relación a la intensidad del ejercicio se puede establecer en diferentes áreas. El área de esfuerzo moderado es aquella que no genera una acumulación de lactato significativo, y su límite superior va a estar marcado por el umbral de lactato o umbral anaeróbico (Xu & Rhodes, 1999). Intensidades por debajo del umbral anaeróbico pueden mantenerse por tiempo prolongado, pero en las que están por sobre dicho parámetro la tolerancia a la fatiga se reduce. Así, el umbral anaeróbico puede demarcar zonas de intensidad para ejercicios de intensidad moderada y pesada. Es decir, existe una dinámica lineal entre el tiempo y el VO_2 a intensidades por debajo del umbral anaeróbico, producto de esto un estado estable se alcanza al cabo de tres minutos. A intensidades por sobre el umbral anaeróbico el componente lento del VO_2 retrasa el estado estable, el que es alcanzable por sujetos que están más entrenados en estas intensidades (Whipp, 1987).

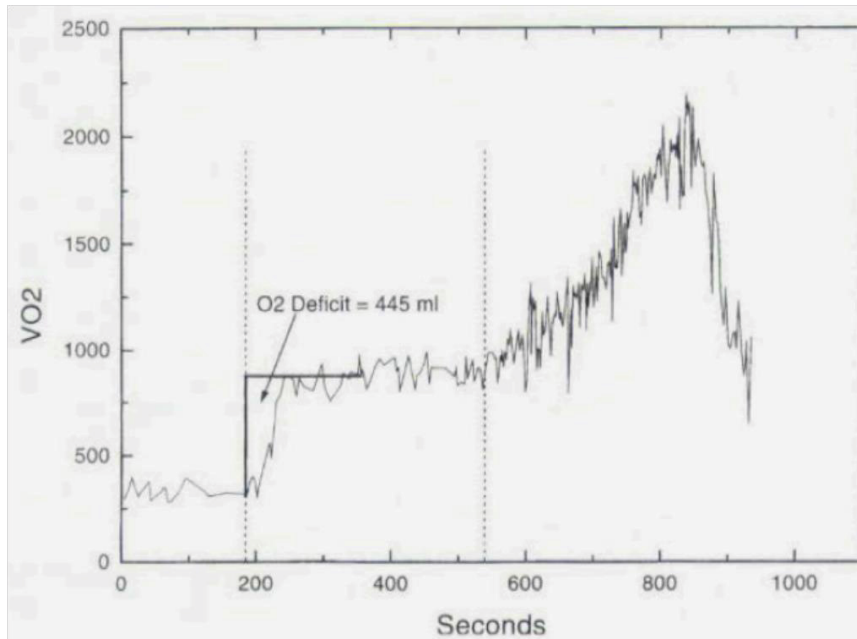
El comportamiento del transporte de O_2 desde el reposo hasta el 40% del umbral de lactato ha sido más rápido que entre el 40 y 80% del umbral de lactato, por lo tanto, no tendría un incremento lineal con la carga en el ejercicio (Xu & Rhodes, 1999). Se detalla, además, que el comportamiento del VO_2 mostró una constante de tiempo mayor en pruebas que se precedían por otros test anteriores, es decir, entre transiciones de ejercicios o con pausas entre ellos, en comparación a pruebas que comenzaban desde el estado de reposo. Tanto las pruebas con una intensidad entre

el 40 y 80% y como las entre el 40 y 120% del umbral anaeróbico presentaron un comportamiento del VO_2 con una constante de tiempo más larga que las pruebas que iban desde el reposo al 80% y del reposo al 40% del umbral anaeróbico (Hughson & Morrissey, 1982).

El comportamiento del VO_2 más lento, entre el 40 y 80% del umbral de lactato, se explicaría por una FC más baja ya que el volumen sistólico alcanza su máximo entre el 40 y el 50% del VO_2 máx., por lo tanto, el gasto cardíaco sería menor (Xu & Rhodes, 1999). Para dar cuenta de ello, se estudió la constante de tiempo del VO_2 , la FC y la ventilación en seis sujetos con pruebas que iban desde el reposo hasta el 80% del umbral anaeróbico, desde 0 W (sin pedaleo) hasta el 80%, desde el reposo al 40%, y del 40 al 80% del umbral anaeróbico. En estas se encontró que la constante de tiempo y la media de constante de tiempo del VO_2 y de la FC no fueron significativamente diferentes en el reposo o en la primera prueba (0 W hasta el 80%), además se encontró que fueron más rápidas en la segunda prueba (reposo hasta el 40%) y más lentas en la tercera prueba (40 hasta el 80%) que en el reposo o en la primera prueba. Se concluyó que la variación coincidente en la FC y en el VO_2 apoya la hipótesis que el comportamiento del VO_2 es controlada por el transporte de O_2 (Hughson & Morrissey, 1983).

En el ejercicio de baja intensidad se puede observar una tasa constante en el VO_2 y un menor déficit de oxígeno que abarca desde el reposo hasta el estado de equilibrio, y un menor RPE (Carmouche, Bubein & Kay, 1998). En la figura 13 se aprecia un ejercicio de intensidad constante durante 6 minutos y luego escalonado de 1 minuto de duración, en que el ejercicio constante está a una intensidad por sobre las 120 p/m (50% del VO_2 máx. aproximadamente) y el VO_2 en estado estable se calculó como el promedio del VO_2 desde el minuto cuatro al seis. También se ha propuesto que en una primera fase del ejercicio continuo de intensidad moderada el VO_2 tiene un rápido aumento, el cual se completa entre los primeros 15 a 25 segundos aproximadamente. Esta fase se aprecia mejor, sobre todo cuando el ejercicio comienza desde un estado de reposo equivalente a una carga de 0 W (Xu & Rhodes, 1999). La constante de tiempo para el VO_2 después de los primeros 15 a 20 segundos parece reflejar la utilización del oxígeno por parte de la musculatura (Barstow, 1994).

Figura 13
Comportamiento del VO_2 en cinta rodante
(tomado de Carmouche, Bubein & Kay, 1998).



El aumento del VO_2 se produce por el gasto cardíaco y por el flujo sanguíneo pulmonar, por lo mismo, ante un cambio en el O_2 venoso del músculo este gas no llegaría a los pulmones en tan corto tiempo, de manera que no afectaría esta fase del comportamiento del VO_2 . Sin embargo, esto es contradictorio, pues se ha demostrado que el O_2 venoso mixto disminuye antes del tiempo previsto para llegar a los pulmones (Xu & Rhodes, 1999). Supuestamente la captación de O_2 y el aumento de la ventilación que se producen en los primeros instantes del ejercicio no pueden hacer cambios en los gases de la sangre por la demora circulatoria. Para probar esto se sometió a sujetos sanos a esfuerzo en cicloergómetro de intensidad submáxima comenzando en el estado de reposo. Se demostró que desde el reposo al ejercicio en estado estable la saturación de O_2 bajó del 71 al 41%, con un tiempo promedio de 32 segundos. Después de iniciar el ejercicio, no se encontraron cambios rápidos en la composición gaseosa en la vena cava superior, además se concluyó que al iniciar el esfuerzo existe una rápida caída en la saturación de O_2 y un aumento en la sangre venosa mixta mucho antes de la llegada de la sangre a las piernas (Casaburi, Daly, Hansen, & Effros, 1989).

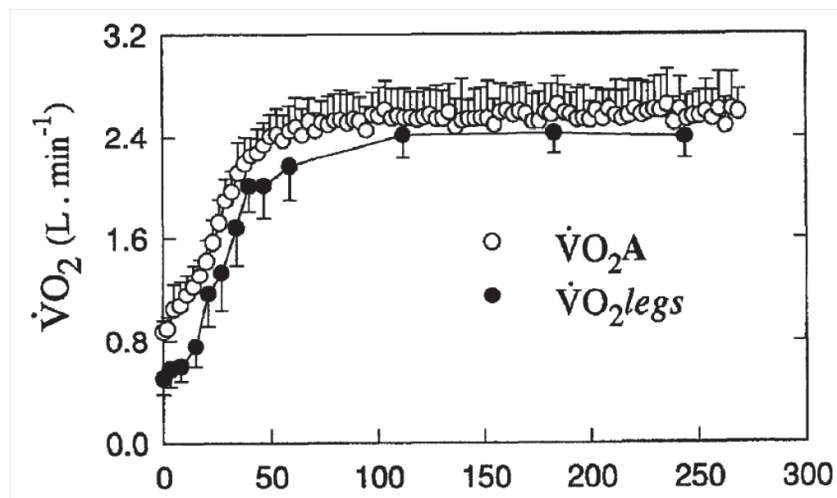
Por otra parte, se ha concluido en un estudio que el comportamiento del VO_2 en su primera fase no está limitado por el aporte de oxígeno a la musculatura activa en un ejercicio en bicicleta (Xu & Rhodes, 1999). De tal forma que se sometió a trabajo en bicicleta a intensidad por debajo del umbral ventilatorio a seis sujetos entrenados. En

los primeros 10 a 15 segundos de esfuerzo correspondientes a la fase uno el VO_2 alveolar y el flujo sanguíneo de las piernas aumentaron rápidamente, pero el VO_2 de las piernas aumentó ligeramente y la diferencia arterio-venosa de O_2 de las piernas disminuyó. En la fase dos estas variables tuvieron un aumento monoexponencial con constantes similares de tiempo, pero ligeramente más rápido para la diferencia arterio-venosa de O_2 en las piernas. Se concluyó que el comportamiento del VO_2 alveolar y del VO_2 de las piernas (figura 14) es similar y que la entrega de O_2 a las piernas no limita el comportamiento del VO_2 en ellas. También se reporta que no se ha discriminado entre la mala distribución del flujo de sangre/ VO_2 y la maquinaria oxidativa intracelular como factor limitante (Grassi et al., 1996).

Se ha señalado, a su vez, que el transporte de O_2 no es un factor determinante en el comportamiento del VO_2 en el inicio de un ejercicio de esfuerzo moderado en sujetos normales, pues se puede compensar la disminución del flujo sanguíneo con un aumento del gasto cardíaco o con la extracción de oxígeno. También se ha demostrado que un aumento de la perfusión a las piernas a través de un ejercicio intenso no ha cambiado el comportamiento del VO_2 en la primera fase durante un ejercicio de intensidad moderada ejecutado posteriormente (Xu & Rhodes, 1999). Ante esto, Williamson, Raben & Whipp (1996) concluyen que es posible sugerir que el aporte de oxígeno no depende del flujo de sangre al comienzo del ejercicio. En este sentido, en lo que respecta a la intensidad del esfuerzo, se estudió a once hombres ciclistas en pruebas de moderada y alta intensidad, que realizaron dos trabajos de seis minutos con una pausa entre ambos de otros seis minutos, a intensidad de cero W. Los trabajos de seis minutos tuvieron intensidades de 1) por debajo del umbral de lactato, 2) por sobre dicho umbral, 3) por debajo y por sobre el umbral y 4) por sobre y por debajo del umbral. Se encontró que el comportamiento del VO_2 a intensidad por debajo del umbral fue similar si el trabajo anterior fue por sobre o por debajo del umbral; también que el comportamiento del VO_2 a intensidad por sobre el umbral, que fue precedida por intensidad sub-umbral "calentamiento", eran similares al comportamiento del VO_2 a intensidad por sobre el umbral, que no fue precedida por el calentamiento. Los valores parciales de déficit de O_2 promedio fueron de 2,6 y 2,5 litros y el tiempo de VO_2 promedió 56 y 65 segundos, respectivamente (Gerbino, Ward & Whipp, 1996).

Figura 14

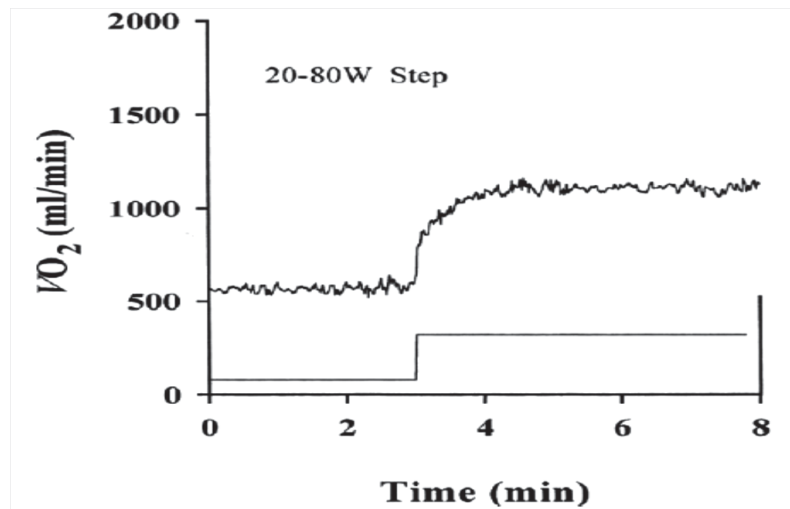
Curva del $\dot{V}O_2$ alveolar (círculos blancos) y consumido por las piernas (círculos negros). Ejercicio en cicloergómetro (tomado de Grassi et al., 1996).



En la segunda fase del comportamiento del $\dot{V}O_2$ comienzan a ocurrir cambios metabólicos que dan lugar a un estado estacionario del $\dot{V}O_2$, por lo tanto, se ha establecido una relación lineal entre el comportamiento del $\dot{V}O_2$ y el ritmo de trabajo (Xu & Rhodes, 1999). Se estudió la respuesta del $\dot{V}O_2$ y otros indicadores durante un ejercicio de intensidad moderada en pruebas de bicicleta a intensidad constante de 100 W. Los test tuvieron un descanso previo, o por el contrario se utilizó la bicicleta sin carga, encontrándose que una respuesta temprana del $\dot{V}O_2$ se presentó tras la consecución de varias pruebas de igual carga (100 W). La respuesta del $\dot{V}O_2$ se presentó abruptamente cuando el ejercicio era precedido por el descanso, pero fue más lenta y pequeña la respuesta cuando se precedió de la carga de cero W. Alrededor de 20 segundos tras el inicio del ejercicio se generó un nuevo aumento del $\dot{V}O_2$ monoexponencial al estado estacionario, ya sea si se precedió desde el reposo o desde cero W. Se concluyó que esta curva exponencial, producto del ejercicio de intensidad moderada, se describe de forma más adecuada como respuesta a la segunda fase del comportamiento del $\dot{V}O_2$ (Whipp, Ward, Lamarra, Davis & Wasserman, 1982).

Figura 15

Estado estable del VO_2 en una prueba en cicloergómetro. Sujetos sedentarios saludables (tomado de Yoshida, Abe, Fukuoka & Hughson, 2008).



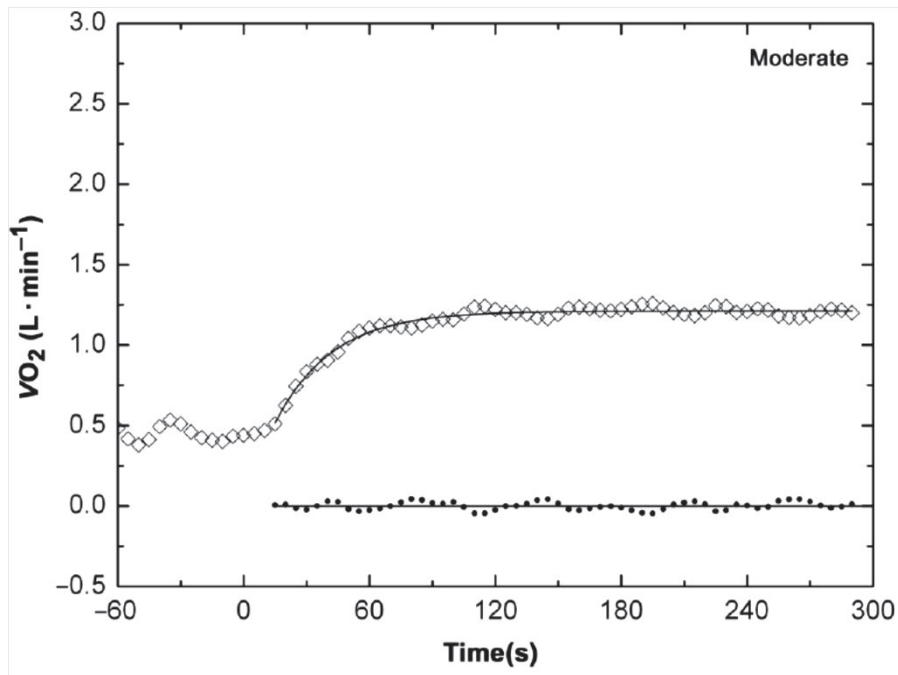
Parece ser que en los primeros instantes de la fase dos la capacidad oxidativa de la musculatura no afecta en la mejora del comportamiento del VO_2 (Xu & Rhodes, 1999). En la figura 14, presentada anteriormente, se ha mostrado el comportamiento del VO_2 en un ejercicio realizado en cicloergómetro, en que el estado estacionario comienza a los 60 segundos de esfuerzo aproximadamente. Por su parte, la fase estable del VO_2 en cicloergómetro se presenta a partir del tercer minuto (carga de 80 W) esta vez en sujetos sedentarios (véase la figura 15).

Para graficar que se ha alcanzado el VO_2 en estado estable este se puede expresar como una función exponencial (Carmouche et al., 1998), la cual se establece a una intensidad por debajo del umbral ventilatorio (Yoshida et al., 2008), es decir, con un incremento más rápido en los primeros instantes para luego representar una meseta, tal como se detalla en la figura 16. En esta figura la fase dos comienza después del primer minuto con 15 segundos, pero en los adolescentes es independiente de la intensidad del ejercicio realizado en bicicleta (moderada, pesada y muy pesada), y en este caso la fase dos se aprecia para la intensidad moderada.

El incremento rápido del VO_2 y la meseta posterior son un modelo único exponencial que se ha reportado en varios estudios realizados en niños y adultos (Lai et al., 2007). En este sentido, se ha reportado que la fase dos del comportamiento del VO_2 es una función monoexponencial tras evaluar el desempeño en bicicleta en nueve niños entre los 9 y los 12 años, y en ocho hombres de entre los 19 y los 27 años que realizaron pruebas en bicicleta a intensidades crecientes respecto de porcentajes del VO_2 máx. en dos días consecutivos. También se indicó que el déficit de O_2 no tuvo

diferencias entre las dos muestras, y se concluyó que el déficit de oxígeno y el componente rápido del VO_2 inclusive a altas intensidades, son similares (Hebestreit, Kriemler, Hughson, & Bar-Or, 1998).

Figura 16
Fase dos en la curva del VO_2
(tomado de Lai et al., 2007).



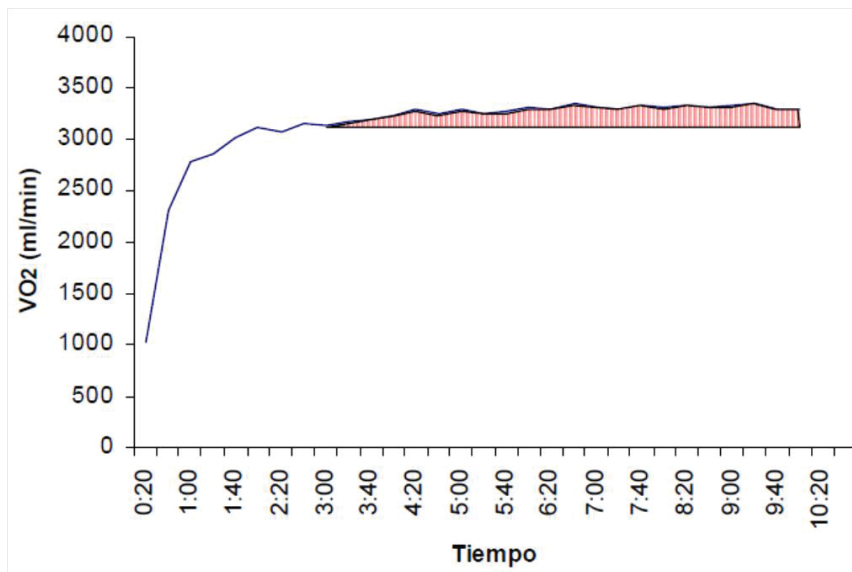
Aún no se establece un acuerdo en que si los mecanismos que están implicados en esta segunda fase del comportamiento del VO_2 se relacionan de manera lineal con la intensidad de trabajo desde el reposo hasta alcanzar el VO_2 máx. Para cuantificar estos factores limitantes del comportamiento del VO_2 son necesarios modelos matemáticos de la biofísica que describan el transporte de oxígeno en diferentes intensidades del ejercicio, idea que ya ha sido propuesta en otras investigaciones (Lai et al., 2007). Los estudios teóricos han indicado que la actividad de la creatinquinasa disminuye y produce una aceleración en la primera fase del comportamiento del VO_2 pero enlentece la segunda fase. También se ha demostrado que el tiempo medio de transición del comportamiento del VO_2 está determinado por la cantidad de PCr que se convierte en creatina desde el reposo al ejercicio, por lo que cuando se reduce la diferencia de PCr entre el descanso y el ejercicio, se acelerará el comportamiento del VO_2 . En suma, los cambios en las concentraciones de diferentes sustratos determinan las transiciones entre estados estacionarios de los sistemas biológicos (Korzeniewski & Zoladz, 2004).

Se le ha prestado poca atención a la velocidad con que el VO_2 alcanza su valor máximo y también a su comportamiento post-ejercicio. En el ejercicio de intensidad moderada el comportamiento del VO_2 se ha descrito como una función monoexponencial, sin embargo, este comportamiento es más complejo para el ejercicio intenso ya que se incluye un componente lento del VO_2 que es más retrasado y que también tiene la característica de ser exponencial. Ante esto, y luego de evaluar a un grupo de hombres sanos de entre los 22 y los 58 años, que realizaron una serie de ejercicio en cicloergómetro a distintas intensidades (Ozyener, Rossiter, Ward & Whipp, 2001), se obtuvo que el comportamiento del VO_2 está notablemente influenciado por la intensidad del ejercicio.

En el ejercicio de alta intensidad existe un componente lento del VO_2 que se presenta en esta segunda fase (Xu & Rhodes, 1999). En los esfuerzos que actúan en una acidosis láctica se obtiene una fase lenta del VO_2 , pues se trata de un retraso en la aparición del VO_2 y posteriormente un estado estable en el que el lactato en sangre puede estabilizar o disminuir el ritmo de trabajo del ejercicio intenso. A intensidades mayores, por ejemplo, a intensidad severa, el estado de equilibrio es inalcanzable y se acerca el punto de VO_2 máx. Este componente lento del VO_2 se manifiesta predominantemente en las fibras de contracción rápida (Whipp, 1994). Es decir, cuando el ejercicio se vuelve más pesado se eleva el lactato en sangre y la respuesta del VO_2 se vuelve más compleja, el VO_2 sigue aumentando de manera exponencial al ritmo de trabajo hasta que se advierte un desarrollo lento del VO_2 , luego existe un equilibrio y hay acumulación de lactato en sangre (Barstow, 1994).

El componente lento del VO_2 retrasa el apareamiento del estado estacionario y está muy relacionado con el inicio de la acumulación de lactato (Xu & Rhodes, 1999). En los esfuerzos asociados con el aumento del lactato en sangre el VO_2 sigue aumentando más allá de los tres minutos y demora o impide adquirir un estado estable. En la figura 17 se representa a un atleta que realiza un test en cinta rodante al 90% del VO_2 máx. en que desde el minuto tres en adelante se aprecia el componente lento del VO_2 . Este componente se caracteriza por un incremento entre el minuto tres y seis del ejercicio, o entre el minuto tres y la culminación del esfuerzo, la cual se va a producir a una intensidad por sobre el umbral del lactato (Roston et al., 1987).

Figura 17
Componente lento del VO_2 (tomado de Santalla-Hernández, 2002).

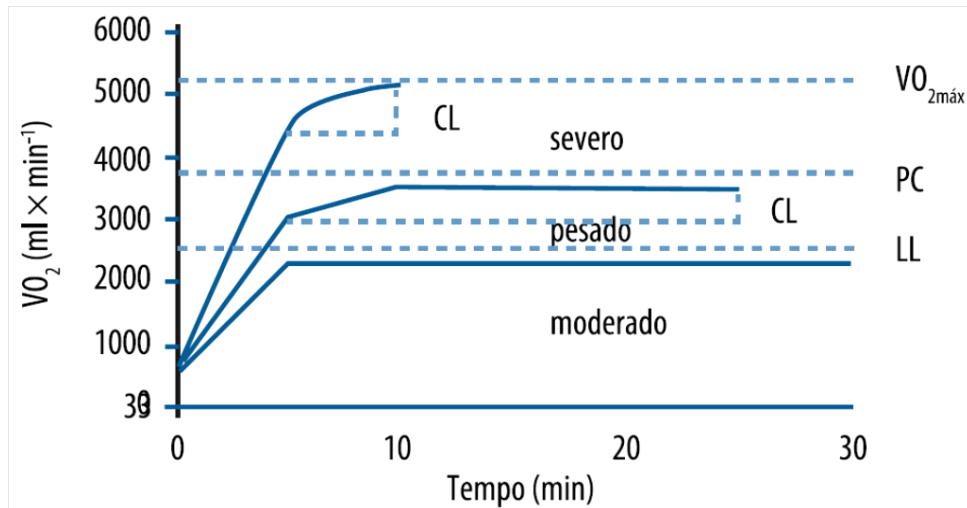


Ante un aumento en la concentración de lactato en sangre existen dos indicadores para caracterizar la respuesta del VO_2 : a intensidad menor del umbral del lactato, el comportamiento del VO_2 es exponencial, y a intensidades mayores al umbral del lactato, se ha encontrado a) una curva exponencial única, b) una curva doble exponencial, y c) una curva exponencial con una fase siguiente de comienzo tardío (Paterson & Whipp, 1991). Cuatro sujetos sanos realizaron una serie de pruebas en cicloergómetro de diez minutos, seguidos de pedaleo sin carga. Se encontró que el comportamiento del O_2 era marcadamente más lento a intensidades asociadas a elevaciones de lactato en sangre, también a altas intensidades de esfuerzo se observó un componente lento de VO_2 de carácter exponencial (Casaburi, Barstow, Robinson & Wasserman, 1989).

El componente lento del VO_2 se expresa en la diferencia del VO_2 al sexto minuto de ejercicio (o hasta su término) y a los tres minutos. Además el VO_2 no se estabiliza durante el ejercicio severo y aumenta hasta el punto de fatiga. El componente lento de esta fase es mayor que en el ejercicio de alta intensidad, pues se ha reportado un valor mayor a $1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (Xu & Rhodes, 1999). En la figura 18 se expone que con el ejercicio pesado y severo existe un componente lento del VO_2 el cual provoca una estabilidad tardía durante el ejercicio moderado, y el ejercicio de intensidad severa induce a alcanzar el VO_2 máx.

Figura 18

Representación de la respuesta del VO_2 a diferentes intensidades (PC: potencia crítica; LL: Umbral de lactato; CL: componente lento) (tomado de Caritá, Pessôa Filho, Barbosa & Greco, 2014).



Por lo general los sujetos con menos porcentaje de fibras oxidativas tienen una mayor amplitud del componente lento del VO_2 durante el ejercicio de intensidad pesada (Lai et al., 2007). Se estudió a diez sujetos que realizaron transiciones de esfuerzo a intensidades del 50% del VO_2 máx., al umbral de lactato y al VO_2 máx., también con diferentes frecuencias de pedaleo (45, 60, 75 y 90 r·min⁻¹). El componente lento del VO_2 en su expresión relativa se correlacionó significativamente y de forma negativa con el porcentaje de fibras tipo I en cada frecuencia de pedaleo. Por su parte el componente rápido del VO_2 tuvo una correlación positiva con el porcentaje de fibras tipo I en las frecuencias de pedaleo. También se encontró que el componente lento relativo del VO_2 se correlacionó de manera significativa y negativa con el VO_2 máx. y el componente rápido positivamente. Se concluyó que la distribución en el tipo de fibras afecta de manera significativa al componente rápido y al componente lento del VO_2 en el ejercicio intenso, y que los tipos de fibras pueden influir sobre el intercambio de gases en dicho tipo de ejercicio (Barstow, Jones, Nguyen & Casaburi, 1996).

De manera similar, también se ha investigado la relación entre el tipo de fibra muscular y la respuesta del VO_2 a diferentes intensidades de ejercicio en hombres jóvenes. Se encontró que el porcentaje de fibras musculares de tipo I se correlacionó significativamente con la primera fase del comportamiento del VO_2 en el ejercicio intenso. También que el porcentaje de fibras tipo I se correlacionó significativamente con la primera fase del comportamiento del VO_2 para las intensidades de ejercicio moderadas, intensas y severas. Estas últimas intensidades se correlacionaron con la

amplitud relativa del componente lento del VO_2 para las intensidades intensas y severas. Los autores del estudio concluyen que el tipo de fibra muscular en la respuesta del VO_2 persistía al considerar las diferencias entre la capacidad aeróbica y la capilaridad muscular, y que el tipo de fibra se relaciona significativamente con la velocidad y amplitud de respuesta del VO_2 en el inicio del ejercicio submáximo a intensidad constante (Pringle et al., 2003).

En la tercera fase del comportamiento del VO_2 existe un estado de equilibrio en el VO_2 durante el ejercicio submáximo, que se alcanza luego de tres minutos aproximadamente, o en menos de tres minutos, obteniéndose una ganancia de 9 a 11 ml de $\text{O}_2/\text{W}/\text{minuto}$ durante el ejercicio de intensidad moderada (Xu & Rhodes, 1999). Durante el esfuerzo de intensidad moderada el VO_2 ha alcanzado un estado de equilibrio en menos de tres minutos en sujetos normales, pues el aumento del VO_2 fue lineal al ritmo de trabajo. Coincidentemente, en el ejercicio constante de intensidad moderada se ha reportado que el VO_2 aumentó exponencialmente alcanzando un estado estable en menos de tres minutos (Roston et al., 1987). De manera similar, el VO_2 en estado estacionario se ha calculado en un tiempo entre cuatro y seis minutos en una prueba en cinta rodante a una intensidad moderada y constante en sujetos adultos (Carmouche et al., 1998). En este sentido, el VO_2 aumenta de manera exponencial desde el reposo a un estado estable durante el ejercicio de intensidad constante. Así, la diferencia entre la tasa real de VO_2 al inicio del esfuerzo y el estado estable será el déficit de O_2 (Kay, Ashar, Bubien & Dailey, 1995).

2.4 Relación entre frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno

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 RPE, los cuales reflejan la intensidad en el ejercicio (Barak et al., 2010). De manera similar, se ha encontrado que la predicción del VO_2 máx. se ha realizado en función de indicadores como la FC y el RPE en ejercicio submáximo (Klusiewicz et al., 2011). Davies, Rowlands & Eston (2008) sugieren que valores de RPE submáximos se pueden utilizar para estimar el VO_2 máx. de manera más precisa que valores de tablas entregados por pruebas de estudios múltiples. También se ha reportado que una prueba de esfuerzo submáxima guiada por la percepción ha estimado aceptablemente el VO_2 máx. en hombres jóvenes y sedentarios de mediana edad (Eston, Lambrick, Sheppard & Parfitt, 2008). Con respecto a la FC, esta se ha estudiado a un gran número de atletas, 1589 hombres y 1180 mujeres, en que se les estimó la FC máx. durante el ejercicio en su deporte específico, se calculó según la edad para todos los atletas que se ejercitaron en ergómetros combinados (hombres y mujeres) y también

se calculó para hombres y para mujeres. Se concluyó que la fórmula $220 - \text{edad}$ sobreestima la FC máx. estimada para la edad en atletas altamente entrenados, además que la FC máx. es distinta según tipo de ergómetro y es mayor en el ejercicio de cinta rodante que en el de cicloergómetro. Por último, que las mujeres tienen valores de FC máx. más altos que los hombres sobre la cinta rodante, pero en el cicloergómetro y otros ergómetros no lo es (Faff et al., 2007). En suma, la FC tiene una estrecha relación con el RPE y el VO_2 máx. como marcadores de intensidad en el ejercicio (Lambrick, Faulkner, Rowlands & 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 del ejercicio, el ambiente, etc. (Darby & Marsh, 2007). La FC tiene una relación lineal con el gasto energético durante el estado de equilibrio en ejercicio y también una estrecha relación con el VO_2 máx. (Lubans et al., 2009). Cuando la FC y el 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 & Jeukendrup, 2003). Se ha modelado matemáticamente la regresión del VO_2 máx. y la FC máx. en términos relativos. Se clasificaron 26 sujetos según niveles de actividad física en alto, medio y bajo nivel de fitness y realizaron una prueba en cinta rodante con intensidades desde el 30 al 100% del VO_2 máx. para determinar los porcentajes de ambos parámetros de interés. Se encontró una relación lineal entre VO_2 máx. (%) y FC máx. (%) con un valor de $r = 0,996$ (Londeree & Ames, 1976).

Se ha establecido una relación entre la FC y el VO_2 máx. como se aprecia en la tabla 11, nótese que el porcentaje de la FC siempre es mayor al del VO_2 máx.

Tabla 11
Relación porcentual entre el VO_2 y la FC
(tomado de Robergs & Landwehr, 2002).

VO_2 máx. %	FC máx. %
40	63
50	69
60	76
70	82
80	89
90	95

En un estudio realizado por 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 máx. para un grupo de sujetos que completaron una prueba en estado estable en cinta rodante o en cicloergómetro. También se ha reportado 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 et al., 2009). Por otro lado, se investigó la actividad del sistema simpático durante la danza aeróbica y la carrera en cinta rodante. Para ello nueve mujeres sanas realizaron ejercicio a una intensidad del 50% del VO_2 máx. en las pruebas de danza aeróbica con brazos arriba de la cabeza, con brazos abajo del hombro y carrera en cinta rodante. El promedio de la FC en las tres pruebas fue de 136 p/m y los valores de VO_2 fueron de 1,48; 1,51 y 1,47 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente, y no fueron significativamente diferentes. Se concluyó en el estudio que la respuesta cardiovascular y simpática es similar en la danza y la carrera (Berry, Cline, Berry & Davis, 1992).

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 ejercicio (Lamberts et al., 2004). Asimismo, en el ejercicio de intensidad moderada existe una relación lineal entre la FC y el VO_2 máx. que está sujeto a las diferencias individuales de las personas (Keytel et al., 2005). En algunos casos la utilización de la FC para la predicción del VO_2 máx. en ejercicio submáximo puede tener errores, como se ha encontrado en el protocolo YMCA (Robergs & Landwehr, 2002). Por su parte, el VO_2 máx. podría predecir la FC submáxima posiblemente por la relación lineal que existe entre estos parámetros o la variación de la FC día a día (Buono, Roby, Micale, Sallis & Shepard, 1991).

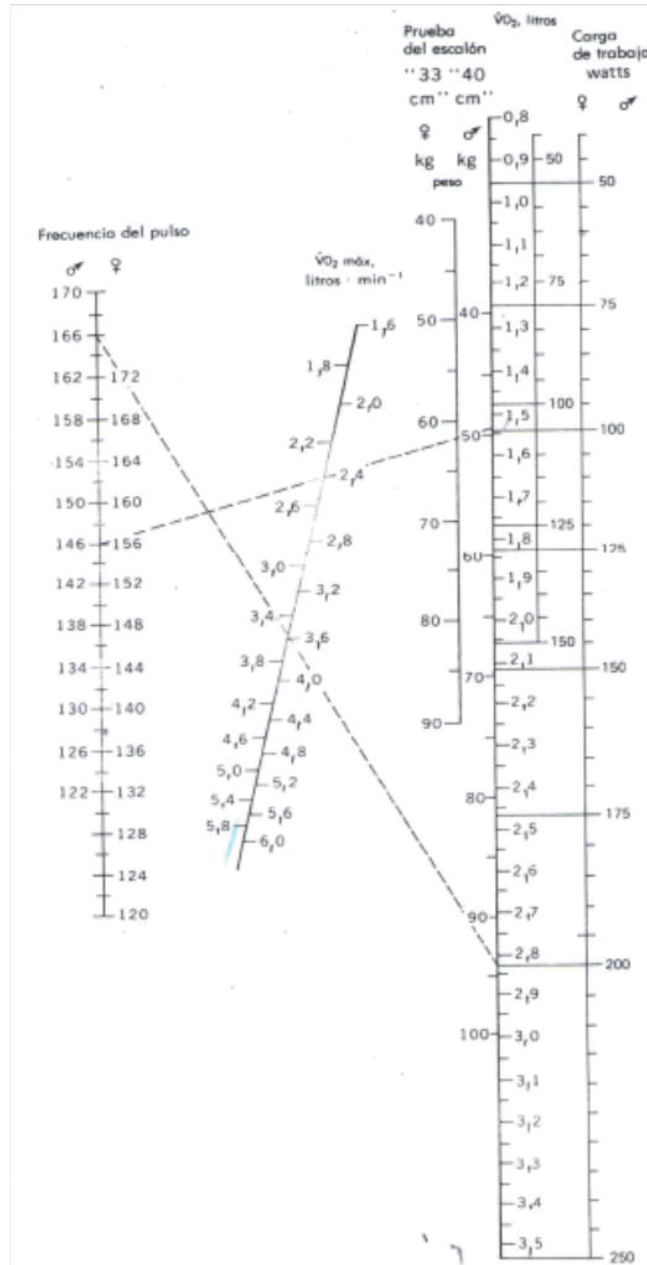
2.5 Predicción del VO_2 máx. a través de la frecuencia cardíaca de recuperación

Predecir el VO_2 máx. a partir de la FC en un ejercicio submáximo se ha considerado como una fuente importante de error de estimación (Karavirta et al., 2008). Sin embargo, se ha reportado que la FC tiene una buena relación con el VO_2 máx. al ejecutar una prueba en escalón con formas de movimiento variadas, además se ha indicado que el VO_2 máx. en una prueba en banco ergométrico y en cinta rodante ha sido similar (Darby & Marsh, 2007). También se ha observado que el VO_2 aparece a un mínimo de 20 a 25 pasos por minuto en una prueba en banco ergométrico (Souza et al., 2007).

Por su parte, la predicción del VO_2 máx. a partir de la FC obtenida en un test submáximo se ha realizado por medio de un nomograma (Achten & Jeukendrup, 2003). En el nomograma de la figura 19 se puede notar que a menor FCr, en el test

del escalón y en la prueba en cicloergómetro, el VO_2 máx. será mayor y viceversa en hombres y mujeres.

Figura 19
 Nomograma de Åstrand y Ryhming
 (tomado de Åstrand, 1960 en Åstrand & Rodahl, 1992).



De forma similar, se ha indicado que es posible calcular el VO_2 máx. por medio de la FC obtenida al finalizar la prueba de esfuerzo submáximo en escalón utilizando una ecuación de regresión, tanto para niñas como para niños (Lubans, Morgan, Callister & Collins, 2008).

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 (Ainsworth et al., 1997). En este sentido, Siconolfi, Garber, Laseter & Carleton (1985) diseñaron una prueba en escalón de 25,4 cm de altura para estimar en VO_2 máx. en donde el VO_2 máx. fue medido en una prueba en bicicleta en 48 sujetos (hombres y mujeres) de 19 a 70 años. En la prueba de escalón se encontró que el VO_2 máx. estimado fue significativamente mayor (12%) que el VO_2 máx. medido en la prueba en bicicleta.

En la década de 1990 también se desarrollaron algunas ecuaciones de predicción (Ainsworth et al., 1997), algunas de ellas fueron para estimar el VO_2 peak derivado de la situación de no ejercicio. Estos modelos pueden ser predictores válidos del VO_2 peak para muestras heterogéneas (Heild, Freedson, Ahlquist, Price & Rippe, 1995).

A la vez se ha diseñado una gran variedad de instrumentos para predecir el VO_2 a partir de ejercicios de carácter submáximo, que se han basado en la relación entre el VO_2 máx. y la FC llevadas a cabo en diferentes maquinarias, tales como cicloergómetros, cintas rodantes, etc. (Klusiewicz et al., 2011). Algunos de los protocolos en escalones ergométricos se detallan en la tabla 12.

Tabla 12

Protocolos submáximos en banco ergométrico que predicen el VO_2 máx. a partir de la FCr y otras variables ([a]: Akalan et al., 2008; VO_2 máx. en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Estudio	Año	n	Edad años	Género	Predictores VO_2 máx.	r	SEE	%
McArdle	1990	--	--	M	$111,33-(0,42*FCr)$	--	--	16
McArdle	1990	--	--	F	$65,81-(0,1847*FCr)$	--	--	16
Jette [a]	1976	24	15-74	F	Edad, masa corporal, VO_2 , FCr	--	4,1	--
Jette [a]	1976	35	15-74	M	Edad, masa corporal, VO_2 , FCr	--	4,1	--

Así como los test en banco ergométrico, las pruebas submáximas en cicloergómetro han reportado ser válidas en diferentes poblaciones para estimar el VO_2 máx. En la tabla 13 se exponen algunas de estas pruebas que utilizan ecuaciones de predicción.

Tabla 13

Protocolos submáximos en cicloergómetro para estimar el VO_2 máx. a partir de la FC y otras variables ([Å]: nomograma de Åstrand; [a]: Akalan et al., (2008); [d]: Darby y Pholman, (1999). † $p < 0,0001$.
• Predicen el VO_2 máx. en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y en •• $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$).

Estudio	n	Edad años	Género/salud	Predictores VO_2 máx.	r	SEE
Åstrand [a] (1954)	27	18-30	M sanos	Nomograma••	--	0,28
	31	--	F sanas	Nomograma••	--	0,27
Siconolfi [a] (1982)	25	20-70	M sanos	VO_2 , Åstrand, edad••	0,86	0,36
	28	--	F sanos	VO_2 , Åstrand, edad••	0,97	0,2
Siconolfi [a] (1982)	63	20-70	M y F	Edad, VO_2 en Nomograma [Å]••	0,94	0,24
Legge [a] (1986)	25	20-29	M sanos	Nomograma?, FC, (FCmáx-FC a intensidad de 0 W)••	0,98	0,17
Akalan (2008)	80	--	M y F	Masa corporal, FCr, W, género•	0,87 [†]	4,23
Fox [a] (1973)	87	17-27	M	FC en 5 min a 150 W•	0,76	246
Dardy [d] (1999)	--	--	F	Edad, masa corporal, FC•	0,74 [†]	250
Åstrand [a] (1954)	--	--	F	Edad, FC, potencia W••	--	--

Material y método

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Diseño del estudio

El estudio que aquí se presenta, se rige por un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo - correlacional y exploratorio, y cuenta con un diseño no experimental y de corte transversal.

La metodología consistió en realizar cuatro estudios en los que se aplicaron pruebas físicas submáximas y máximas, y se relacionaron las mismas variables de interés. Tres de ellos se desarrollaron en EEF y uno se llevó a cabo en EGACF.

3.2 Participantes

Para poder llevar a cabo esta investigación las pruebas físicas se aplicaron en dos poblaciones. Por una parte, en hombres y mujeres EEF de una universidad chilena, de la ciudad de Concepción, perteneciente a la VIII región del Bío-Bío, Chile, que estuvieron matriculados durante el año académico 2015 o 2016, independiente del nivel de estudio que cursaran, si en estado inicial o ya terminando la carrera. De esta población se extrajo la muestra que participó en los tres primeros estudios. Por otro lado, un grupo de hombres y mujeres EGCAF del INEFC, centro de Barcelona, matriculados en el curso 2015-2016, al igual que el anterior, sin importar el año de sus estudios, de donde se tomó la muestra que se utilizó para el cuarto estudio.

En los cuatro estudios la muestra fue de tipo no probabilística y por conveniencia, y para elegirla se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

- Estar matriculado/a en la carrera de Pedagogía en Educación Física de la universidad chilena, durante el año académico 2015 o 2016 (marzo a diciembre).
- Cursar entre el primer y el décimo semestre de la carrera mencionada en el punto anterior.
- Estar matriculado/a en el Grado en Ciencias de la Actividad Física del INEFC, centro de Barcelona, durante el curso 2015 - 2016 (septiembre a junio).
- Cursar entre el primer y el octavo semestre de la carrera mencionada en el punto anterior.
- No tener lesiones o enfermedades que imposibilitaran realizar las pruebas físicas.
- Completar y firmar un cuestionario de aptitud para la actividad física, leer y firmar un consentimiento informado y leer un documento informativo para los participantes.

Tabla 14

Muestra de estudiantes que participaron en los cuatro estudios
(•realizaron la PC6M y Course Navette. ••realizaron el test-retest de PC6M y Course Navette. •••realizaron la PC6M, Course Navette y el test de Bruce en cinta rodante).

	Estudio	Año	M	F	M + F
EEF	1	2015	105	22	127•
EEF	2	2015	15	2	17••
EEF	3	2016	10	10	20•••
EGCAF	4	2016	14	14	28•

3.3 Instrumentos

3.3.1 Test cardiorrespiratorios

Se aplicaron pruebas físicas submáximas y máximas para la valoración de los parámetros de interés: la PC6M, la Course Navette y el test de Bruce.

3.3.1.1 Test de campo

3.3.1.1.1 Prueba de Caminata de Seis Minutos.

La PC6M consiste en recorrer la mayor distancia posible caminando en este límite de tiempo sobre una superficie de 30 metros marcada cada tres metros, de manera que el sujeto realiza pasadas de ida y vuelta, en las que se les va estimulando a cada minuto. Esta prueba evalúa la capacidad funcional del individuo para hacer ejercicio y generalmente se utiliza en instancias clínicas (Gutiérrez-Clavería et al., 2009). Esta prueba se ha aplicado en sujetos sanos de 20 a 80 años pertenecientes a la población chilena, en quienes se ha medido la FC al finalizar el esfuerzo y se han generado ecuaciones de regresión para estimar la distancia recorrida (Osses et al., 2010). También se ha empleado en sujetos jóvenes sanos de 23 años con fines de analizar la marcha durante la prueba (Riva, Grimpampi, Mazzà & Stagni, 2014) y en hombres jóvenes saludables, de 23 años, junto a una prueba en escalón (Fernandes et al., 2014), en que se concluyó que la PC6M tiene valores de reproductibilidad relativa intra e inter-evaluadores (CCI>0,75). Bohannon, Bubela, Wang, Magasi & Gershon (2015) indican que la fiabilidad y validez de la PC6M están bien establecidas en algunos trabajos de investigación desde el año 1998.

3.3.1.1.2 Test de Course Navette

La prueba de Course Navette se caracteriza por estructurarse en etapas múltiples y puede ser administrada en el interior de los gimnasios que tengan superficies de dureza y fricción. Para este test el VO_2 fue evaluado de manera directa en su versión original durante la recuperación luego de varias etapas múltiples, en donde la velocidad máxima alcanzada en las etapas predijo la potencia aeróbica máxima o VO_2 máx. con un valor de $r = 0,84$ y un SEE de $5,4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Léger & Lambert, 1982). Mayorga-Vega, Aguilar-Soto & Viciano (2015) realizaron un meta-análisis para examinar la validez de criterio de la prueba de Navette como predictor de la capacidad cardiorrespiratoria. Encontraron que el rendimiento en la prueba de Navette tuvo desde una moderada hasta alta validez para estimar el VO_2 máx. ($r = 0,66$ a $0,88$) y que estos valores fueron mayores ($r = 0,78$ a $0,95$) cuando se incluyó la masa, el sexo o la masa corporal para predecirlo, también que fue mayor en los adultos ($r = 0,94$; $0,87$ a $1,0$) que en niños ($r = 0,78$; $0,72$ a $0,85$). Finalmente, señalaron que ante la falta de material de laboratorio, la prueba de Course Navette pareciera ser útil para estimar la capacidad cardiorrespiratoria.

3.3.1.2 Test en ergómetros

3.3.1.2.1 Test de Bruce

Se aplicó el protocolo de Bruce que es descrito por García, Navarro y Ruiz (1996). Este consta de siete estadios con velocidad hasta $6 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ e inclinación hasta el 22%.

Para esta prueba de etapas múltiples se demostró que el tiempo de duración del esfuerzo fue el parámetro más importante para el VO_2 máx. ($r^2 = 0,822$), y que añadiendo el sexo del sujeto aumentó a un valor de $r^2 = 0,846$. Incluyendo la masa corporal y la edad el incremento fue insignificante ($r^2 = 0,855$) y el estado de actividad física no otorgó ninguna contribución adicional para estimar el VO_2 máx.

3.4 Estudio uno: caracterización de la PC6M y Course Navette

Las primeras mediciones se realizaron entre los meses de marzo y junio del año 2015 con los EEF. Primero se aplicó el cuestionario de aptitud física PAR-Q (Correa, Gámez, Ibáñez y Rodríguez, 2011) (véase el anexo 1) y se registraron datos básicos de los participantes, los que fueron 105 hombres y 22 mujeres. Luego se aplicó la PC6M según el protocolo descrito por Gutiérrez-Clavería et al., (2009) y la prueba de Course Navette.

La PC6M se ejecutó en un gimnasio con suelo de madera donde se delimitaron cinco pasillos de 30 metros de largo, marcados cada tres metros cada uno de ellos, en donde a los sujetos se les solicitó recorrer la mayor distancia posible por medio de la caminata de manera grupal estimulándoles verbalmente a cada minuto.

La FCr se midió utilizando monitores de FC, marca Polar modelos RS400sd y RS800sd (Polar Electro – Finlandia), de forma estacionaria y de pie al finalizar los seis minutos y cada 15 segundos hasta completar un minuto de recuperación (minuto siete), la cual fue registrada por un controlador para cada participante anotando en una planilla la distancia recorrida y el RPE por medio de la escala de Borg (Borg & Kaijser, 2006). Posteriormente, se aplicó la prueba de Course Navette en el mismo gimnasio, esta vez delimitado con dos líneas separadas por 20 metros donde se solicitó a los sujetos completar la mayor cantidad de palier posibles, animándolos a ello durante el desarrollo de la prueba. En este protocolo la velocidad del primer palier fue de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con aumentos a razón de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en cada palier. Con el fin de estimar el VO_2 máx. se utilizó una fórmula de regresión que considera la velocidad del último palier completado por el participante, en donde el VO_2 máx. $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} = (6 * \text{velocidad}) - 27,4$ (Rochcongar & Monod, 2009 en García & Secchi, 2013). Los criterios para culminar la prueba de Course Navette fueron:

1. No llegar a la línea de 20 metros en 2 ocasiones de manera consecutiva.
2. No completar el último estadio o bloque del test (McArdle et al., 1990).
3. Evidenciar un agotamiento máximo físico y/o volitivo.
4. Contar con la posibilidad de decidir claudicar el ejercicio ante una incomodidad excesiva de cualquier índole.

3.5 Estudio dos: fiabilidad de la PC6M y Course Navette

Este estudio buscó probar la fiabilidad de la PC6M y de Course Navette en los EEF. Se procedió a realizar una difusión en algunos niveles de la carrera de educación física con el fin de encontrar participantes voluntarios. En esta ocasión se dieron a conocer los resultados del estudio uno, los objetivos de la investigación y las características de las mediciones a realizar. Luego de algunas semanas se apuntaron participantes voluntarios, y se realizó una reunión con aquellos que puedan asistir, en la que se les presentó nuevamente los objetivos de la investigación, las características de las mediciones y además se les administró un consentimiento informado respaldado por el Comité de Ética Científica de la Universidad San Sebastián (véase el anexo 2 y 5), el cuestionario PAR-Q (véase el anexo 1) y un documento informativo para los participantes (véase el anexo 6). En este último documento se detallaron las restricciones de ejercicio físico y de ingesta de alimentos y/o sustancias antes y entre las mediciones, así como los procedimientos y criterios de finalización de las pruebas (Duncan, Wenger & Green, 2000).

La toma de datos se realizó a fines del mes de octubre de 2015 en las mismas dependencias y con los mismos monitores de ritmo cardíaco que las mediciones realizadas entre marzo y junio del mismo año en el estudio uno. Se empleó un modelo tipo test-retest con tres mediciones: la medición uno y la dos se separaron por 72 horas (tres días) y la

medición dos con la tres se separaron por 96 horas (cuatro días), quedando así la medición uno el día lunes, la medición dos el día jueves y la medición tres el día lunes siguiente (todo esto por razones de disponibilidad del recinto).

Antes de la primera medición y entre las tres mediciones se les recordó a los participantes, a través de vía telefónica, el horario de la realización de las pruebas, las restricciones de ejercicio físico y de ingesta de alimentos y/o sustancias, etc. y que leyeran nuevamente el documento informativo. Antes de la primera medición se determinó la altura y la masa corporal de los participantes en una báscula con tallímetro, marca ADE Medical (Alemania), con capacidad de 200 kg y sensibilidad de 100 gramos. Posteriormente cada voluntario realizó un reposo sedente durante al menos 10 minutos. Primero se aplicó la PC6M y luego de recuperar durante cinco minutos (en total ocho minutos: FCr en tres minutos más cinco de descanso) se aplicó la prueba de Course Navette.

El protocolo de las dos pruebas fue el mismo descrito en el estudio uno, pero varió el tiempo de medición de la FCr, ya que en este caso fue de tres minutos. Al finalizar la medición se le entregó a cada participante una pequeña merienda fría.

Los criterios para culminar la prueba de Course Navette fueron los mismos que en el estudio uno, pero esta vez se verificó la FC al finalizar el test. La FC debió estar sobre el 90% de su máximo (Hamlin, Draper, Blackwell, Shearman & Kimber, 2012), lo que se estimó de acuerdo a la edad según la fórmula propuesta por Tanaka, Monahan & Seals (2001) para sujetos hombres y mujeres físicamente activos.

3.6 Estudio tres: validación de la FCr-PC6M para estimar el VO₂ máx. en EEF

En primer lugar, se solicitó la participación de estudiantes de ambos géneros que hayan sido parte del estudio uno y/o en el estudio dos, esto de manera personal para apuntar los datos de contacto de cada uno de ellos. Algunos días antes de realizar las mediciones se les hizo llegar vía correo electrónico los documentos que deberían leer y firmar, como son el consentimiento informado (respaldado por el Comité de Ética Científica de la Universidad San Sebastián), el cuestionario PAR-Q y el documento informativo, quienes lo entregaron al investigador el día de la primera medición. Las mediciones se llevaron a cabo en dos instancias: la primera consistió en realizar la PC6M y Course Navette con el mismo protocolo y recinto en donde se administró el estudio uno y dos. En esa ocasión, el RPE de Course Navette se registró mediante una percepción general y otra final para los 20 últimos metros recorridos tras abandonar la prueba. Por su parte la PC6M se realizó con la unidad Fitmate PRO (Cosmed, Roma – Italia), que es un analizador metabólico para medir el O₂ consumido y la liberación de energía en reposo y en ejercicio. Tiene una turbina de flujo para medir la ventilación y posee una célula de oxígeno galvanizada para analizar el O₂ espirado. Contiene además un sistema de calibración automática de breve tiempo, que se

activa antes de realizar la medición y durante el test vuelve a ocurrir la calibración cada cierto período (15 segundos, por ejemplo). El VO_2 se calcula al interior de la unidad por medio de la frecuencia respiratoria, el volumen inspirado y espirado de aire, y la fracción de O_2 espirado e inspirado. Por último, tiene sensores que miden la presión barométrica y temperatura para cálculo internos (Nieman et al., 2007). Si bien la unidad Fitmate PRO está diseñada para pruebas de laboratorio (en cinta rodante, cicloergómetro, etc.), para la PC6M se implementó una bolsa (mochila) pequeña de montaña que se ajustó en los hombros, pecho y abdomen del participante con sus tiras y broches respectivos, dejando la cavidad de la bolsa a la espalda en donde se ubicó la unidad Cosmed. Debido a fallas en el detector de FC integrado en la unidad se suplió con el monitor de FC Polar V800 (Polar Electro - Finlandia), haciéndose registro en una planilla, de tal manera que un acompañante caminaba junto al participante mirando la FC en el reloj de pulsera que él mismo portaba y dictando la FC para registrarla en una planilla.

La unidad Fitmate PRO fue validada con el criterio de la Bolsa de Douglas en un grupo de 20 hombres y 20 mujeres sanos de $22,5 \pm 3,6$ años, en quienes se aplicó el test en cinta rodante de Bruce y se midió con ambos instrumentos el VO_2 en el último minuto de cada estadio hasta que los sujetos llegaron al agotamiento. No se encontraron diferencias significativas en valor promedio del VO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) durante los tres primeros estadios ($p=0,140$), por lo que se concluyó que el sistema Fitmate PRO mide con precisión el VO_2 en cinta rodante con el test escalonado aplicado en hombres y mujeres adultos comparado con la Bolsa de Douglas. También ha sido validado al compararlo con la Bolsa de Douglas por Lee, Bassett, Thompson & Fitzhugh (2011), en esta investigación se midió a 32 hombres y 16 mujeres de 31 años promedio con pruebas de esfuerzo submáximo y máximo en cinta rodante, en la submáxima se utilizó la unidad Fitmate PRO para estimar el VO_2 máx. y en la prueba máxima se midió este último parámetro con la Bolsa de Douglas, utilizando el test de Bruce. No se encontraron diferencias significativas entre el VO_2 máx. estimado y medido ($p=0,152$), además de una fuerte y significativa correlación ($r=0,897$; $p<0,01$). Se concluyó que la unidad Fitmate PRO realiza una estimación válida del VO_2 máx.

La unidad Fitmate PRO se utilizó en ocho estudiantes de educación física de género masculino de 23,38 años al medir el VO_2 máx. en una prueba en cicloergómetro en dos ocasiones. Los resultados indicaron una fuerte correlación entre el VO_2 máx. y la potencia aeróbica máxima (Trofin, Honceriu & Cojocar, 2013a). La unidad también se ha usado para medir el VO_2 máx. en cicloergómetro y compararlo con una prueba de campo en mujeres de entre 20 y 25 años, entre estas dos pruebas no se han encontrado diferencias significativas (Trofin, Honceriu & Cojocar, 2013b). También se ha empleado para medir el VO_2 máx. en una prueba en cinta rodante en sujetos jóvenes (Souto Maior, Madeira & Menezes, 2013), en atletas de 800 metros lisos a través de una prueba de VO_2 máx. en cinta rodante

(Rosales, Monsálves, Yáñez & Durán, 2015), y en jugadores jóvenes de balonmano no entrenados en una prueba incremental en cicloergómetro para la medición del VO_2 máx. (Djordjevic et al., 2012).

La segunda medición se llevó a cabo 72 a 96 horas después (esto sujeto a disponibilidad de laboratorio, del horario del participante y del horario de carga académica del investigador) en un laboratorio de fisiología, allí se determinó la masa y la altura del estudiante con una báscula con tallímetro marca ADE Medical (Alemania), con capacidad de 200 kg y sensibilidad de 100 gramos. En seguida se administró el test de Bruce en una cinta rodante marca SportArt modelo T652M (Industrial Co., Lda. - Estados Unidos) en la cual se ajustó los valores de velocidad desde $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ a $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ y de % de inclinación a grados. Para ello se tomó la referencia de Åstrand & Rodahl (1992), quienes reportan un diseño de cinco estadios con velocidad hasta $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e inclinación hasta el 18%.

Tabla 15

Test de Bruce en cinta rodante (García et al., 1996•). Se exponen equivalencias de pendiente en % a grados de inclinación (Åstrand & Rodahl, 1992••). En el test de Bruce se utilizó la columna de inclinación en grados y velocidad en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Estadio (3 minutos)	Velocidad $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ •	Velocidad $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	Inclinación %•	Inclinación grados•••
1	1,7	2,7	10	5,7
2	2,5	4	12	6,9
3	3,4	5,5	14	8
4	4,2	6,8	16	9,1
5	5	8	18	10,3
6	5,5	8,8	20	11,5
7	6	9,7	22	12,5
8	6,8	10,9	24	13,7

En esta prueba en cinta rodante también se verificó el comportamiento de la FC con el monitor Polar V800, haciendo un registro en una planilla durante el test. El RPE se determinó luego que el participante caminara en la cinta a $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ durante tres minutos, preguntándole su percepción general del test y la percepción cuando el test terminó.

Los criterios para determinar el VO_2 máx. en la prueba de Bruce para los datos arrojados por la unidad Fitmate PRO fueron los siguientes:

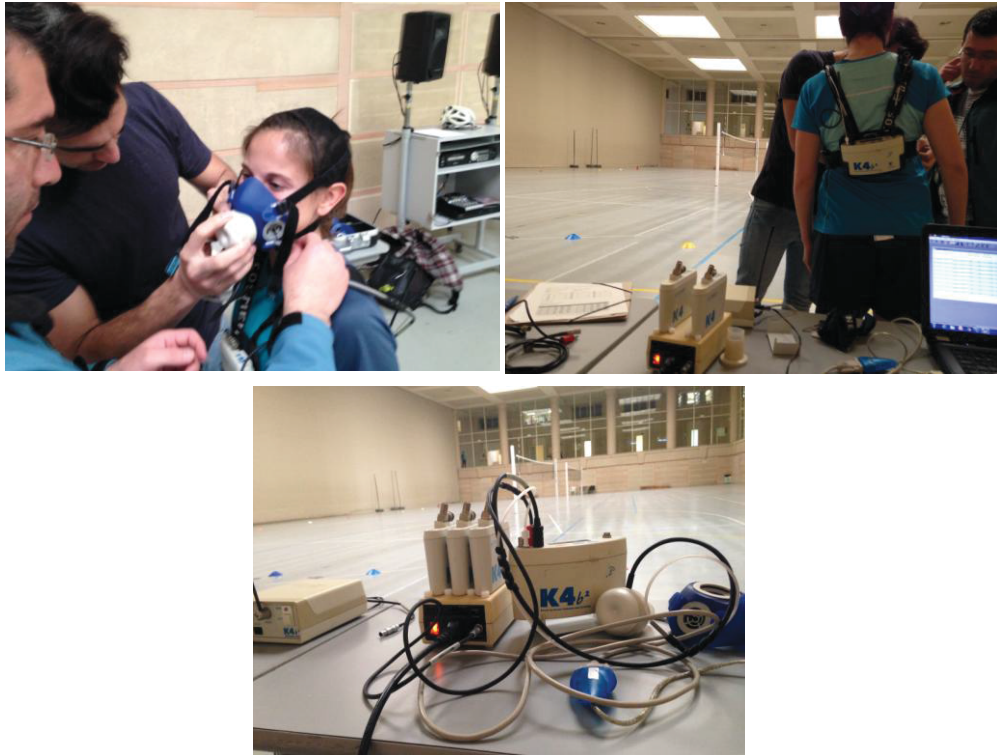
1. Un aumento en la captación de VO_2 inferior a $100 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ (Chatterjee et al., 2004; Chatterjee et al., 2005) durante el último minuto soportado el test.
2. Alcanzar una FC sobre el 90% de la máxima (Hamlin et al., 2012).

3.7 Estudio cuatro: validación de la FCr-PC6M para estimar el VO_2 máx. en EGCAF

Se realizó una difusión para obtener participantes, que se llevó a cabo en aulas de las dependencias del INEFC, centro de Barcelona, a fines del mes de enero de 2016 durante la etapa de rendición de exámenes. A los EGCAF que se apuntaron para realizar las pruebas se les entregó el cuestionario PAR-Q, dos documentos de consentimiento informado, respaldados por el Comité de Ética de Investigaciones Clínicas de la Administración Deportiva de Cataluña (véase el anexo 3 y 4), y un documento informativo (restricción de ejercicio físico antes de las mediciones, etc., véase el anexo 7). Para estas mediciones se utilizó un analizador de intercambio de gases portátil marca Cosmed modelo K4b², (Roma – Italia), que mide el intercambio de gases pulmonares (VO_2 y CO_2). Este entregó datos sobre el desempeño aeróbico en tiempo real, respiración a respiración, incluyendo los registros de

FC que va integrado en el sistema y otros parámetros, como los ventilatorios, el gasto energético, etc. El sistema portátil compuesto por la unidad de análisis y batería se adosó al pecho del participante con un arnés. Este sistema va registrando la FC y la temperatura, además tiene un sensor de O₂ (rango 7 a 24% y precisión de 0,02%), un analizador de CO₂ (rango 0 a 8% con precisión de 0,1%) y tiene un caudalímetro con capacidad hasta 20 L/seg. unido a la mascarilla de goma (de diferentes tamaños, que se adosa a la boca-nariz del sujeto con correas ajustables), con una turbina bidireccional y un lector opto-eléctrico para medir la ventilación y los registros de O₂ y CO₂, y determina las fracciones de O₂ y CO₂ espirados. Estas concentraciones se miden a través de un cable desmontable alojado dentro de la turbina y que se conecta a la unidad portátil con un tubo o permapure que permite equilibrar la presión del vapor de agua entre la muestra y el aire circundante antes que el registro llegue a los analizadores. El CO₂ se calcula en la unidad a través de la ventilación, la fracción de CO₂ espirado e inspirado y el volumen de aire inspirado, y el VO₂ se calcula por medio del volumen de aire inspirado, la ventilación y la fracción de O₂ inspirado y espirado (McLaughlin, King, Howley, Bassett & Ainsworth, 2001; Pinnington, Wong, Tay, Green & Dawson, 2001).

Ilustración 1
Equipamiento con la unidad portátil en el estudio cuatro.



En este sistema telemétrico se ha demostrado que pueden existir diferencias en la medición del VO_2 , VCO_2 y el RER al ser comparado con un carro metabólico de laboratorio (Pinnington et al., 2001) en estudiantes universitarios, sin embargo las variables estuvieron fuertemente correlacionadas. Al compararse con el sistema portátil Cortex Metamax II en ciclistas entrenados, la asociación entre el VO_2 y la ventilación fue elevada, pero en el CO_2 y RER las de Cortex fueron significativamente mayores (Leprêtre et al., 2012). Por su parte, McLaughlin et al., (2001) concluyen que el sistema Cosmed K4b² es aceptable para medir la absorción de O_2 en variadas intensidades en cicloergómetro al compararlo con la Bolsa de Douglas.

La unidad portátil también se examinó en la caminata en cinta rodante en adultos donde no hubo diferencias significativas en las mediciones del dispositivo cuando la oscilación vertical durante la caminata fue mínima, no sabiéndose la validez en el VO_2 ante una oscilación vertical elevada (Keefer, 2013). Comparado con un carro metabólico de laboratorio en hombres de buena condición física, fue significativamente mayor el VO_2 , el CO_2 , la fracción espirada de CO_2 y significativamente menores en la fracción espirada de O_2 para la unidad Cosmed. La prueba también mostró fiabilidad en ejercicio máximo y repetibilidad en el ejercicio de duración e intensidad variable (Duffield, Dawson, Pinnington & Wong, 2004).

Antes de las pruebas se realizó el proceso de preparación y calibración del sistema portátil con un tiempo de antelación de aproximadamente 40 minutos, que estuvo a cargo de un investigador del INEFC centro de Barcelona con varios años de experiencia en la operación de estos instrumentos. Además, la utilización del sistema portátil en la administración de la PC6M y de Course Navette estuvo bajo la supervisión del mismo profesional. Luego se recibieron los documentos entregados a los participantes (PAR-Q y consentimientos informados) y se respondió a las interrogantes dadas por ellos, si es que las hubiera. Posteriormente se registraron los datos básicos, como la fecha de nacimiento, la masa corporal y la altura. Estos último parámetros se midieron en una báscula marca Pesperson fza. 150 kg. con sensibilidad de 100 gramos (Barcelona - Cataluña).

Se le indicó al estudiante realizar un reposo sedente idealmente de al menos 10 minutos. Una vez acabado el reposo se equipó al sujeto con el sistema portátil de intercambio de gases. La PC6M se administró en un pabellón de suelo no resbaladizo delimitado en un pasillo de 30 metros, que estaba demarcado cada 3 metros y se registró en tiempo real el VO_2 y la FC (entre otros) en la unidad portátil y se monitoreó mediante telemetría en un ordenador. Al finalizar la prueba se midió la FCr durante tres minutos de manera que el participante estuvo detenido en posición bípeda y estacionaria para después determinar el RPE a través de la escala de Borg (6 a 20). Luego de esta prueba el examinado descansó durante cinco minutos y se administró la prueba de Course Navette en el mismo pabellón, esta vez entre dos líneas separadas a una distancia de 20 metros en donde el protocolo inició a una velocidad de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con incrementos de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada palier (un minuto aproximadamente). En esta prueba se le solicitó al estudiante realizar la mayor cantidad de paliers posibles animándole durante el desarrollo y, sobre todo, en las etapas finales del test. La finalización de la prueba se estableció al no poder llegar en dos ocasiones consecutivas a la línea de 20 metros. Posterior a esta última prueba se registró el RPE de dos formas: una de ellas orientada a la percepción del nivel de esfuerzo general, y otra al último recorrido de 20 metros antes de abandonar. Luego el estudiante se recuperó durante tres minutos, con una caminata suave y se procedió a desmontar el equipo portátil. Los criterios para culminar la prueba de Course Navette fueron los mismos utilizados en el estudio dos de la investigación y para determinar el VO_2 máx. en el posterior análisis de los datos los criterios fueron los siguientes:

1. Alcanzar una FC sobre el 90% de la máxima (Hamlin et al., 2012).
2. Un RER igual o mayor a 1,1 (Hamlin et al., 2012; Laurent et al., 2008; Spackman, George, Pennington & Fellingham, 2001; Web, Vehrs, George & Hager, 2014).

3.8 Análisis estadístico

Para el análisis del desempeño aeróbico en la muestra de EGCAF se empleó la gestión de datos del software OMNIA° PFT suite versión 1.5b (6058.28466) versión 10.0e compatible con el sistema portátil Cosmed K4b², con el que se realizó un filtrado para obtener valores promedio cada 10 segundos y exportarlos al programa Microsoft Office Excel 2007.

Para el registro del rendimiento aeróbico de los EEF se utilizó el programa Microsoft Office Excel 2007 en el estudio uno y dos. Sin embargo, en el estudio tres, para el análisis del desempeño aeróbico se utilizó el software Fitmate versión 2.3 build 13, compatible con la unidad Cosmed Fitmate PRO, con el que se traspasaron los datos de respiración a respiración al programa Microsoft Office Excel 2007.

En el estudio uno se utilizaron promedios y desvíos estándar y para establecer las correlaciones, primero se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y luego la prueba de correlación de Spearman. En el estudio dos se usaron datos en valores promedio y desvío estándar, y para determinar las diferencias entre las tres mediciones del test-retest se aplicó la prueba ANOVA de un factor; para calcular las correlaciones entre las variables de los test se empleó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y luego la correlación de Pearson. Finalmente, en el estudio tres para la medición del VO₂ en la PC6M y en la estimación del VO₂ máx. de Course Navette se hizo estadística descriptiva con valores promedio y desvíos estándar. Luego, para establecer las diferencias por género en el rendimiento de la PC6M, Course Navette y Bruce, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, y el test *t* de Student o de Wilcoxon. En lo que se refiere a las correlaciones entre las variables de Course Navette y la prueba de Bruce se aplicó la ley normal de Shapiro-Wilk y la correlación de Pearson y de Spearman.

Para la descripción del desempeño aeróbico de los EGCAF en el estudio cuatro se utilizaron valores promedio y desviación estándar. Para establecer las diferencias entre hombres y mujeres en los datos de la PC6M y Course Navette se aplicó la prueba paramétrica *t* de Student y la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Las correlaciones entre las variables de los dos test se llevaron a cabo con las pruebas de Pearson y de Spearman.

Todo el análisis estadístico se realizó en el programa SPSS versión número 19 (International Business Machines, Nueva York–Estados Unidos) con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Algunas gráficas se elaboraron con el programa Microsoft Office Excel 2007.

En el presente trabajo de tesis no existió compensación económica para el investigador principal, para los participantes de la muestra ni para los colaboradores en la recolección de datos. Tampoco se brindó cobertura a través de algún seguro médico a los EEF que realizaron las pruebas físicas, tanto submáximas como máximas en el estudio uno, dos y tres. Sin embargo, los EGCAF que participaron en el estudio cuatro disponían de una cobertura médica por medio de un seguro contratado por el INEFC centro de Barcelona.

3.9 Cronograma de trabajo

En el presente cuadro se describe de manera general las actividades que se realizaron según los cursos académicos en los que se fue llevando a cabo la investigación. El detalle de cada una de las actividades se advierte a lo largo de la tesis.

Actividad / curso	2012- 2013	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016	Feb. 2017
Revisión de bibliografía crítica (introducción, contexto, marco referencial)	x	x	x	x	
Material y método			x	x	
Resultados de la investigación				x	
Discusión de la investigación				x	
Conclusiones de la investigación				x	
Recolección de datos preliminares		x			
Recolección de datos; estudio uno			x		
Recolección de datos; estudio dos				x	
Recolección de datos; estudio tres				x	
Pasantía predoctoral INEFC				x	
Recolección de datos; estudio cuatro				x	
Supervisión y seguimiento plan de investigación	x	x	x	x	
Lectura de tesis					x

Resultados

4. RESULTADOS

4.1 Estudio uno: caracterización de los test

A continuación se exponen los datos básicos y el rendimiento aeróbico en el test de caminata y de carrera para los 127 EEF (véase tabla 16 y 17).

Tabla 16
Datos básicos de los EEF que realizaron la PC6M y Course Navette.

	F + M	F	M
n	127	22	105
Edad años	22,5±2,2	21,1±1,6	22,8±2,2
Masa kg.	71,8±11,7	60,8±9,9	74,2±10,7
Talla m	1,7±0,07	1,61±0,05	1,71±0,05
IMC kg/m ²	24,6±3,1	23,4±3,6	24,8±3

Tabla 17
Rendimiento aeróbico de los EEF en la PC6M y Course Navette
(se excluyó del análisis a 11 estudiantes por tener datos incompletos en las pruebas).

	M + F	M	F
n	127	105	22
PC6M			
Distancia m	706,3±40,1	711,8±39,3	679,8±33,4
RPE (6-20)	10,5±2,2	10,5±2,3	10,6±1,9
Velocidad \bar{x} km·h ⁻¹	7,0±0,4	7,1±0,3	6,8±0,3
Course Navette			
VO ₂ máx. ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	41,8±6,3	43,5±0,5	33,6±0,8
Velocidad palier	11,5±1	11,8±0,1	10,1±0,1

En la siguiente tabla se detalla el grado de relación entre la PC6M y Course Navette, en las variables medidas de FCr y VO₂ máx., respectivamente.

Tabla 18
Relación entre la FCr-PC6M y el VO₂ máx.-Course Navette en EEF (VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹; FC final y FCr en p/m; r: correlación de Spearman).

n	Course Navette	PC6M		r	p
	VO ₂ máx.	Tiempo	FC y FCr		
127	41,8±6,3	FC final	140,5±23,3	-0,26	=0,003
		FCr 0:15	132,4±22,6	-0,29	=0,001
		FCr 0:30	122,3±21,9	-0,39	<0,0001
		FCr 0:45	113,1±21,5	-0,40	<0,0001
		FCr 1:00	108,5±20,6	-0,43	<0,0001

Del análisis desarrollado con los datos de la tabla anterior se confirma que a medida que los sujetos tienen una menor FCr su VO₂ máx. en la prueba de Course Navette fue mayor. Por lo tanto, la FCr es un indicador del VO₂ máx. en estos EEF aunque el VO₂ máx. no se ha distribuido de manera normal ($p=0,025$). Esto se debería, hipotéticamente, debido a que la fórmula de estimación solamente incluye la velocidad del último palier completado, por lo que no discrimina el valor para un grupo de sujetos que completan el mismo estadio. Por su parte, la FC final y los distintos valores de FCr se han distribuido de manera normal: la FC final con $p=0,844$; FCr 15 seg. con $p=0,862$; FCr 30 seg. con $p=0,539$; FCr 45 seg. con $p=0,964$ y FCr 1 min. con $p=0,713$. La potencia estadística de estas correlaciones va desde el valor de 0,92 hasta 0,99 (desde la correlación más baja hasta la más alta), lo que indica que de 100 mediciones en el 92% o en el 99% de las ocasiones, respectivamente, se encontrarían correlaciones significativas.

Ilustración 2

Realización de la PC6M en EEF durante el estudio uno.



En la figura 20 se aprecia la dispersión de datos respecto a la FCr y el VO_2 máx. en las pruebas físicas aplicadas. La dispersión indica que las variables tienen una relación inversa.

Figura 20

Relación FCr-PC6M y VO_2 máx. en Course Navette (estudio uno).
Participaron 127 EEF.

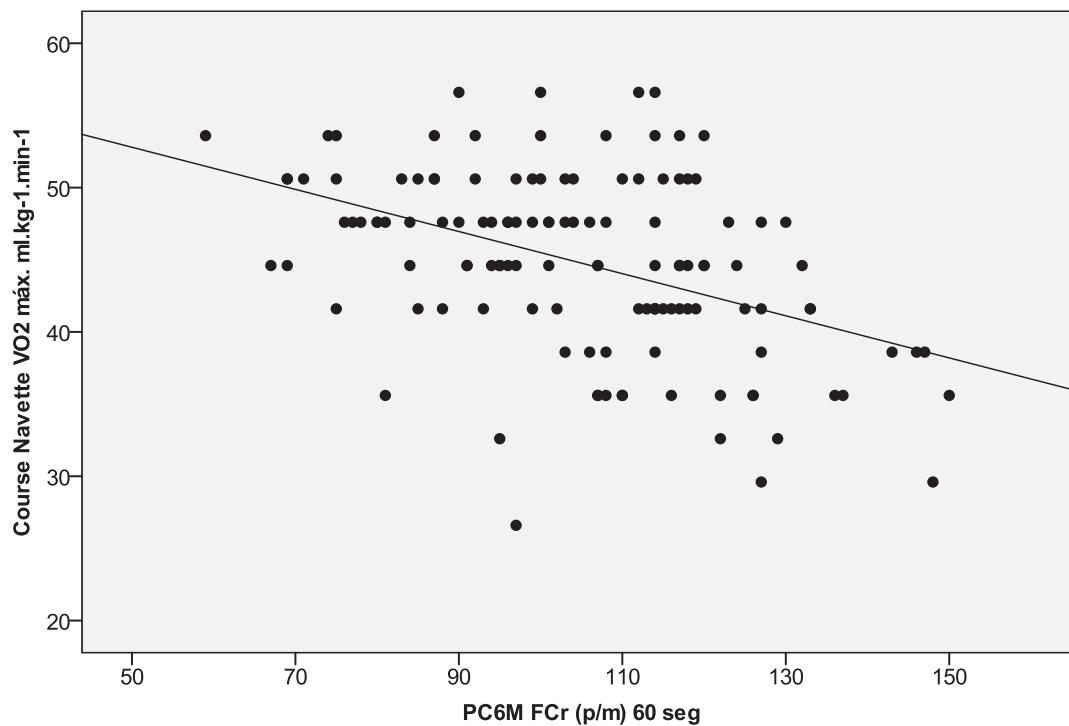


Ilustración 3
PC6M en EEF durante el estudio uno.



4.2 Estudio dos: confiabilidad de los test

En las siguientes tablas se exponen los datos básicos de los sujetos de la muestra en el estudio número dos.

Tabla 19

Datos básicos de los EEF que participaron del estudio dos. Fiabilidad de PC6M y Course Navette (datos de los 17 sujetos que participaron en la primera medición).

	F + M	F	M
n	17	2	15
Edad años	22,0±1,9	20,6±0,2	22,2±1,9
Masa kg.	70,4±12,1	53,5±16,2	72,7±10,1
Talla m	1,71±0,07	1,58±0,1	1,72±0,05
IMC kg/m ²	23,9±2,7	21,0±3,6	24,3±2,4

En la siguiente tabla se detalla la fiabilidad de la PC6M y Course Navette en los EEF durante el estudio dos.

Tabla 20

Confiabilidad de la PC6M en el estudio dos (FC y FCr en p/m; FC y FCr en minutos:segundos; Veloc.: velocidad; * $p < 0,05$; • registro sólo en 12 sujetos).

	Medición 1	Medición 2	Medición 3	ANOVA	Tukey
n	15 + 2	15 + 2	11 + 2		
Género	M + F	M + F	M + F		
Distancia m	701,5±36,2	710,3±33,6	718,1±27,7	$F(2, 44) = 0,93$	
RPE (6-20)	10,6±1,7	10,7±1,1	10,2±1,4	$F(2, 44) = 0,44$	
Veloc. \bar{x} (km·h ⁻¹)	7±0,3	7,1±0,3	7,1±0,2	$F(2, 44) = 0,85$	
FC final	130,4±22,7	140,5±23,3	127,7±23	$F(2, 44) = 1,33$	
FCr 0:15	122±22,4	132,4±22,6	120,2±20,8	$F(2, 44) = 1,41$	
FCr 0:30	110,7±22,8	122,3±21,9	109,4±20,5	$F(2, 44) = 1,67$	
FCr 0:45	101,9±21,7	113,1±21,5	96,4±18,1	$F(2, 44) = 2,59$	
FCr 1:00	97,1±19,2	108,5±20,6	91,2±17,8	$F(2, 44) = 3,14$	
FCr 1:15	94,4±19,5	104,5±16,9	86,8±17,1	$F(2, 44) = 3,66$	2<3*
FCr 1:30	92,4±19,2	102,8±17,3	87,7±17	$F(2, 44) = 2,85$	
FCr 1:45	92,9±18,8	101,2±16,9	86,2±14,7	$F(2, 44) = 2,89$	
FCr 2:00	91,8±16,9	100,9±15,8	86,9±13,4•	$F(2, 43) = 3,03$	
FCr 2:15	91,7±15,4	100,2±14,2	86±12,9	$F(2, 44) = 3,75$	2<3*
FCr 2:30	89,1±16,8	101±14,5	85,8±14,5	$F(2, 44) = 4,18$	2<3*
FCr 2:45	91,1±16,5	100,1±12,9	86,3±13	$F(2, 44) = 3,61$	2<3*
FCr 3:00	90,6±15,8	99,2±14,8	85,5±12,2	$F(2, 44) = 3,42$	2<3*

En la tabla 20 se aprecian las diferencias, estadísticamente significativas, entre las variables de las tres mediciones. Estas diferencias se observan en la FCr a partir de los dos minutos, especialmente pudiéndose explicar a que el número de participantes en la tercera medición se redujo a 13 (deserción). Por otro lado, entre las tres mediciones, el resto de las variables no difieren, tales como el caso de la distancia ($p=0,401$), el RPE ($p=0,643$), la velocidad promedio ($p=0,432$), la FC final ($p=0,273$), la FCr en 15 segundos ($p=0,253$), a los 30 ($p=0,199$), a los 45 segundos ($p=0,086$), al minuto ($p=0,053$), al minuto con 30 segundos ($p=0,068$), al minuto con 45 segundos ($p=0,066$) y a los 2 minutos ($p=0,058$). Las diferencias entre la FCr van siendo más bajas a medida que transcurre el tiempo de recuperación, esto coincide con el carácter de las correlaciones entre la FCr y el VO_2 máx. en la medición uno,

dos y tres, es decir, cuando la FCr transcurre después del primer minuto, la correlación con el VO_2 máx. comienza a descender (véanse tablas siguientes).

Ilustración 4
Confiabilidad de la PC6M con EEF durante el estudio dos.



En la tabla 21 se aprecia el rendimiento aeróbico en las 3 mediciones y las diferencias entre estas.

Tabla 21
Confiabilidad de la Course Navette en el estudio dos
(VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹; •registro en 12 sujetos).

Medición	1	2	3	ANOVA
n	15 + 2	15 + 2	11 + 2	
Género	M + F	M + F	M + F	
VO ₂ máx.	44,6±5,4	44,4±4,9	43,4±4,1	$F(2, 44) = 0,22$
RPE (6-20)	14,0±2,2	14,1±2	14,4±1,7•	$F(2, 43) = 0,11$
FC final p/m	194,6±10,7	193,0±12,4	187,1±9,4	$F(2, 44) = 1,81$

En el rendimiento aeróbico en Course Navette no se encuentran diferencias significativas entre las tres mediciones, esto es, para el VO₂ máx. ($p=0,798$), para el RPE ($p=0,891$) y la FC al finalizar el test ($p=0,176$).

Ilustración 5
Course Navette en EEF durante el estudio dos.



Las correlaciones entre las variables de interés para cada medición se presentan en las tablas 22, 23 y 24.

Tabla 22
Correlación entre FCr y VO₂ máx. en la medición uno del estudio dos [test-retest] (r: Pearson; VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹).

Medición	n	Course Navette	PC6M		r	p
		VO ₂ máx.	Tiempo	FCr (p/m)		
1	17	44,6±5,4	FC final	130,4±22,7	-0,71	<0,01
			FCr 0:15	122±22,4	-0,72	<0,01
			FCr 0:30	110,7±22,8	-0,68	<0,01
			FCr 0:45	101,9±21,7	-0,73	<0,01
			FCr 1:00	97,1±19,2	-0,68	<0,01
			FCr 1:15	94,4±19,5	-0,65	<0,01
			FCr 1:30	92,4±19,2	-0,67	<0,01
			FCr 1:45	92,9±18,8	-0,66	<0,01
			FCr 2:00	91,8±16,9	-0,54	<0,05
			FCr 2:15	91,7±15,4	-0,65	<0,01
			FCr 2:30	89,1±16,8	-0,64	<0,01
			FCr 2:45	91,1±16,5	-0,61	<0,01
			FCr 3:00	90,6±15,8	-0,64	<0,01

Las correlaciones entre las variables de interés son inversas, negativas y estadísticamente significativas. Hay que notar que las correlaciones más altas con el VO₂ máx. se dan en la FCr dentro del primer minuto de recuperación.

En la figura 21 se expone la dispersión de los datos medidos, la tendencia sigue siendo que las variables son inversas.

Figura 21

Relación FCr-PC6M y VO₂ máx. en Course Navette (estudio dos). Medición número uno del test-retest en donde participaron 17 sujetos.

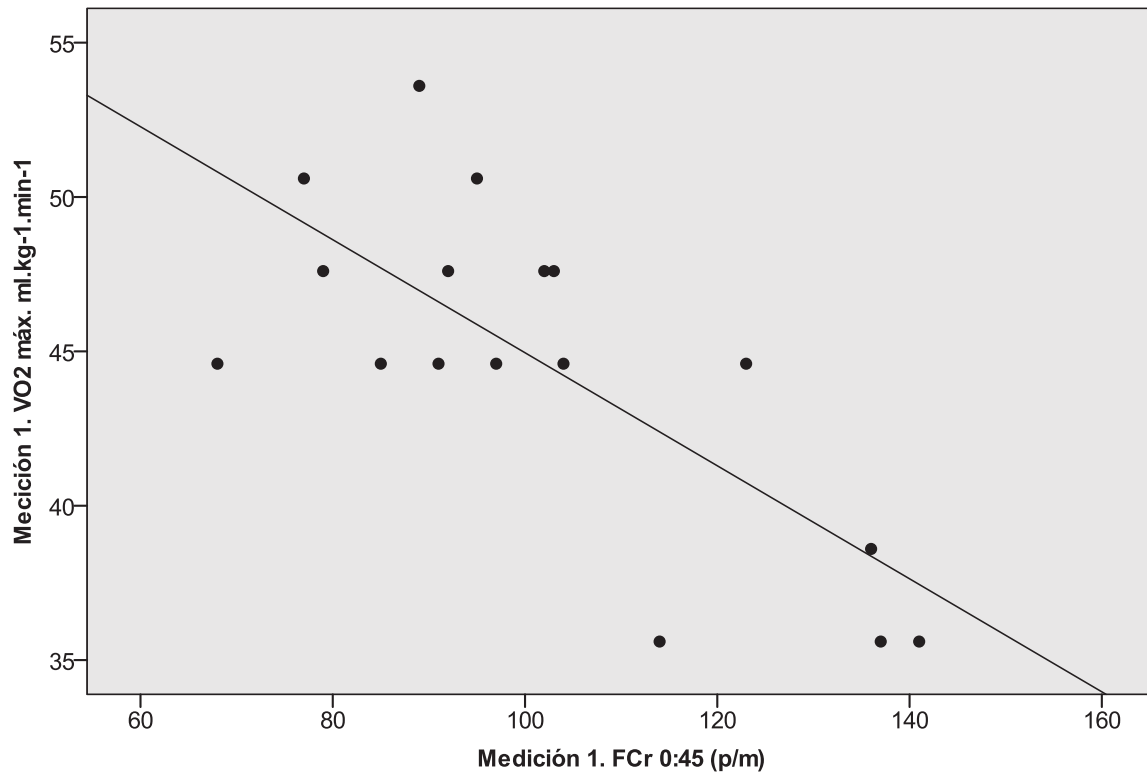


Ilustración 6
Course Navette en el estudio dos con EEF.



En la tabla 23 se hace referencia a las correlaciones entre las variables de interés de la prueba de caminata y de carrera.

Tabla 23
Correlación entre FCr y VO₂ máx. en la medición dos del estudio dos [test-retest]
(r: Pearson; VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹).

Medición	n	Course Navette	PC6M		r	p
		VO ₂ máx.	Tiempo	FC (p/m)		
2	17	44,4±4,9	FC final	140,5±23,3	-0,72	<0,01
			FCr 0:15	132,4±22,6	-0,72	<0,01
			FCr 0:30	122,3±21,9	-0,67	<0,01
			FCr 0:45	113,1±21,5	-0,67	<0,01
			FCr 1:00	108,5±20,6	-0,63	<0,01
			FCr 1:15	104,5±16,9	-0,65	<0,01
			FCr 1:30	102,8±17,3	-0,63	<0,01
			FCr 1:45	101,2±16,9	-0,67	<0,01
			FCr 2:00	100,9±15,8	-0,57	<0,05
			FCr 2:15	100,2±14,2	-0,54	<0,05
			FCr 2:30	101±14,5	-0,6	<0,01
			FCr 2:45	100,1±12,9	-0,54	<0,05
FCr 3:00	99,2±14,8	-0,53	<0,05			

Al igual que en la medición número uno las correlaciones más altas entre el VO₂ máx. y la FCr se dan dentro del primer minuto. Luego de ello se observa que algunas correlaciones tienen una menor significancia estadística.

Ilustración 7
PC6M en EEF durante el estudio dos.



En la tabla 24 se observa que las correlaciones de medición tres del test-retest fueron distintas a las mediciones anteriores.

Tabla 24
Correlación entre FCr y VO₂ máx. en la medición tres del estudio dos [test-retest] (r: Pearson; VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹).

Medición	n	Course Navette VO ₂ máx.	PC6M		r	p
			Tiempo	FC (p/m)		
			FC final	127,7±23	-0,51	=0,07
			FCr 0:15	120,2±20,8	-0,6	<0,05
			FCr 0:30	109,4±20,5	-0,63	<0,05
			FCr 0:45	96,4±18,1	-0,37	=0,21
			FCr 1:00	91,2±17,8	-0,43	=0,14
			FCr 1:15	86,8±17,1	-0,4	=0,17
3	13	43,4 ± 4,1	FCr 1:30	87,7±17	-0,36	=0,21
			FCr 1:45	86,2±14,7	-0,39	=0,18
			FCr 2:00	86,9±13,4	-0,41	=0,18
			FCr 2:15	86±12,9	-0,38	=0,2
			FCr 2:30	85,8±14,5	-0,49	=0,08
			FCr 2:45	86,3±13	-0,4	=0,17
			FCr 3:00	85,5±12,2	-0,38	=0,19

Tal como se puede observar en la tabla 24, las correlaciones significativas se encuentran dentro del primer minuto. Del resto, si bien son negativas, van decreciendo y no son significativas. Al igual que en la medición uno y dos las correlaciones más altas se asocian a la fase rápida de la recuperación de la FC, la característica rápida de esta fase es descrita por Peçanha, Silva-Júnior & Forjaz (2014). Las correlaciones más altas dentro del primer minuto de recuperación coinciden con la FC que se utiliza en algunas fórmulas de regresión que estiman el VO_2 máx., es decir, la mayoría utiliza la FC final o la FCr a los pocos segundos de acabar la prueba submáxima. Por otro lado, cabe mencionar que, las correlaciones bajas y no significativas podrían explicarse por el número menor de participantes comparado con la medición uno y dos.

4.3 Estudio tres: validación de la FCr en EEF

Los resultados del estudio tres se presentan en las siguientes tablas y figuras, primero se exponen los datos básicos de los sujetos de la muestra.

Tabla 25
Datos básicos de EEF que participaron en el estudio tres (FC máx.: teórica).

	F + M	F	M
n	20	10	10
Edad años	22,4±1,8	21,6±1	23,2±2,1
Masa kg.	67,8±11,4	62,6±8,3	73±12,1
Talla m	1,66±0,06	1,62±0,05	1,7±0,04
IMC kg/m ²	24,3±2,9	23,6±2,5	25±3,2
FC máx. p/m	191,2±1,2	191,8±0,7	190,7±1,4

Las variables más importantes de la PC6M que realizaron los estudiantes en el estudio tres se presentan en la tabla 26.

Tabla 26
Rendimiento aeróbico en la PC6M de los EEF en el estudio tres.

Género	M + F	M	F
n	20	10	10
Distancia m	695,6±24,7	705,9±21,7	685,3±24,2
RPE (6-20)	11,2±1,6	11,1±1,2	11,3±2
Velocidad \bar{x} km·h ⁻¹	6,9±0,2	7±0,2	6,8±0,2

Ilustración 8
PC6M en EEF durante el estudio tres. El sujeto realiza la prueba con la unidad Fitmate PRO.



El rendimiento aeróbico en la PC6M se expresó por medio de la FC y de la FCr, ambas se detallan en la tabla 27.

Tabla 27
Comportamiento de la FC y FCr de la PC6M en los EEF.

FC y FCr	M + F	M	F
FC min. 1 (p/m)	131,8±16	128,8±16,6	135,3±15,5
FC min. 2 (p/m)	142,2±19,5	134,3±17,8	150,2±18,6
FC min. 3 (p/m)	145,7±20,3	136,6±19,3	155,8±17,1
FC min. 4 (p/m)	148,2±21,2	139,3±21,4	157,1±17,7
FC min. 5 (p/m)	152±23,5	144,7±27,1	159,3±17,1
FC min. 6 (p/m)	153,7±22,5	146,2±24,9	161,3±18,1
FCr 30 seg. (p/m)	130,4±20,8	121,5±20,8	139,4±17,4
FCr 1:00 (p/m)	114,6±19	106,9±19,9	122,3±15,5
FCr 1:30 (p/m)	108,2±15,2	103,2±16,6	113,3±13,4
FCr 2:00 (p/m)	107,2±14,1	102,5±16,1	111,4±11,2
FCr 2:30 (p/m)	105,4±12,5	101,2±14,8	109,7±8,3
FCr 3:00 (p/m)	105,1±14,1	101,4±16,8	108,8±10,4

La tabla 27 muestra que la FC durante el test es relativamente estable, pero desde que comienza la recuperación esta decae. Podemos ver cómo dentro del primer minuto hay un mayor descenso y posteriormente tiende a estabilizarse.

En la tabla siguiente (tabla 28) también se observa un comportamiento similar en el VO_2 y en el VO_2 de recuperación, es decir, tiene un comportamiento relativamente estable y desde los seis hasta los nueve minutos decae, primero con más notoriedad en el primer minuto y después logra una meseta hasta el minuto tres de recuperación.

Tabla 28

Comportamiento del $\dot{V}O_2$ y $\dot{V}O_2$ de recuperación en la PC6M de EEF (rec.: recuperación).

$\dot{V}O_2$ y $\dot{V}O_2$ rec.	M + F	M	F
$\dot{V}O_2$ min. 1	22,4±4,1	22,9±3,5	21,9±4,7
$\dot{V}O_2$ min. 2	26,3±5,3	27,5±6,1	25,2±4,5
$\dot{V}O_2$ min. 3	27,0±4,6	27±4,9	27±4,6
$\dot{V}O_2$ min. 4	28,4±5,3	28,1±6	28,7±4,8
$\dot{V}O_2$ min. 5	27±6	27,6±6,6	26,4±5,7
$\dot{V}O_2$ min. 6	28,7±5,8	26,1±3,6	31,3±6,5
$\dot{V}O_2$ rec. 30 seg.	14,5±3,9	14±3,3	15,1±4,5
$\dot{V}O_2$ rec. 1:00	9,9±1,7	9,2±1,4	10,6±1,9
$\dot{V}O_2$ rec. 1:30	7,6±1,6	7,8±1,9	7,4±1,4
$\dot{V}O_2$ rec. 2:00	6,9±1,6	6,4±1,6	7,4±1,6
$\dot{V}O_2$ rec. 2:30	6,9±1,9	7,1±2,4	6,7±1,3
$\dot{V}O_2$ rec. 3:00	6,3±1,4	5,9±1,4	6,8±1,3

En la tabla 29 se pueden ver las variables del rendimiento en la Course Navette, en este caso el $\dot{V}O_2$ es estimado según la velocidad alcanzada al final del test.

Tabla 29

Rendimiento en la prueba de Course Navette en EEF ($\dot{V}O_2$ máx. en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

	M + F	M	F
n	20	10	10
Palier último	7,4±2	8,8±1,8	6±0,8
Velocidad $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	11,2±1	11,9±0,9	10,5±0,4
FC máx. palier	195,8±10	197,9±9,2	193,7±10,8
% FC máx. palier	102,3±5,3	103,7±4,9	100,9±5,6
RPE general	14,1±1,6	13,8±1,4	14,4±1,8
RPE Final	17,2±1,8	17,3±1,6	17,1±2
$\dot{V}O_2$ máx.	39,8±6	44±5,6	35,6±2,4

En la tabla 29 la FC final fue un indicador para la culminación de la prueba. En ella se aprecia que esta se presentó cerca del 100% como valor promedio. Era de esperar que en el RPE final se obtuviera un valor más alto, cercano a 20.

La medición directa del VO_2 se realizó en la prueba de Bruce en cinta rodante, el valor de esta variable junto a otras se expone en la tabla 30.

Tabla 30
Desempeño aeróbico en la prueba de Bruce en los EEF.

	M + F	M	F
n	20	10	10
Estadio último	6,3±0,9	6,9±0,9	5,7±0,4
Tiempo test minutos	17,6±3	19,6±2,9	15,6±1,3
FC \bar{x} último minuto p/m	190,4±9,9	190,1±10,9	190,8±9,3
FC último minuto %	99,5±5	99,6±5,5	99,4±4,8
RPE general	13,9±2	14±2,3	13,9±1,8
RPE final	18±1,3	18,5±1,1	17,6±1,3
VO_2 máx. ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	54±9,2	61±5,4	46,9±6,4

En la tabla 30 se muestra que el VO_2 máx. medido en forma directa es elevado, también que la FC está en torno al 100% de la máxima en el último minuto soportado en el test, y que el RPE final fue más cercano a 20 comparado con Course Navette.

Ilustración 9

Test de Bruce y Course Navette en un EEF hombre.
Se aprecia la utilización de la unidad Fitmate PRO.



En el rendimiento aeróbico de los hombres se observó que en la PC6M la distancia y velocidad promedio se distribuyeron de manera normal ($p=0,3$; $p=0,19$, respectivamente), en cambio el RPE no lo hizo ($p=0,038$). Para estos sujetos la FC durante la PC6M siguió la ley de normalidad a los dos minutos y del minuto cuatro al número seis (en registros realizados cada 30 segundos) con valores de $p=0,052$; $0,065$; $0,070$; $0,175$; $0,062$ y $0,398$, respectivamente. Por el contrario, la FC a los 30 segundos, minuto uno, uno con 30 segundos, dos con 30 segundos, tres minutos y tres con 30 segundos no siguieron la normalidad ($p=0,023$; $0,010$; $0,016$; $0,007$; $0,011$ y $0,015$, respectivamente). Para la FCr, esta se distribuyó de forma normal en todos los registros realizados cada 30 segundos, desde la FCr de 30 segundos hasta el minuto tres ($p=0,086$; $0,461$; $0,814$; $0,976$; $0,565$ y $0,867$, respectivamente).

Ilustración 10

Test de Bruce (arriba), Course Navette y PC6M (abajo) en EEF mujer.
En el test de Bruce se utilizó la unidad Fitmate PRO.

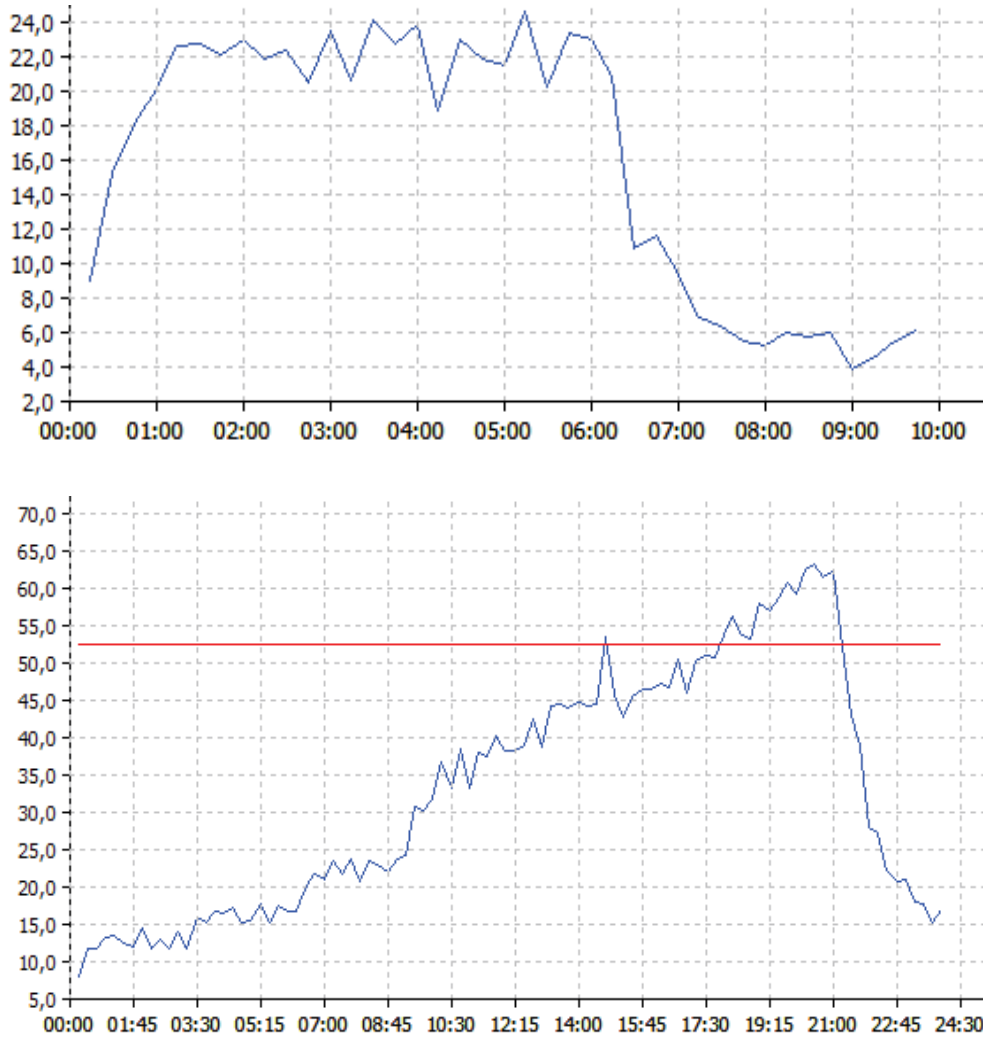


Durante el estudio tres, el VO_2 de la PC6M en los hombres se distribuyó de manera normal, tomando los registros cada 30 segundos. Es decir, a los 30 segundos y al minuto uno ($p=0,607$ y $0,320$ respectivamente), también desde el minuto tres al seis ($p=0,636$; $0,070$; $0,943$; $0,742$; $0,204$; $0,111$ y $0,120$, respectivamente). El VO_2 de recuperación se distribuyó con normalidad dentro del primer minuto ($p=0,057$; $0,123$; $0,357$; $0,924$ y $0,886$ para los 10, 20, 40, 50 y 60 segundos, respectivamente) salvo en el registro de 30 segundos ($p=0,005$). También el VO_2 de recuperación en el minuto dos y tres siguió la ley normal ($p>0,05$), excepto en el registro del minuto dos ($p=0,014$) y dos con 30 segundos ($p=0,001$). En la figura 22 (parte superior) se muestra el comportamiento del VO_2 durante la PC6M y post-ejercicio realizada por uno de los hombres de la muestra. Durante la caminata se observa

una estabilidad relativa del VO_2 y luego un decaimiento exponencial a partir del minuto seis hasta los 30 segundos aproximadamente.

Figura 22

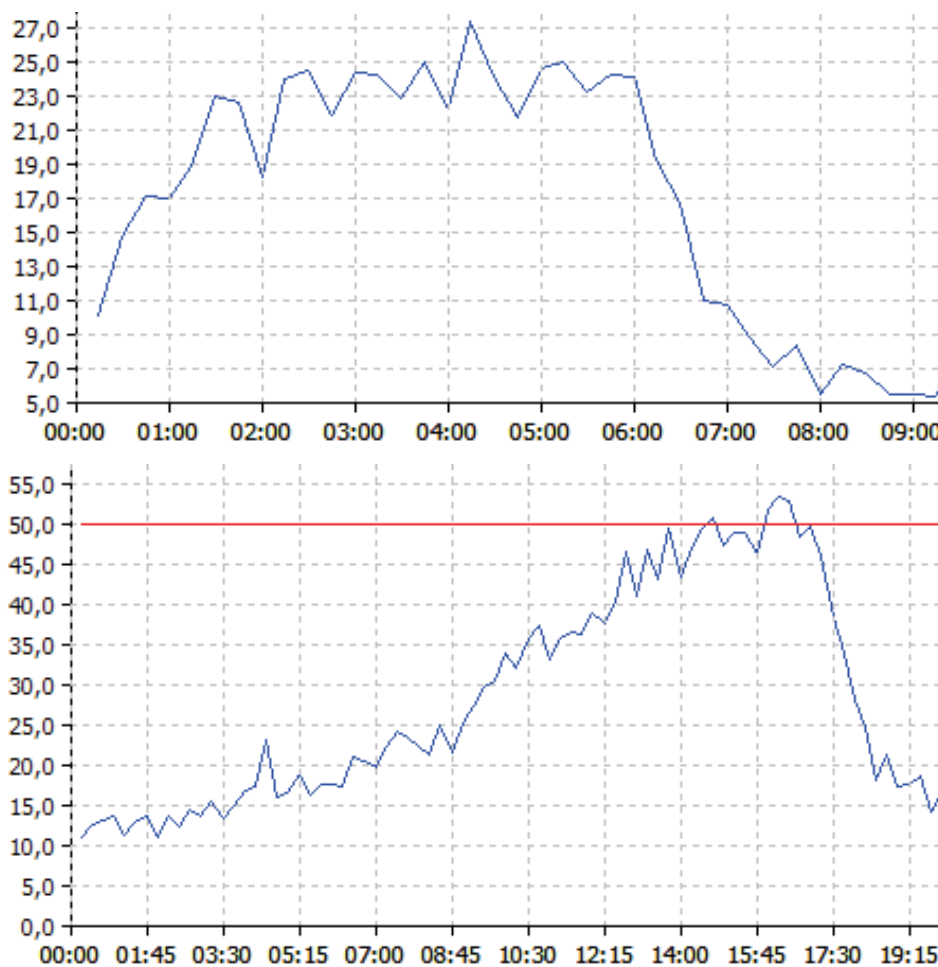
Curva del VO_2 en un estudiante hombre en la PC6M y test de Bruce (figura extraída de software Fitmate v. 2.3 build 13, compatible con la unidad Cosmed Fitmate PRO).



Por otro lado, en el estudio tres, en el caso de las EEF mujeres, el RPE de la PC6M no siguió la ley normal ($p=0,027$), pero sí lo fueron las variables como velocidad promedio y distancia recorrida ($p=0,061$; $0,081$, respectivamente). La FC durante la PC6M en mediciones cada 30 segundos siguió la ley de normalidad, desde los primeros 30 segundos hasta el minuto seis ($p>0,2$). En la FCr los valores cada 30 segundos hasta el minuto tres de recuperación se distribuyeron normalmente ($p>0,3$). El VO_2 durante la PC6M se distribuyó según el supuesto normal en todas las mediciones realizadas cada 30 segundos, desde los

30 segundos hasta el minuto seis ($p>0,1$), y el VO_2 de recuperación también lo hizo dentro del primer minuto ($p=0,534$; $0,529$; $0,566$; $0,092$ y $0,752$ para los 10, 30, 40, 50 y 60 segundos, respectivamente), salvo en el registro de los 20 segundos ($p=0,013$). Se aprecia en la parte superior de la figura 23 que el VO_2 durante la PC6M es relativamente estable con un decaimiento después del minuto seis.

Figura 23
Curva del VO_2 en una mujer EEF en la PC6M y en el test de Bruce
(figura extraída de software Fitmate v. 2.3 build 13, compatible con la unidad Cosmed Fitmate PRO).



La distancia recorrida y la velocidad promedio en la PC6M del estudio tres no muestran diferencias estadísticamente significativas al comparar a hombres y mujeres con $t[18]=2,001$ ($p=0,061$) y de $t[18]=1,961$ ($p=0,066$), respectivamente, y se observa que ambas variables fueron mayores en hombres. Sin embargo, el RPE de la PC6M fue significativamente diferente entre ambos géneros ($z=-0,142$, $p=0,887$), siendo mayor en las mujeres.

Por su parte, el VO_2 promedio en la PC6M fue de $26,2 \pm 1,2$ en los hombres y de $25,8 \pm 0,9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en las mujeres. En el caso de ellos, no se distribuyó normalmente ($p=0,026$) pero sí lo hizo en el caso de ellas ($p=0,578$), aunque entre ambos no existieron diferencias estadísticamente significativas ($z=-0,102$, $p=0,919$). Asimismo, se observa que el valor promedio del VO_2 de recuperación al primer minuto fue de $14,0 \pm 0,8$ en hombres y de $15,1 \pm 0,6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en mujeres, distribuyéndose en ambos de forma normal ($p=0,725$ y $0,413$, respectivamente) y tampoco fueron estadísticamente distintos ($t[18]=-1,034$, $p=0,315$).

En lo que se refiere a la FC promedio de la PC6M, se desprendió de la prueba que: en los hombres fue de $137,2 \pm 6,4 \text{ p/m}$, con una distribución no normal ($p=0,049$); mientras que en las mujeres fue de $152,4 \pm 5,3 \text{ p/m}$, con una distribución según la ley de normalidad ($p=0,196$), pese a ello, las diferencias no fueron significativas ($z=-1,478$, $p=0,139$). Por último, los valores promedio de la FCr en el primer minuto en la PC6M fueron de $119,3 \pm 6,7$ y de $136,6 \pm 5,2 \text{ p/m}$ para hombres y mujeres, y ambos se distribuyeron normalmente ($p=0,262$ y $0,282$, respectivamente). No existieron diferencias significativas entre hombres y mujeres ($t[18]=-2,026$, $p=0,058$) en la FCr.

En la PC6M, considerando a hombres y mujeres en su conjunto, la FC durante el test se distribuyó de manera normal en los registros realizados cada 30 segundos, esto es, desde los 30 segundos hasta el minuto seis ($p=0,166$; $0,264$; $0,064$; $0,079$; $0,122$; $0,176$; $0,212$; $0,632$; $0,638$; $0,641$; $0,305$ y $0,678$, respectivamente). Con respecto al VO_2 durante el test no se distribuyó según la ley normal a los dos minutos, a los dos con 30 segundos y a los tres minutos con 30 segundos ($p=0,036$; $0,001$; $0,016$, respectivamente). Sin embargo, el VO_2 durante el resto de la prueba sí se distribuyó de manera normal a los 30 segundos ($p=0,576$), al minuto uno ($p=0,790$), al minuto uno con 30 segundos ($p=0,660$), al minuto tres ($p=0,561$), y del minuto cuatro al seis ($p=0,997$; $0,502$; $0,200$; $0,443$ y $0,944$, en forma respectiva), en registros de cada 30 segundos.

Por lo tanto, el VO_2 promedio en la PC6M fue de $26,0 \pm 0,78 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ y la FC promedio fue de $144,8 \pm 4,4 \text{ p/m}$. El VO_2 no siguió la ley normal ($p=0,039$) y la FC sí lo hizo ($p=0,243$).

En Course Navette el VO_2 máx., el RPE general y final, la FC final y la velocidad del último estadio se sometieron a las pruebas de normalidad tanto para hombres como para mujeres. En hombres y mujeres se distribuyeron de forma normal, el RPE general con $p=0,337$ y $p=0,237$, el RPE final con $p=0,141$ y $0,053$, y la FC final con $p=0,436$ y $0,548$, respectivamente. No siguieron la ley normal la velocidad del último estadio y el VO_2 máx. en $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($p=0,026$ y $0,035$, en forma respectiva). Según lo anterior, el RPE general y el final no fue significativamente distinto entre ambos sexos ($t[18]=-0,789$, $p=0,440$ y $t[18]=0,239$, $p=0,814$), siendo mayor el RPE general en mujeres y el RPE final mayor en

hombres. La FC final del test tampoco mostró diferencias significativas ($t[18]=0,931$, $p=0,364$) entre hombres y mujeres siendo mayor en hombres. Para la velocidad del último estadio del test y el VO_2 máx. hubo diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres ($z=-2,539$, $p=0,011$ para ambos), siendo mayores en los hombres.

Ilustración 11

PC6M y Test de Bruce en un estudiante hombre
(implementación de máscara y correa ajustable de la unidad Fitmate PRO
y realización de los test).



En la prueba de Bruce la FC promedio del último minuto del test, el VO_2 máx., el RPE general y final, y el tiempo en completar la prueba también se sometieron a las pruebas de supuestos de normalidad, tanto en hombres como en mujeres. De estos indicadores sólo el RPE final no cumplió con el supuesto de normalidad ($p=0,007$), pues los otros sí se

distribuyeron de manera normal ($p=0,401$; $0,451$; $0,100$ y $0,053$ para la FC promedio, el VO_2 máx., el RPE general y el tiempo, respectivamente).

La FC promedio del último minuto del test de Bruce no ha presentado diferencias significativas entre hombres y mujeres ($t[18]=0,154$, $p=0,879$), siendo mayor en mujeres. Por su parte, el VO_2 máx. fue estadísticamente distinto entre hombres y mujeres siendo mayor en los hombres ($t[18]=-5,286$, $p<0,0001$). En la figura 22 y 23 (en la parte inferior, véase anteriormente) se observa que el VO_2 aumenta progresivamente hasta alcanzar el valor peak y el de VO_2 máx., tanto en un hombre como en una mujer, ambos EEF, de forma respectiva. El RPE, pese a que fue mayor en los hombres, en general no fue estadísticamente diferente entre ambos géneros ($t[18]=0,931$, $p=0,101$), y el RPE final no fue diferente estadísticamente entre hombres y mujeres ($z=-1,364$, $p=0,172$), donde también fue mayor en los hombres. Finalmente, en el tiempo empleado para culminar el test existieron diferencias significativas ($t[18]=-3,955$, $p=0,002$), siendo mayor en los hombres.

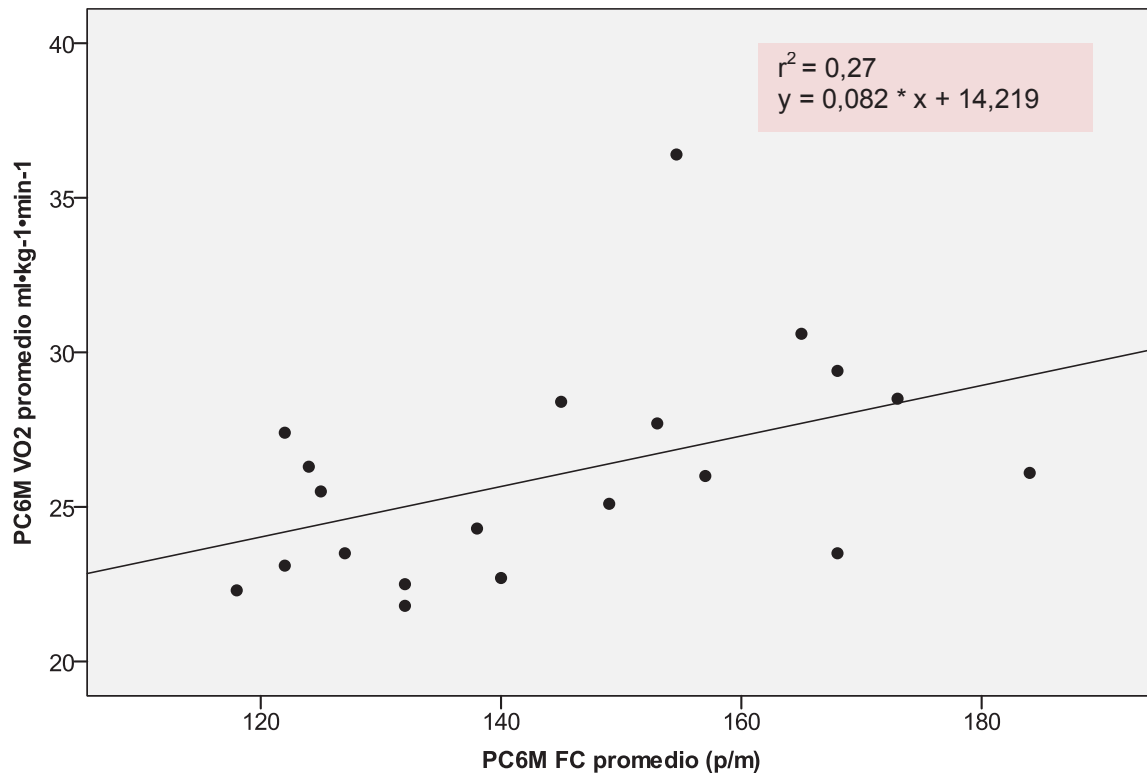
Las variables de rendimiento más relevantes en la PC6M fueron el VO_2 y la FC, ambas tienen una relación positiva tal como se observa en la tabla 31 y en la figura 24.

Tabla 31
Correlación entre el VO_2 y la FC de la PC6M en EEF
(r : Spearman; VO_2 en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$).

n	PC6M VO_2 promedio	PC6M FC p/m promedio	r	p
20	26±0,78	144,8±4,4	0,523	=0,018

Figura 24

Dispersión para el VO_2 y la FC en la PC6M. Hombres y mujeres EEF
(la ecuación es tentativa ya que corresponde a la correlación de Pearson según SPSS).



En la misma PC6M que realizaron los EEF, hombres y mujeres, el rendimiento aeróbico expresado en VO_2 de recuperación y FCr se presentó de la siguiente forma: a los 20 y 30 segundos de recuperación ($p=0,012$ en ambos), el VO_2 de recuperación no se distribuyó de manera normal, sin embargo, sí lo fue a los 10, 40, 50 y 60 segundos de recuperación ($p=0,220$; $0,61$; $0,111$ y $0,816$, respectivamente).

Por otra parte, entre el segundo y el tercer minuto del VO_2 de recuperación la mayor parte de los registros siguieron la ley de normalidad ($p>0,05$) y solo algunos no lo hicieron (1:50, $p=0,016$; 2:00, $p=0,028$ y 2:30, $p<0,0001$). Asimismo, la FCr se distribuyó de manera normal tanto durante el primer minuto de recuperación, en registros realizados cada 10 segundos ($p=0,305$; $0,114$; $0,330$; $0,940$; $0,461$ y $0,698$, en forma respectiva y consecutiva), como en el segundo y tercer minuto ($p>0,4$).

En la PC6M para hombres y mujeres en su conjunto, el valor promedio de la FCr al primer minuto fue de $128 \pm 4,6$ p/m, y el del VO_2 fue de $14,6 \pm 0,5$ $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, ambos se distribuyeron según la ley de normalidad ($p=0,835$ y $0,815$, respectivamente).

El VO_2 de recuperación y la FCr también son variables importantes en la PC6M, la asociación entre ambas variables se presenta en la tabla 32 y en la figura 25.

Tabla 32
Correlación entre la FCr y el VO_2 de recuperación de la PC6M (FCr al minuto uno en EEF hombres y mujeres en conjunto. r: Pearson; rec: recuperación; VO_2 en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.).

n	PC6M VO_2 rec. promedio 1 min.	PC6M FCr p/m promedio 1 min.	r	p
20	14,6±0,5	128,8±4,6	0,533	= 0,016

Ilustración 12

PC6M, test de Bruce y Course Navette en EEF mujer.
En los dos primeros test (arriba) la participante porta la unidad Cosmed.

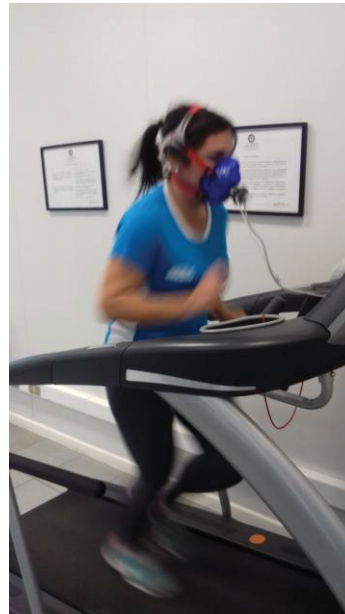
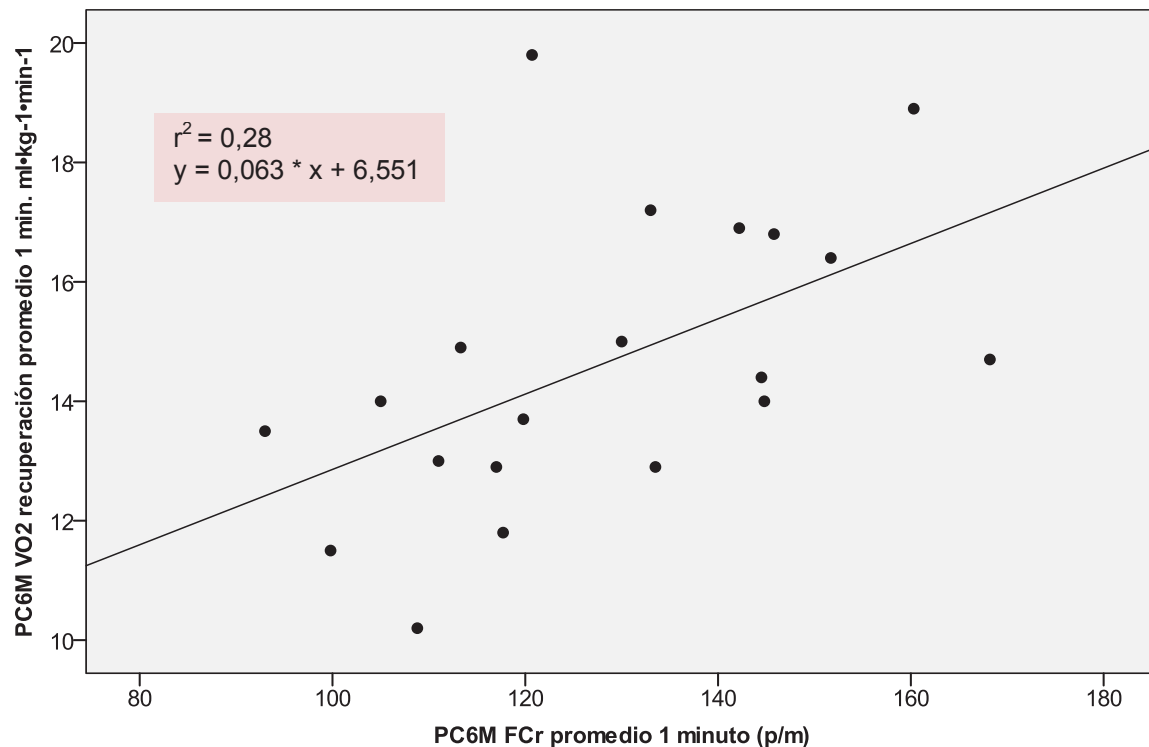


Figura 25

Correlación entre el VO_2 de recuperación y la FCr en la PC6M. Participaron 20 EEF hombres y mujeres.



En la prueba de Course Navette, para hombres y mujeres en conjunto, el tiempo en completar el esfuerzo, el RPE general y la FC final se distribuyeron según la ley de normalidad ($p=0,109$; $0,068$ y $0,506$, respectivamente). Por el contrario, el RPE final, el último palier completado y el VO_2 máx. ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) no la siguieron ($p=0,010$; $0,020$ y $0,020$, respectivamente). En el test de Bruce el RPE final ($p=0,007$) y el último estadio de esfuerzo ($p=0,010$) no presentaron una distribución normal, sin embargo la FC promedio del último minuto del test, el VO_2 máx. ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), el RPE general y el tiempo en minutos sí lo hicieron ($p=0,401$; $0,451$; $0,100$ y $0,053$, en forma respectiva).

Según lo anterior, los indicadores del rendimiento aeróbico en la prueba de Course Navette y Bruce fueron significativamente distintos, ya sea en el tiempo para completar ambas pruebas ($t[19]=-27,59$, $p<0,0001$) como en el VO_2 máx. en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($t[19]=-11,25$, $p<0,0001$), donde fueron mayores los indicadores del test de Bruce. También fue estadísticamente diferente la FC final de Course Navette y la FC promedio del último minuto de Bruce ($t[19]=4,88$, $p<0,0001$), siendo mayor en Course Navette. El RPE general no lo fue ($t[19]=0,3$, $p=0,764$), mientras que el RPE final sí ($z=-2,291$, $p=0,022$), siendo mayor en el test de Bruce.

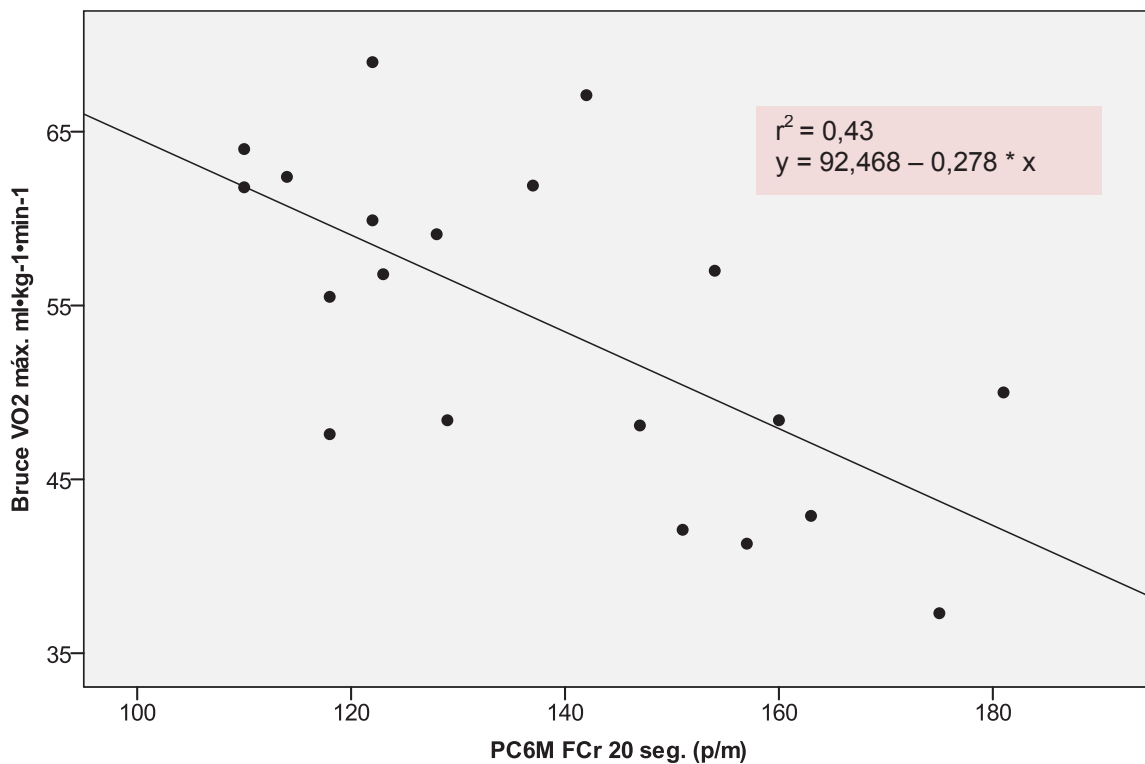
A partir de los datos obtenidos, las correlaciones entre algunas variables del rendimiento aeróbico fueron altas y estadísticamente significativas. Para el VO₂ máx. de ambas pruebas hubo una correlación de rho= 0,78 (p<0,0001), para el tiempo empleado en completar los test, y para la FC final de Course Navette con la FC promedio del último minuto completado en Bruce un valor de r=0,87 (p<0,0001). Para el RPE final de los test existió una correlación de rho=0,52 (p=0,018).

La FCr y el VO₂ máx. de las pruebas aplicadas se pueden relacionar para predecir una a partir de la otra, esto se detalla en la tabla 33 y en la figura 26.

Tabla 33
Correlación entre el VO₂ máx. y la FCr en EEF hombres y mujeres
(r: Pearson; VO₂ máx.: ml·kg⁻¹·min⁻¹).

n	Bruce VO ₂ máx.	PC6M FCr 20 seg	r	p
20	54±9,2	138 ± 21,8	-0,657	= 0,002

Figura 26
Dispersión del VO₂ máx. del test de Bruce y la FCr de la PC6M. Participaron 20 EEF hombres y mujeres.



La ecuación para estimar el VO_2 máx. es $y = 92,468 - (0,278 * FCr\ 20\ seg.)$, donde:

- $y = VO_2$ máx.
- $FCr\ 20\ seg.$ = la FC obtenida 20 segundos después de terminar la PC6M.

El SEE es de $7,17\ ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ con un $r^2 = -0,432$. Esto último indica que el VO_2 máx. se explica en un 43,2% por la FCr en 20 segundos y el porcentaje restante es debido a otras variables.

La correlación entre la FCr de la PC6M y el VO_2 máx. indirecto de Course Navette también se presenta inversa, moderada y estadísticamente significativa (véase la siguiente tabla).

Tabla 34
Correlación entre el VO_2 máx. indirecto y la FCr en EEF
(•hombres y mujeres; r: Spearman; VO_2 máx.: $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$).

n	Course Navette VO_2 máx.	PC6M FCr 20 seg.	r	p
20•	39,8±6	138±21,8	-0,647	= 0,002

La ecuación resultante de la correlación presentada en la tabla 34 es $y = 64,696 - (0,18 * FCr\ 20\ seg.)$, donde "y" es el VO_2 máx. ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) y la FCr es la obtenida a los 20 segundos de recuperación post PC6M. El SEE es de $4,69\ ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ y el r^2 es igual a -0,427, lo que indica que el 42,7% de la predicción se explica debido a la FCr en 20 segundos y el porcentaje restante es debido a otras variables.

4.4 Estudio cuatro: validación de la FCr en EGCAF

El desempeño aeróbico se midió en 28 EGCAF del INEFC de Barcelona. A continuación se presenta la información extraída del estudio cuatro.

Tabla 35
Datos básicos de los EGCAF que participaron en el estudio cuatro.

	F + M	F	M
n	28	14	14
Edad años	21,5±3	21,3±2,3	21,7±3,6
Masa kg.	66,1±10	59,9±5,9	73,3±8
Talla m	1,7±0,09	1,64±0,06	1,77±0,07
IMC kg/m ²	22,5±1,7	21,8±1,5	23,3±1,5
FC máx. p/m	191,9±2,1	192±1,7	191,7±2,6

Se expone en la tabla 36 el rendimiento en la PC6M de los EGCAF en cuanto a las variables medidas.

Tabla 36
Rendimiento en la PC6M de los EGCAF del INEFC.

Género	M + F	M	F
n	28	14	14
Distancia m	713,3±54	717,5±69,6	709,1±34,2
RPE (6-20)	10,5±1,6	10,7±1,6	10,9±1,6
Velocidad \bar{x} km·h ⁻¹	7,1±0,5	7,1±0,7	7,1±0,3

En la tabla siguiente se detalla el rendimiento en la PC6M respecto a la variable de la FC.

Tabla 37
FC y FCr en la PC6M de los EGCAF hombres y mujeres.

FC y FCr	M + F	M	F
FC min. 1 (p/m)	125,9±16,8	116,9±11,9	135,6±16,3
FC min. 2 (p/m)	132,4±17,8	123,6±15,7	140,6±16
FC min. 3 (p/m)	133,1±18,8	124,4±15,9	141,9±17,8
FC min. 4 (p/m)	136,4±18,3	128,7±15,4	144,2±18,2
FC min. 5 (p/m)	139,2±18,8	130,9±15,3	148,1±18,5
FC min. 6 (p/m)	141,8±17,7	133,7±14,9	150±16,9
FCr 30 seg. (p/m)	123,5±19,2	114,9±16,3	132,1±18,5
FCr 1:00 (p/m)	108,4±17	102±14,3	114,4±17,6
FCr 1:30 (p/m)	104±17,1	98,5±15	109,6±17,7
FCr 2:00 (p/m)	104,1±15,1	98,4±13,2	109,3±15,2
FCr 2:30 (p/m)	101,2±15,3	96±16,5	106,4±12,6
FCr 3:00 (p/m)	101,8±13	100±14,7	103,6±11,4

En la tabla 37 se aprecia que la FC durante el test tiene una cierta estabilidad hasta el minuto seis, luego la FCr cae en sus valores rápidamente hasta el primer minuto de recuperación. Esto ocurre tanto en hombres como en mujeres y en su conjunto.

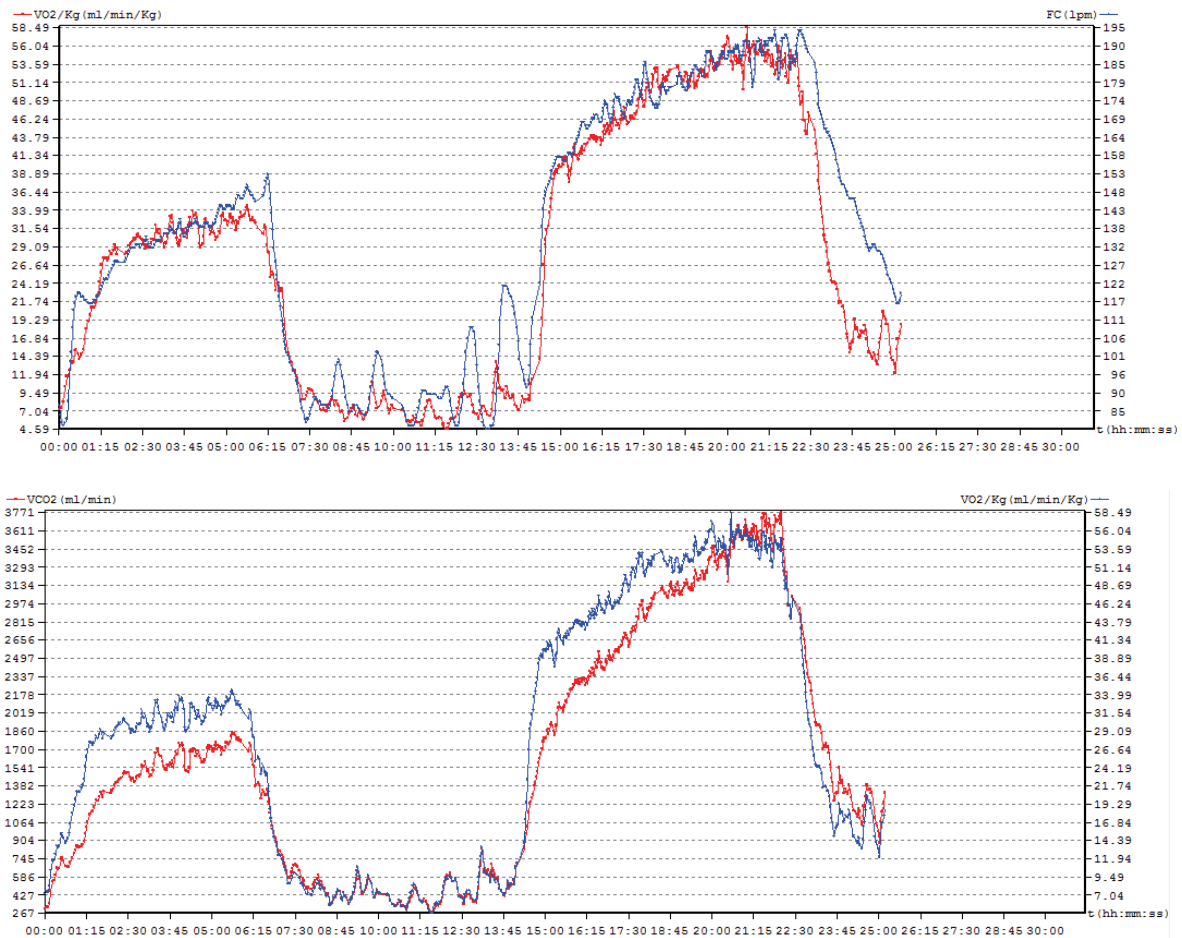
Ilustración 13

PC6M (arriba) y Course Navette (abajo) en un hombre de los EGCAF. En estas pruebas el participante lleva consigo la unidad K4b² de Cosmed.



Figura 27

Rendimiento en la PC6M y Course Navette en mujer EGCAF (figura es extraída del software OMNIA° PFT suite versión 1.5b (6058.28466) versión 10.0e compatible con el sistema portátil Cosmed K4b²).

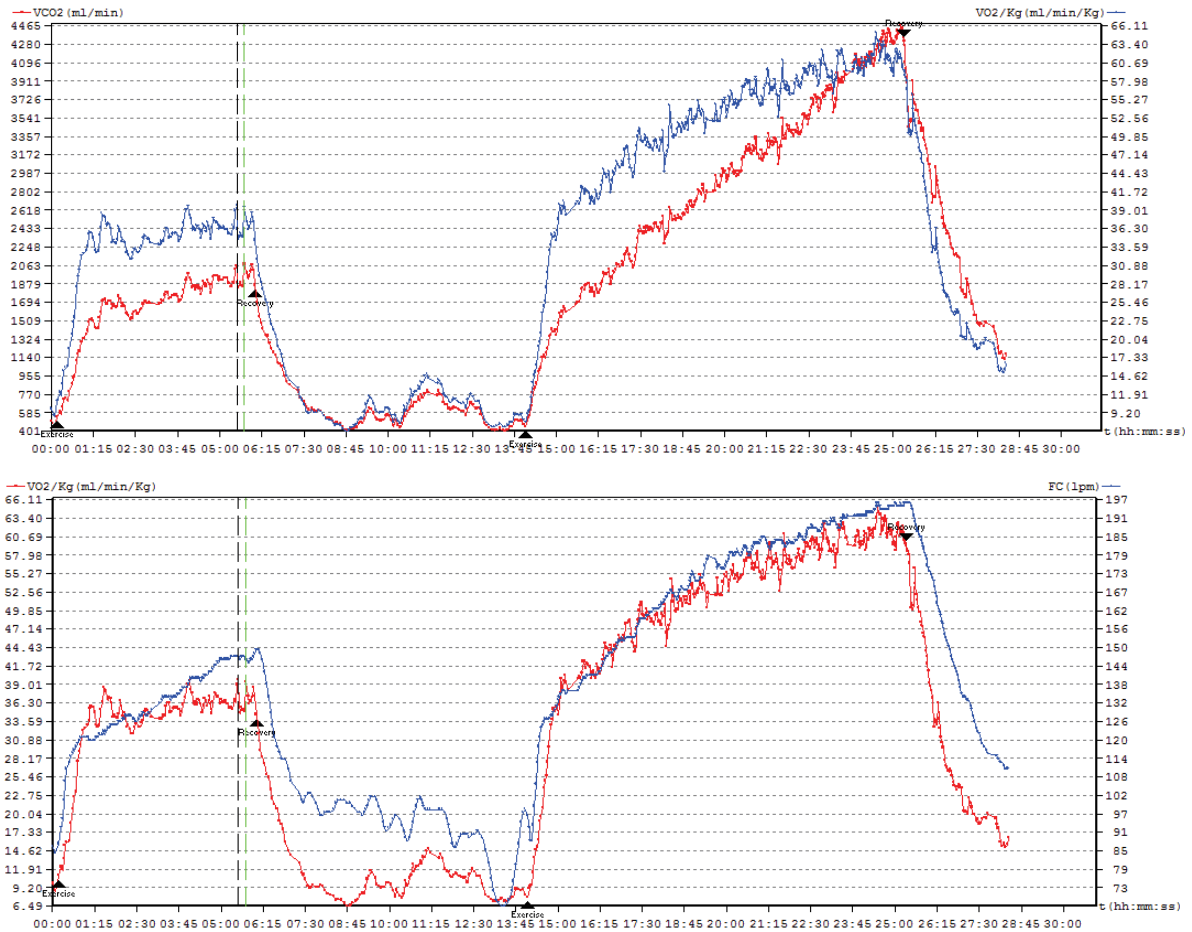


En la figura 27 se presenta el comportamiento del VCO_2 , del VO_2 y de la FC y FCr. En la parte inferior se expone el comportamiento del VCO_2 en $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ (rojo) y del VO_2 en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (azul), y en la parte superior el comportamiento de la FC y FCr en p/m (azul) y del VO_2 (rojo). Primero se realizó la PC6M y luego de unos minutos de recuperación el test de Course Navette. En la gráfica inferior se puede apreciar que el VCO_2 y el VO_2 presentan un comportamiento similar pero siempre es mayor el VO_2 durante la realización de las pruebas, el que únicamente es superado por el VCO_2 en la finalización de Course Navette, por lo que se deduce que el RER ha sobrepasado el valor de 1,0. Se advierte, también, que en la PC6M existe un comportamiento relativamente estable de ambos indicadores, los cuales se han elevado progresivamente hacia el final del test, es decir, hacia los seis minutos.

Por otro lado, en la gráfica superior se aprecia que la FC y el VO_2 caen de manera abrupta al terminar la PC6M, es decir, desde el minuto seis. Ahí llama la atención que durante la recuperación entre la PC6M y el Course Navette la FC tenga valores demasiado

oscilantes. Cabe señalar ante esto que en este período, que abarca desde los 9 hasta los 14 minutos, la participante realizó una recuperación pasiva: caminó pausadamente y tomó posición sedente.

Figura 28
Rendimiento en la PC6M y Course Navette en hombre EGCAF
(figura extraída del software OMNIA^o PFT suite versión 1.5b (6058.28466) versión 10.0e compatible con el sistema portátil Cosmed K4b²).



En la figura 28 las marcas a modo de triángulos negros con la base hacia abajo indican el inicio y término de los test. En la parte superior el comportamiento del VCO₂ en ml·min⁻¹ (rojo) y del VO₂ en ml·kg⁻¹·min⁻¹ (azul), y en la parte inferior el comportamiento de la FC y FCr en p/m (azul) y del VO₂ (rojo). En la gráfica se puede observar que el VO₂ durante la PC6M es relativamente estable hasta llegar al minuto seis y que luego decae rápidamente, ya en Course Navette el VCO₂ supera al VO₂ al final del test. En la gráfica inferior la FC se eleva progresivamente hasta el minuto seis durante la PC6M y también tiene un comportamiento oscilante durante la recuperación (minuto 9 al 14). En la tabla 38 se

presenta el comportamiento del VO_2 y del VO_2 de recuperación en valores promedio y desviaciones estándar para los 28 participantes.

Tabla 38
 VO_2 y VO_2 de recuperación de la PC6M en los EGCAF
 (VO_2 y VO_2 rec.: recuperación en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

VO_2 y VO_2 rec.	M + F	M	F
VO_2 min. 1	27,8±4,6	28,5±5,1	26,9±4,1
VO_2 min. 2	31,2±4,1	32,9±4,7	29,6±2,7
VO_2 min. 3	31,8±3,8	32,8±4,6	30,7±2,7
VO_2 min. 4	31,5±5	33,1±5,3	29,9±4,2
VO_2 min. 5	31,8±4,8	33,1±5,5	30,3±3,6
VO_2 min. 6	32,3±5,3	33,5±6,2	31,5±4
VO_2 rec. 30 seg.	19,8±4,3	20,6±4,5	19±4,2
VO_2 rec. 1:00	14,8±5,9	13,5±1,7	16±8,1
VO_2 rec. 1:30	12,6±8	10,2±2,3	14,9±10,8
VO_2 rec. 2:00	10,9±8,8	7,9±2,2	13,6±11,6
VO_2 rec. 2:30	10,6±9,1	7,6±1,6	13,5±12,3
VO_2 rec. 3:00	10,4±9,4	9,5±7,1	13,4±2,5

El VO_2 durante la PC6M sigue un comportamiento similar al de la FC, es decir, presenta una estabilidad tanto en hombres como en mujeres y en su conjunto. Posteriormente, el VO_2 de recuperación decae en forma rápida hasta el primer minuto, semejante a lo ocurrido con la FCr. Se deduce que estas variables, tanto la FC como el VO_2 , durante la PC6M y el VO_2 de recuperación con la FCr tienen una relación en esta muestra de sujetos.

En la PC6M, tanto en hombres como en mujeres, respectivamente, la distancia recorrida ($p=0,673$; $p=0,917$), la velocidad promedio ($p=0,682$; $p=0,942$) y el RPE ($p=0,251$; $p=0,109$) se distribuyeron de manera normal. Dado esto se encontró que la distancia recorrida por hombres y mujeres no fue significativamente distinta ($t[26]=0,404$, $p=0,691$), como tampoco lo fue la velocidad promedio ($t[26]=0,372$, $p=0,714$), y los dos indicadores fueron mayores en hombres. Así también, el RPE reportado por los hombres tampoco fue significativamente diferente que el reportado por las mujeres ($t[26]=0,683$, $p=0,501$), siendo mayor en estas últimas en valores promedio.

Siguiendo con la comparación del rendimiento en la PC6M entre hombres y mujeres, se ha encontrado que la FC durante la prueba se distribuyó de manera normal ($p > 0,05$) para ambos géneros, tomando como referencia el valor de FC cada 30 segundos (desde los 30 segundos hasta el minuto seis). Los resultados arrojaron que no existió una diferencia significativa en la FC registrada a los 30 segundos de iniciar la prueba entre hombres y mujeres ($t[26]=2,015$, $p=0,054$). Sin embargo, desde el minuto uno hasta el minuto seis si hubo diferencias estadísticas en la FC entre hombres y mujeres (tabla 39).

Ilustración 14
PC6M y Course Navette en una mujer de los EGCAF.



La FC de hombres y mujeres durante la PC6M es una variable importante para objetos del estudio, por lo que se realiza una comparación entre ambos en la siguiente tabla.

Tabla 39
Diferencias en la FC de la PC6M entre hombres y mujeres EGCAF
(gl: grados de libertad; *t*: Student).

FC y tiempo	gl	<i>t</i>	p
FC 1:00	25	3,410	0,002
FC 1:30	26	3,130	0,004
FC 2:00	25	2,777	0,010
FC 2:30	25	2,503	0,019
FC 3:00	26	2,731	0,011
FC 3:30	25	3,219	0,004
FC 4:00	26	2,429	0,022
FC 4:30	26	2,082	0,047
FC 5:00	25	2,636	0,014
FC 5:30	26	3,041	0,005
FC 6:00	26	2,685	0,012

Respecto a la comparación en la FCr entre hombres y mujeres, esta cumplió el supuesto de normalidad en las mujeres para la FCr desde los 30 segundos hasta los tres minutos, en registros cada 30 segundos ($p > 0,05$). Pero no ocurrió lo mismo en el caso de los hombres, particularmente en los tiempos de 1:00, 1:30 y 2:30 ($p < 0,05$). Ante esto, existieron diferencias significativas en la FCr de 30 segundos entre mujeres y hombres ($t[26] = -2,604$, $p = 0,015$), siendo mayor en hombres en valor promedio. De forma hipotética, esta diferencia explicaría que la FCr de 30 segundos no se correlacione ni negativa ni significativamente con el VO_2 máx. de Course Navette en los hombres (véanse más adelante en resultados de correlación).

Por su parte, no hubo diferencias ni en la FCr de un minuto ($z = -1,750$, $p = 0,08$), ni en la del minuto uno con 30 segundos ($z = -1,574$, $p = 0,115$). Tampoco lo hubo en la FCr de dos minutos ($t[25] = -1,974$, $p = 0,059$), ni en la de dos minutos con 30 segundos ($z = -1,538$, $p = 0,124$), ni en la FCr de tres minutos ($t[26] = -0,716$, $p = 0,480$).

En cuanto al VO_2 durante la PC6M todos los registros se distribuyeron de manera normal en hombres y en mujeres, esto es, cada 30 segundos hasta completar los seis minutos ($p > 0,05$), salvo el VO_2 al minuto uno con 30 segundos en las mujeres ($p = 0,023$),

que no reportaron diferencias significativas al compararlo con el de los hombres ($z=-1,538$, $p=0,124$). Posteriormente, se encontró que no existieron diferencias estadísticas entre el VO_2 de los hombres y mujeres durante la PC6M cuando se analizaron los registros cada 30 segundos, salvo en el minuto dos ($t[25]=2,195$, $p=0,044$), donde fue mayor el valor promedio de los hombres (tabla 40).

Tabla 40
Diferencias en el VO_2 durante la PC6M en los EGCAF
(gl: grados de libertad; t : Student).

VO_2 y tiempo	gl	t	p
VO_2 0:30	26	0,818	0,421
VO_2 1:00	25	0,884	0,385
VO_2 2:30	25	1,366	0,188
VO_2 3:00	26	1,431	0,164
VO_2 3:30	25	1,097	0,283
VO_2 4:00	26	1,777	0,087
VO_2 4:30	26	2,033	0,052
VO_2 5:00	25	1,566	0,130
VO_2 5:30	26	1,969	0,064
VO_2 6:00	26	1,177	0,250

Continuando con el análisis, el VO_2 de recuperación posterior a la PC6M en registros cada 30 segundos hasta el minuto tres cumplió con la ley de normalidad en los hombres ($p>0,05$) y en las mujeres solamente en el registro de 30 segundos ($p=0,570$). Los resultados muestran que no hay diferencias en el VO_2 a los 30 segundos de recuperación entre hombres y mujeres ($t[26]=0,954$, $p=0,349$), tampoco al minuto uno ($z=-0,063$, $p=0,950$), ni al minuto uno con 30 segundos ($z=-0,282$, $p=0,778$), al dos ($z=-0,597$, $p=0,551$), a los dos minutos con 30 segundos ($z=-0,157$, $p=0,875$), y tampoco al minuto tres ($z=-1,161$, $p=0,245$).

Ilustración 15
PC6M y Course Navette en los EGCAF.



La prueba de Course Navette entregó datos con respecto variables como la FC, el VO_2 , el RER y otros que se caracterizan en la tabla 41.

Tabla 41
Rendimiento en la prueba de Course Navette en los EGCAF.

Género	M + F	M	F
n	28	14	14
Palier último	9,1±1,7	10,3±1,3	7,9±1
Velocidad km·h ⁻¹	12±0,8	12,6±0,6	11,4±5
FC máx. palier	193,6±7,9	193,4±7,8	193,9±8,3
% FC máx. palier	100,9±4,3	100,8 ±4,6	100,9±4,1
RPE general	15,4±1,4	15,3±1,9	15,5±0,9
RPE Final	18,2±1,4	18,7±1,1	17,7±1,5
RER máx. palier	1,19±0,07	1,22±0,07	1,16±0,05
RER \bar{x} palier	1,16±0,06	1,19±0,07	1,13±0,04
VO ₂ máx. ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	55,4±6,2	59,5±3,7	51,4±5,4

En la prueba de Course Navette los datos de FC máxima y FC promedio en el último palier, el RER máximo y RER promedio del último palier, y el VO₂ máx. se distribuyeron normalmente para las mujeres y los hombres ($p > 0,05$). Los datos del RER máximo y RER promedio del último palier no se distribuyeron de manera normal en el caso de los hombres ($p = 0,009$ y $p = 0,004$, respectivamente). Asimismo, no se encontraron diferencias significativas del RPE general en Course Navette entre hombres y mujeres ($z = -0,239$, $p = 0,811$) y tampoco del RPE final de la prueba ($z = -1,641$, $p = 0,101$). Sin embargo, sí hubo diferencias en la velocidad del último palier y en el último palier completado (ambos con valor de $z = -2,868$, $p = 0,004$), presentándose mayor en hombres respecto al valor promedio. Además, no se encontró que la FC máxima del último palier difiriera entre hombres y mujeres ($t[26] = 0,163$, $p = 0,872$) y tampoco la FC promedio del último palier completado ($t[26] = -0,356$, $p = 0,725$). Sin embargo, en el RER máximo ($z = -3,208$, $p = 0,001$) y el RER promedio ($z = -3,317$, $p = 0,001$) del último palier sí hubo diferencias estadísticas entre hombres y mujeres, como también fue distinto el VO₂ máx. ($t[26] = -4,559$, $p < 0,0001$). Estas tres últimas variables fueron mayores en su valor promedio para los hombres.

A continuación se presentan las correlaciones entre los indicadores del desempeño aeróbico entre ambas pruebas.

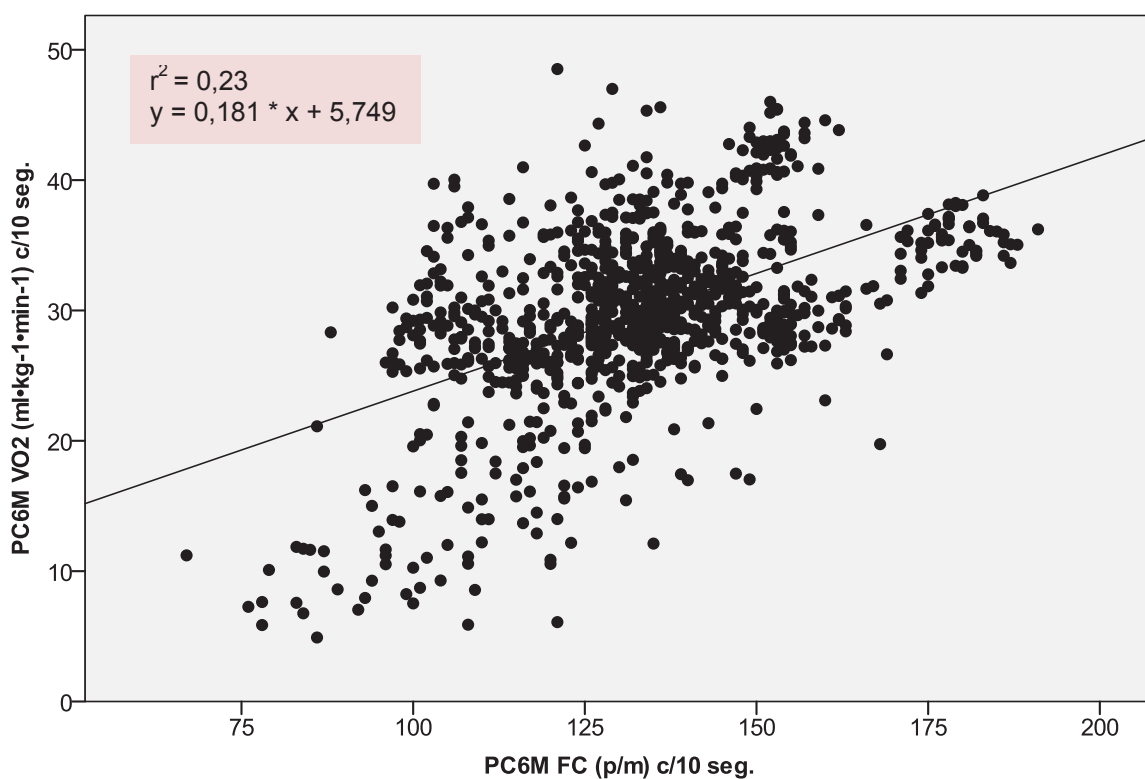
La FC y el VO₂ durante el transcurso de la PC6M no siguieron la ley de normalidad (VO₂ con $p < 0,0001$ y FC con $p = 0,007$) cuando se analizó el registro de los datos cada 10

segundos en los 28 sujetos, esto es, desde los 10 segundos de iniciar el test hasta el minuto seis. En la tabla 42 y en la figura 29 se aprecia la relación entre ambas variables (en la figura 29 se representan 991 pares de datos entre los registros de hombres y mujeres en su conjunto).

Tabla 42
Correlación entre la FC y el VO_2 durante la PC6M en EGCAF
(r: Spearman; VO_2 : $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$).

n	PC6M FC (p/m)	PC6M VO_2	r	p
28	132,7±20	29,7±6,9	0,48	<0,0001

Figura 29
Dispersión de la FC y el VO_2 durante la PC6M en EGCAF
(la ecuación es tentativa ya que SPSS la elabora según la correlación de Pearson).



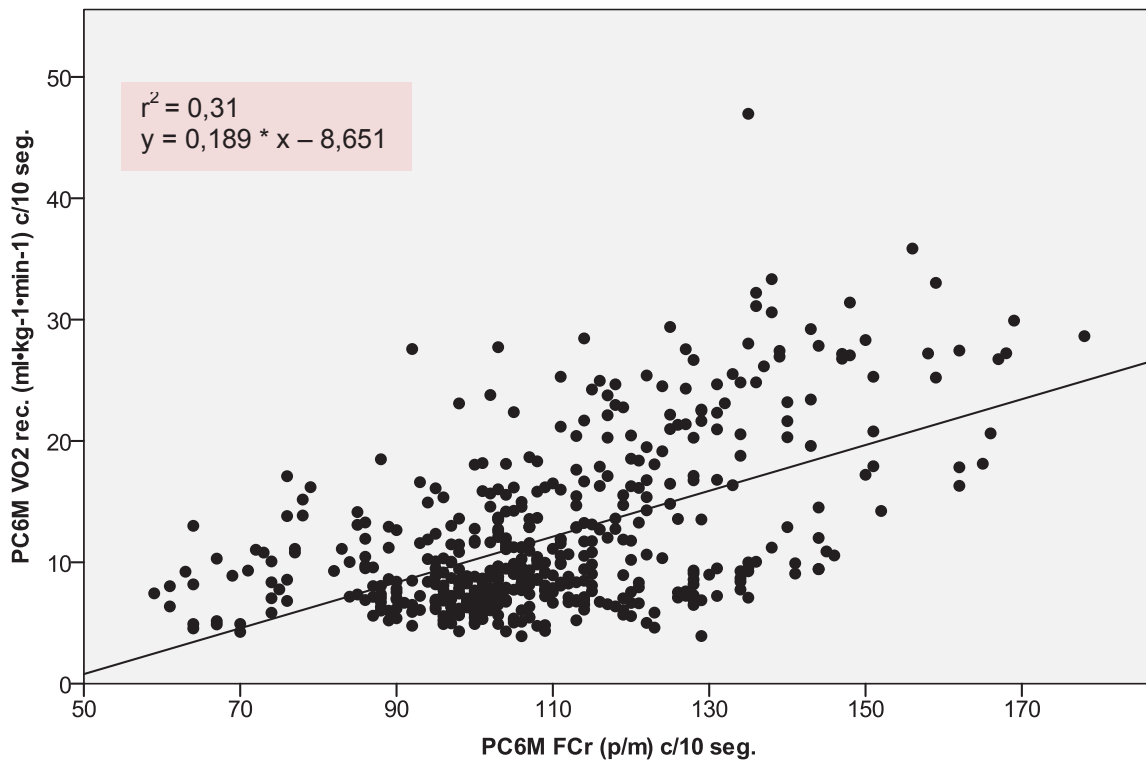
Con respecto a la FCr ($p=0,002$) y el VO_2 ($p<0,0001$) en la recuperación post PC6M, registrados cada 10 segundos, estas no se han distribuido de forma normal. La correlación

que han tenido estas dos variables indica que ambas se asocian de manera moderada y positiva aunque existe una significancia estadística (tabla 43 y figura 30).

Tabla 43
Correlación entre FCr y VO₂ de recuperación de la PC6M en EGCAF
(r: Spearman; VO₂: ml·kg⁻¹·min⁻¹).

n	PC6M FCr (p/m)	PC6M VO ₂ rec.	r	p
28	109,3±19,8	11,9±6,7	0,464	<0,0001

Figura 30
Dispersión de la FCr y VO₂ de recuperación en la PC6M en EGCAF
(la ecuación es tentativa ya que SPSS la genera en función de la correlación de Pearson).



La FCr posterior a la caminata y el VO₂ durante la prueba también se relacionaron (ya se ha descrito anteriormente su distribución normal). Esta vez el VO₂ se registró cada 20 segundos durante la prueba y para la FCr se siguió manteniendo el registro cada 10 segundos, esto para tener la misma cantidad de pares de datos (tabla 44).

Tabla 44
Correlación entre la FCr y el VO₂ de la PC6M en EGCAF
(r: Spearman. VO₂ en ml·kg⁻¹·min⁻¹).

n	PC6M FCr (p/m)	PC6M VO ₂	r	p
28	109,3±19,8	30,1±6,2	-0,17	<0,0001

Aunque la correlación expuesta en la tabla 44 es baja, es estadísticamente significativa. De forma hipotética se podría calcular el VO₂ durante la PC6M por medio de la FCr obtenida en la misma prueba, obsérvese la dispersión de los registros en la siguiente figura.

Figura 31
Dispersión del VO₂ y la FCr de la PC6M en EGCAF
(ecuación tentativa, pues SPSS la elabora respecto a la correlación de Pearson).

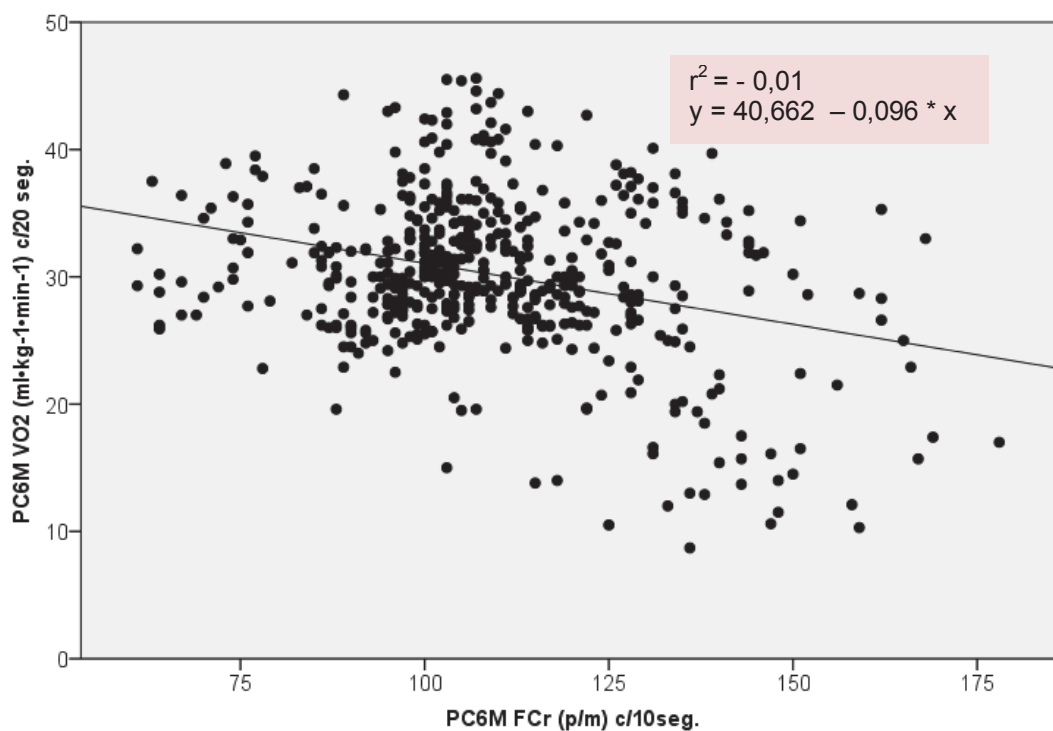


Ilustración 16
Equipación con la unidad portátil K4b² de Cosmed.



Administración de la PC6M también registrada por el sistema telemétrico.



Implementación de la unidad en un participante.



Monitoreo del desempeño en Course Navette por telemetría.

Con respecto a la relación entre la FCr, obtenida en la PC6M, y el VO₂ máx., medido en Course Navette, se encontraron los siguientes resultados:

- La FCr durante el primer minuto de recuperación, después de ejecutar la PC6M, presentó las correlaciones más altas y significativas con el VO₂ máx. de la prueba de Course Navette para hombres y mujeres en conjunto.
- Los valores de FCr registrados cada 10 segundos dentro del primer minuto se distribuyeron según la ley normal, salvo la FC al primer minuto de recuperación.
- La FCr de 10 segundos tuvo un valor de $p=0,867$, la de 20 segundos uno de $p=0,586$, la de 30 segundos uno de $p=0,189$, la de 40 segundos uno de $p=0,366$, la de 50 segundos uno de $p=0,249$ y la FCr de 1 minuto, un valor de $p=0,048$.
- Los registros de FCr dentro del segundo y tercer minuto de recuperación también se distribuyeron de manera normal, a excepción de la FCr de los dos minutos con 30 segundos.
- El VO₂ máx. ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) medido en la prueba de Course Navette también siguió la ley de normalidad ($p=0,379$).

La relación más alta con el VO₂ máx. fue con la FCr en 30 segundos. Los valores de la correlación se detallan en la tabla 45 y la dispersión de los datos en la figura 32.

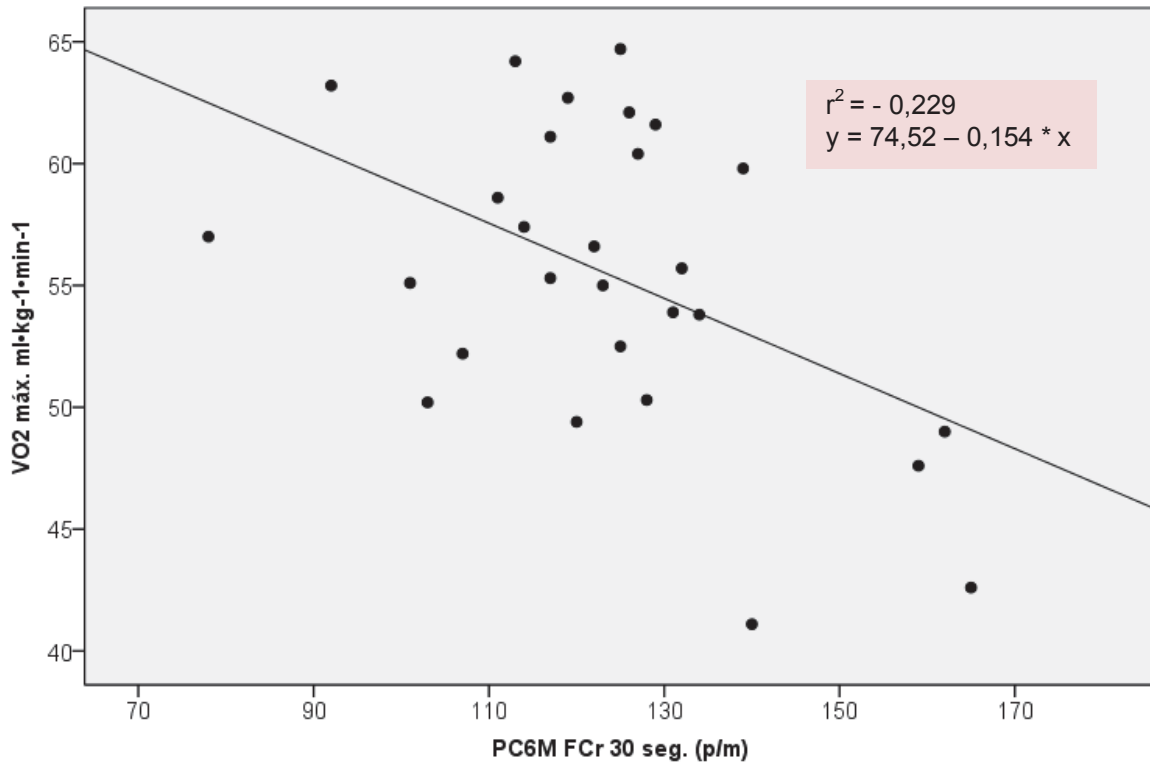
Tabla 45
Correlación entre la FCr y el VO₂ máx. en EGCAF (r: Pearson).

n	PC6M	Course Navette	r	p
	FCr (p/m) 30 seg.	VO ₂ máx. $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$		
28	123,5±19,2	55,4±6,2	-0,479	=0,01

Dada esta asociación entre las dos variables de interés se plantea la siguiente ecuación para estimar el VO₂ máx.: $y = 74,52 - (0,154 * \text{FCr } 30 \text{ seg.})$ ("y" es el VO₂ máx., y la FCr 30 seg. es la FCr obtenida 30 segundos después de terminar la PC6M).

Esta fórmula tiene un SEE de $5,55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y un $r^2 = -0,229$. Esto último indica que el VO₂ máx. se explica en un 22,9% por la FCr en 30 segundos y el porcentaje restante obedece a otras variables.

Figura 32
Dispersión de la FCr y VO₂ máx. en EGCAF hombres y mujeres.



Cuando se calculó la correlación para hombres y mujeres por separado, en las mujeres se encontró que la FCr se distribuyó normalmente en todos los registros ($p > 0,05$), salvo en el valor de dos minutos y 20 segundos de recuperación ($p = 0,026$), además el VO₂ máx. también siguió la ley normal ($p = 0,912$). La única correlación significativa con el VO₂ máx. fue con la FCr de 30 seg., lo que coincide con lo encontrado en los 28 sujetos. Luego, el nivel de asociación entre el VO₂ máx. y la FCr se pierde a medida que transcurre el tiempo hasta los tres minutos de recuperación.

La correlación entre la FCr en 30 segundos y el VO₂ máx. en las mujeres fue de $r = -0,543$ ($p = 0,045$), y la fórmula de estimación del VO₂ máx. es $y = 72,239 - (0,161 * \text{FCr } 30 \text{ seg.})$, donde "y" es el VO₂ máx. El SEE es de $4,79 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ y el $r^2 = -0,295$.

En el caso de los hombres, casi todos los registros de FCr dentro del primer minuto se distribuyeron de forma normal, situación que fue variando desde allí en adelante hasta el minuto tres. Las variables de interés no se relacionaron de manera negativa o inversa y tampoco fueron estadísticamente significativas.

Discusión

5. DISCUSIÓN

En este capítulo de la tesis se presenta una comparación entre los datos obtenidos en los cuatro estudios realizados con investigaciones encontradas en la bibliografía. A medida que avanza la discusión se va haciendo alusión a los test utilizados, a las variables medidas y a la relación entre ellas.

En relación al objeto de estudio de la presente investigación, cabe mencionar algunas divergencias en los estudios críticos efectuados en torno a ciertos asuntos que competen a esta investigación. Por una parte, se ha planteado que es poco común el estudio del sistema cardiovascular durante el período de recuperación (Redondo & Boone, 1998). Así también, en cuanto a la fiabilidad de las pruebas submáximas, los investigadores no han llegado a resultados unitarios ya que unos han planteado que tienen una gran variabilidad mientras que otros postulan a que su fiabilidad es alta. Esta discrepancia se ha asociado a características de los sujetos evaluados y a la intensidad de trabajo aplicado (Jinzhou et al., 2008).

5.1 Pruebas de caminata de esfuerzo submáximo

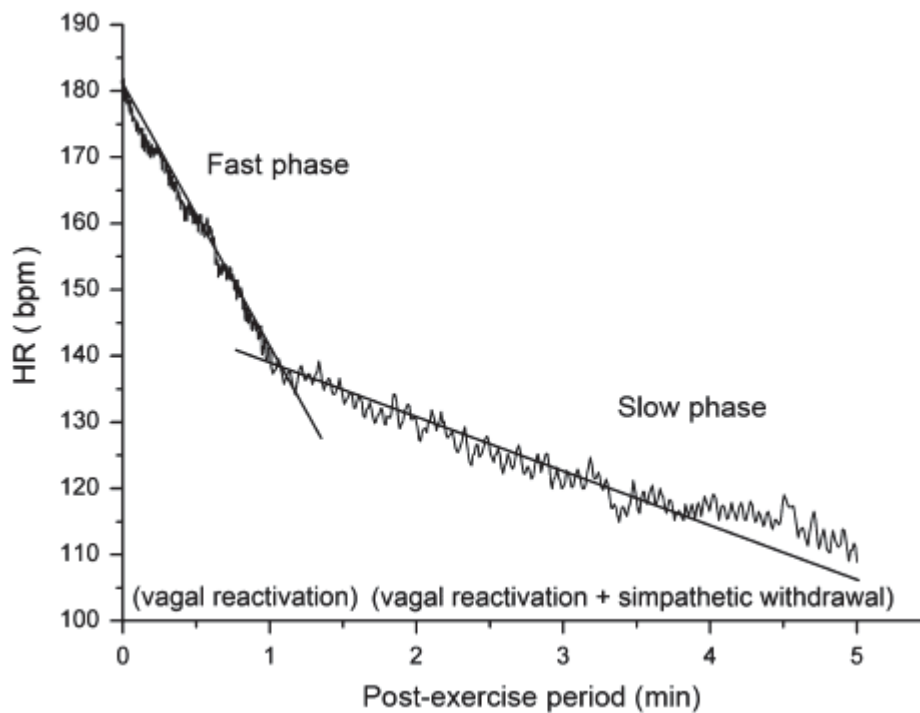
Si bien la PC6M se ha catalogado como una medición de esfuerzo máximo (Cao et al., 2013), algunos investigadores también la catalogan como una prueba de esfuerzo submáximo (Alameri, Al-Majed & Al-Howaikan, 2009).

La aplicación de la PC6M en EEF y EGCAF como indicador del rendimiento aeróbico va en la misma dirección que la propuesta del Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón, para evaluar y educar a las personas en relación a su aptitud cardiorrespiratoria con fines de prevención y políticas de promoción de salud a través de una prueba de caminata de tres minutos de duración en adultos japoneses de ambos géneros (Cao et al., 2013).

Según Peçanha et al., (2014) es posible plantear un modelo para la recuperación de la FC una vez que culmina el ejercicio en el que se advierten dos fases: una rápida y fase lenta. La fase rápida se determina por la disminución de la acción del comando central y de las respuestas mecano-reflejas (Coote, 2010; Peçanha et al., 2014), a causa de la ausencia de movimiento, que activan el dominio autónomo parasimpático y disminuyen la FC de forma rápida. Esta activación es la principal causa del descenso de la FC inmediatamente al culminar el ejercicio o cuando su intensidad cae (Coote, 2010). También se ha propuesto que esta fase rápida no obedece al nivel de intensidad del ejercicio que se ha realizado (Peçanha et al., 2014).

Por su parte, la fase lenta podría estar influenciada por la remoción de metabolitos como el lactato, el fosfato inorgánico, el ADP, junto a esto una mayor circulación para la eliminación de catecolaminas y una disminución de la temperatura, las que reducen el dominio autónomo simpático, lo que provoca la disminución de la FC. Esto último también producto de un incremento en la actividad vagal (Coote, 2010). Esta fase sí estaría influenciada por la intensidad del esfuerzo previo a comenzar la recuperación (Peçanha et al., 2014). La fase rápida tiene una duración hasta el primer minuto de recuperación aproximadamente y se fundamenta en la reactivación vagal. Luego, en la fase lenta, se suma la retirada de la división autónoma simpática. El comportamiento de la FCr en la fase rápida y en la fase lenta se expone en la figura 33.

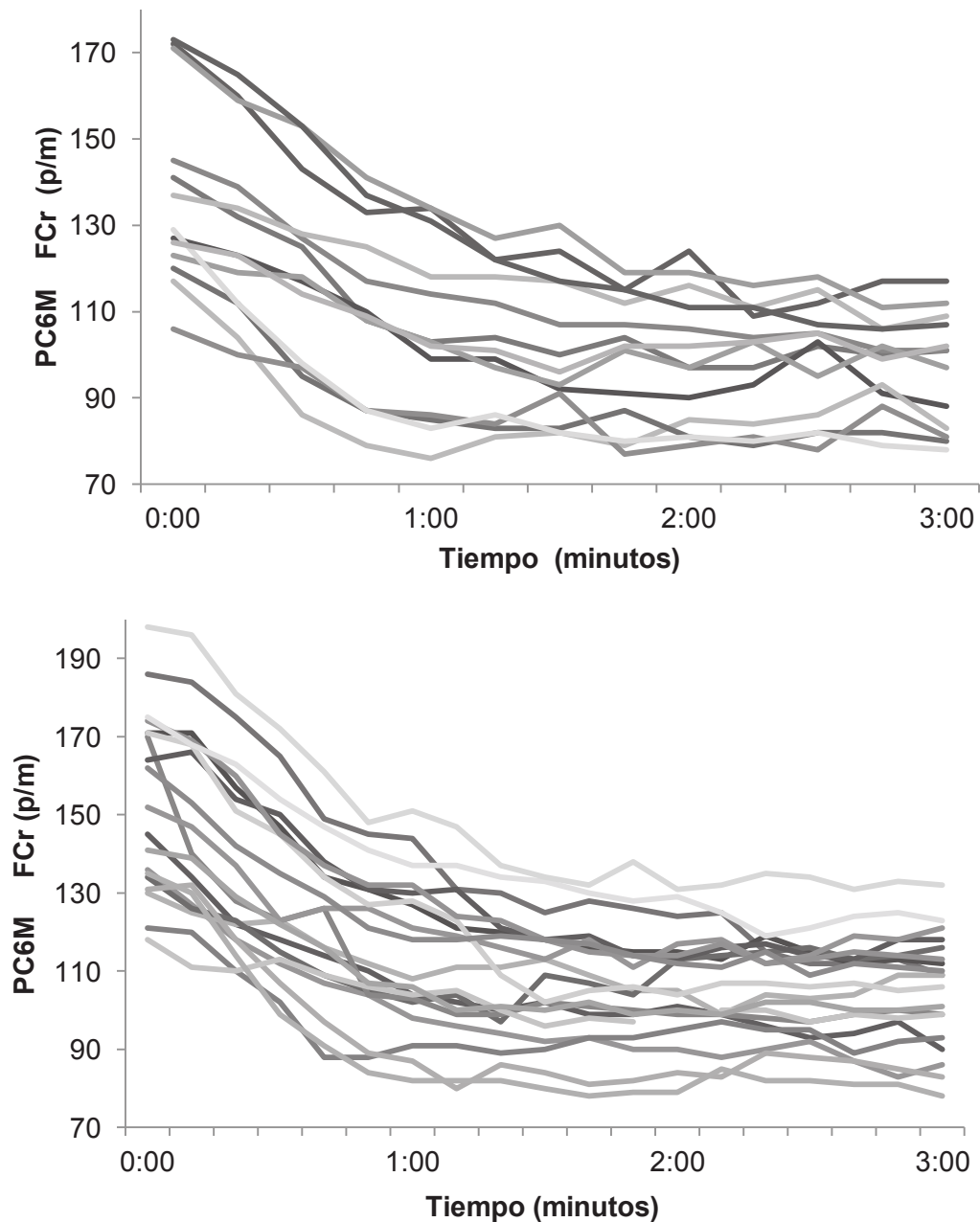
Figura 33
Fases en la recuperación de la FC
(tomado de Peçanha et al., 2014).

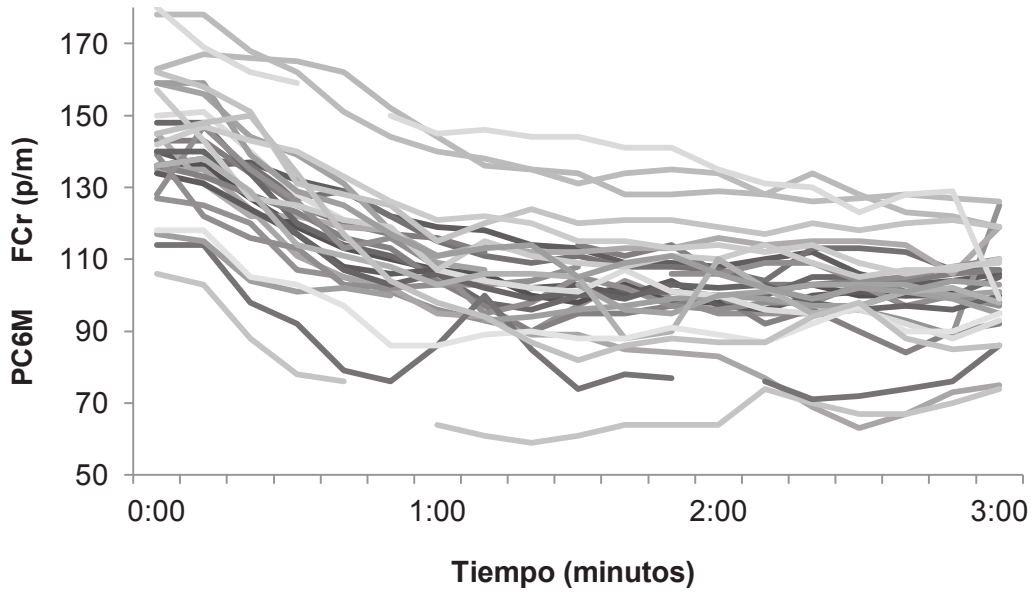


Los que plantean los autores se refleja en la FCr registrada en la PC6M en los EEF y en los EGCAF en donde la FCr se midió durante tres minutos (véase la figura 34). Esta tuvo un descenso rápido hasta el primer minuto de recuperación aproximadamente para luego lograr una cierta estabilidad hasta el minuto tres. Ante esto, en el estudio uno, donde en la PC6M se midió la FCr sólo en un minuto, se supone que se estaría en presencia de la fase rápida. Al parecer, en la PC6M la fase rápida de la recuperación de la FC se encuentra cercana al primer minuto, esto es similar a lo que exponen Imai et al., (1994) en Peçanha et al., (2014).

Coincidentemente, Buchheit, Papierer, Larsen & Ahmadi (2007) señalan que existe un descenso rápido de la FC que se enmarca entre los 30 y 60 segundos de la recuperación. La fase lenta se debería a la intensidad submáxima de la PC6M.

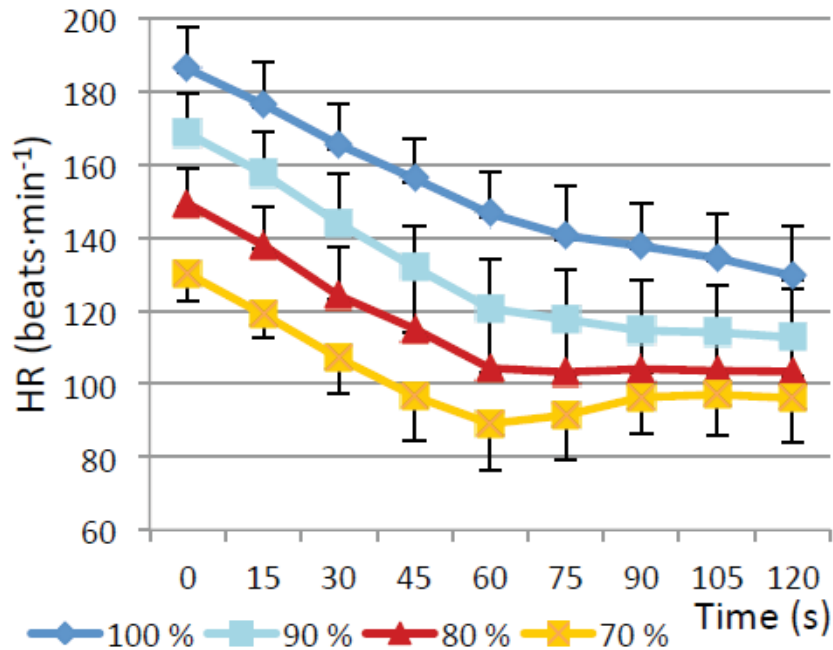
Figura 34
FCr en la PC6M de hombres y mujeres
(arriba: estudio dos; intermedio: estudio tres; abajo: estudio cuatro, pág. siguiente).





En la figura 34, se puede apreciar que en la PC6M de los estudios dos, tres y cuatro existió una fase rápida en la FCr que tuvo una duración aproximada hasta el primer minuto, y que luego se estabilizó hasta los tres minutos.

Figura 35
FCr post-ejercicio a diferentes intensidades del VO_2 máx.
(tomado de Karjalainen, 2012).

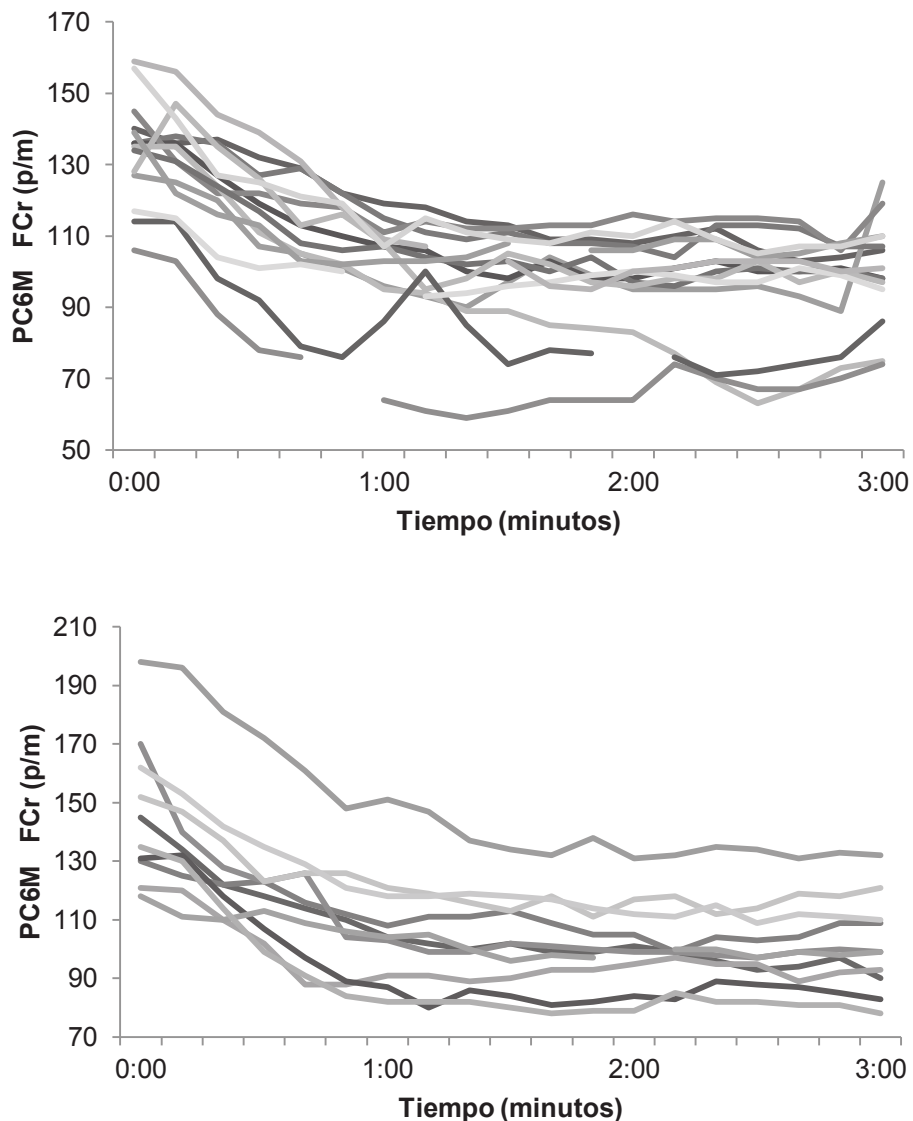


En la figura 35, son 10 sujetos de género masculino que realizaron ejercicio en cinta rodante y recuperaron en posición bípeda. Nótese que para todas las intensidades la FCr tiene una fase rápida hasta el primer minuto de recuperación aproximadamente. La intensidad del

70% del VO_2 máx. es mayor al esfuerzo que realizaron los hombres EEF y EGCAF durante la PC6M, ya que este fue al 42,9% y al 54,3% del VO_2 máx., respectivamente, y de igual forma se presentó una fase rápida en la recuperación, véase la figura 36. En esta figura la FCr al igual que en figuras anteriores tiene una fase rápida hasta el primer minuto de recuperación aproximadamente.

Figura 36

FCr en la PC6M de 14 hombres EGACF (arriba) y 10 hombres EEF (abajo).



En la investigación de Buchheit, Laursen, Al Haddad & Ahmaidi (2009b) se midió el rendimiento aeróbico en hombres jóvenes ($21,4 \pm 2,6$ años) que practicaban regularmente ejercicio físico intermitente o acostumbrados al ejercicio de muy alta intensidad, sin enfermedades cardiovasculares o pulmonares y que no se medicaban. Ellos se sometieron voluntariamente a una experimentación en la que tuvieron que realizar un ejercicio

submáximo de seis minutos de duración en pista sintética cubierta en donde se midió el RPE (1-10) y la FCr durante un período de 10 minutos. Primero se realizó un test intermitente para calcular el VO_2 peak, medido con unidad de análisis de gases portátil (K4b² de Cosmed) y, posteriormente, el test submáximo se realizó cuatro veces en dos ocasiones, separado con un día de recuperación, el cual consistió en hacer una carrera al 45% de la velocidad alcanzada en el último estadio del test intermitente. La velocidad de la prueba submáxima se administró por una señal acústica y la medición de la FC y VO_2 se hizo con la misma unidad portátil (en la tabla 46 se detalla el rendimiento en la prueba máxima y en la tabla 47 el rendimiento en la prueba submáxima). El instrumental portátil utilizado da cuenta de su aplicabilidad en pruebas de campo, tal como se realizó en los EGCAF en pruebas submáximas y máximas, como la PC6M y Course Navette, respectivamente. La FCr se midió en posición sedente en una silla durante 10 minutos, lo que no coincide con el protocolo utilizado en este trabajo de tesis para la FCr de la PC6M.

Tabla 46
Comparación en el rendimiento aeróbico máximo para pruebas de campo en hombres jóvenes (\bullet VO_2 peak; $\bullet\bullet$ VO_2 máx.; $\bullet\bullet\bullet$ valor aproximado en palier de 1 minuto de Course Navette).

	Buchheit et al., (2009b)	EGCAF (2016)
Edad años	21,4±2,6	21,7±3,6
n	11	14
VO_2 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	51,6±2,6 \bullet	59,5±3,7 $\bullet\bullet$
Velocidad km·h ⁻¹	19,2±0,9	12,6±0,6
FC final (p/m)	192,2±3,2	193,4±7,8
Duración min.	10,7±1,48	10,3±1,3 $\bullet\bullet\bullet$
RPE	9,3±0,7	10,7±1,6

En la tabla 46 se compara el rendimiento aeróbico de dos pruebas de campo incrementales hasta el agotamiento (en ambos estudios se utilizó la unidad portátil K4b² de Cosmed). La que describe Buchheit et al., (2009b), señalada en la primera columna, consistió en realizar carreras progresivas de 30 segundos cada una que inició a una velocidad de 8 km·h⁻¹ con aumentos de 0,5 km·h⁻¹ en cada pasada y entre ellas un período de 15 segundos de

recuperación pasiva. Por su parte, el test de Course Navette, segunda columna, inició a 8 km·h⁻¹ con aumentos de 0,5 km·h⁻¹ cada palier de un minuto aproximado.

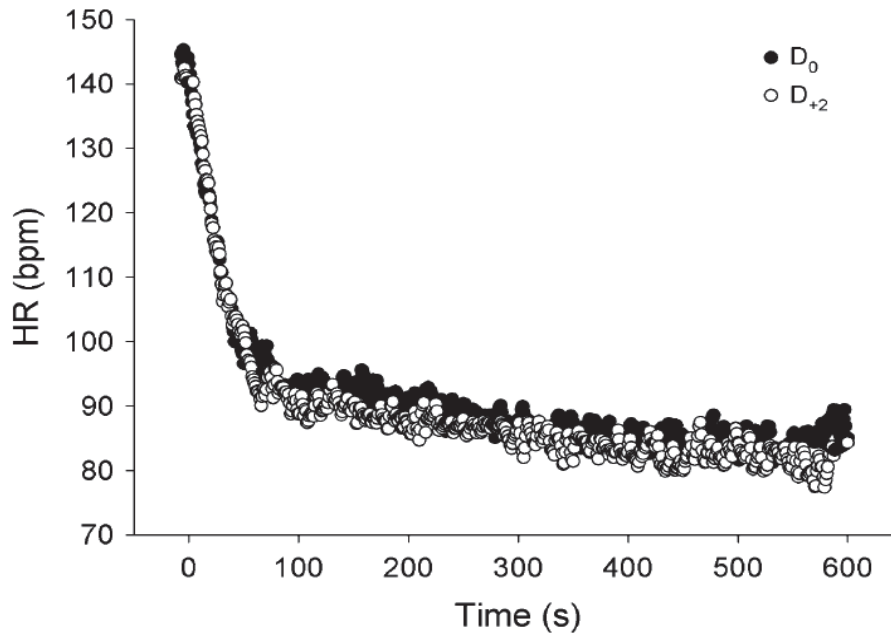
Tabla 47

Comparación en el rendimiento en una prueba submáxima en hombres jóvenes (*primera medición [día 0 = D0, figura 37]; **valor aproximado calculado del valor peak).

	Buchheit et al., (2009b)	EGCAF (2016)
VO ₂ \bar{x}	30±3,3•	31,6±6,8
% VO ₂	58,1••	54,3±7,7
Velocidad km·h ⁻¹	8,6••	7,1±0,7
FC \bar{x} test	136,8±11,6•	125,2±16,1
FCr 40 seg.	131,7±31,8•	109,5±16,8

Por otra parte, cabe señalar que la FCr fue determinada en posición de sentado en una silla, en cambio en los EGCAF fue en posición bípeda. Se advierte esto ya que la diferencia en la posición del cuerpo (véase la figura 37) da como resultado diferentes valores absolutos en la FCr (Takahashi, Okada, Saitoh, Hayano & Miyamoto, 2000 en Buchheit et al., 2009b). En ella, se aprecia que, al igual que en las figuras anteriores, la FCr posee una fase rápida hasta aproximadamente un minuto después de culminar un ejercicio submáximo y luego se estabiliza.

Figura 37
FCr en posición sentada post-ejercicio submáximo
(D₀: primera medición; D₊₂: segunda medición, ambas separadas por un día.
Tomado de Buchheit et al., 2009b).



En la PC6M, la FCr de la fase rápida es la que más se relaciona con el VO₂ máx. obtenido en Course Navette y en Bruce, pues la asociación fue más baja cuando se relacionó el VO₂ máx. con la FCr desde el minuto uno hasta el minuto tres de recuperación.

Uno de los propósitos del presente estudio fue analizar la relación entre la FCr y el VO₂ máx. de la PC6M y Course Navette y Bruce, respectivamente. Durante la locomoción el VO₂ y la FC, a una intensidad submáxima, son determinantes importantes en el estrés físico de este tipo de esfuerzo (Morgan et al., 2002 en Vilhena de Mendonça & Pereira, 2008). En este sentido, la FCr post-ejercicio submáximo se ha utilizado para la evaluación de la aptitud cardiovascular. Esta se basa en el principio de la relación entre la intensidad de trabajo, la FCr y el VO₂ máx. (Jinzhou et al., 2008). En relación a ello, algunos trabajos han demostrado que el VO₂ máx. está relacionado con la FCr, estos han indicado que la actividad vagal, la ejercitación y la edad influyen sobre el VO₂ máx. y que también se vincula con la FCr. Así, se ha expuesto que la FCr está relacionada inversamente con el VO₂ máx. (Dimkpa, 2009). Este último postulado coincide con lo encontrado en la presente investigación al observar las correlaciones entre la FCr y el VO₂ máx. sobre la muestra de estudiantes.

Tal como se indicó anteriormente, la PC6M se aplicó en sujetos chilenos en las ciudades de Santiago y Concepción. En este estudio se asoció la distancia recorrida en los seis minutos con la edad, la masa y la altura de los participantes, además se registró la

saturación de oxígeno, la FC y el RPE a través de la escala de Borg al inicio y al final de la prueba (Osses et al., 2010). Estas dos últimas mediciones coinciden con el procedimiento realizado con los EEF y EGCAF en donde se registró la FC y el RPE al finalizar el test. Por su parte, Fernandes et al., (2014) determinaron el desempeño aeróbico a través de la PC6M en 31 hombres jóvenes ($22,7 \pm 2,5$ años; $68,4 \pm 15,7$ kg; $1,7 \pm 0,1$ metros y un IMC de $23,5 \pm 4,3$ kg/m²).

Otro estudio reporta la distancia recorrida en la PC6M (véase la tabla 48) de hombres y mujeres universitarios, en la que los participantes rindieron el test de manera individual o grupal (Grindrod, Paton, Knez & O'Brien, 2006). La evaluación grupal reportó mayores distancias recorridas que las mediciones individuales, esto concuerda con el procedimiento utilizado con los EEF durante el estudio uno, que fue de carácter grupal administrando el protocolo en cinco sujetos a la vez, y en el estudio tres (test-retest) aplicado de a dos a cinco participantes al mismo tiempo.

En los estudios citados anteriormente se controlaron otras variables previo y durante las mediciones, esta condición de controlar variables previo y entre las evaluaciones se implementó en el estudio dos y tres con los EEF, y en el estudio cuatro con los EGCAF.

Tabla 48
 Distancia recorrida en la PC6M por sujetos jóvenes
 (•primera medición; ••segunda medición; •••tercera medición; •dos mediciones; ••medición grupal).

	Grindrod et al., (2006)		Osses et al., (2010)	Fernandes et al., (2014)	EEF Estudio 1	EEF Estudio 2	EEF Estudio 3	EGCAF Estudio 4
Género	F	M	M + F	M	M + F	M+F	M+F	M+F
n	8	8	--	31	127	17	20	28
Edad años	20,8±2	21±0,9	20 - 29	22,7±2,5	22,5±2,2	20±1,9	22,4±1,8	21,5±3
Distancia m	702±54••	736±79••	600 – 800•	643,5±63,1•	706,3±40,1••	701,5±36,2•	695,6±24,7	713,3±54
				648,1±81,9••		710,3±33,6••		
				648,3±81,9•••				

En la tabla 48 se aprecian las distancias recorridas en la PC6M. Las encontradas en los EEF en el estudio uno, dos y tres están dentro del rango establecido para sujetos chilenos, según lo reportado por Osses et al., (2010). Nótese, también, que en sujetos universitarios (Grindrod et al., 2006) la distancia es similar a la recorrida por los EEF y los EGCAF.

Los 105 hombres EEF que participaron en el estudio uno realizaron $711,8 \pm 39,3$ metros, distancia mayor a la reportada por Fernandes et al., (2014), y menor a la señalada por Grindrod et al., (2006), considerando que ambas fueron mediciones grupales. Por su parte, las 22 mujeres EEF del estudio uno cubrieron $679,8 \pm 33,4$ metros en la PC6M, lo que es menor a los que indica el autor citado recientemente, donde también fue una medición grupal (existieron mujeres y hombres a la vez, en diferentes pasillos, realizando el test en el caso del estudio uno).

Alameri et al., (2009) midieron el rendimiento físico por medio de la PC6M en 238 sujetos aparentemente sanos, siendo 127 hombres de 28 ± 8 años y 111 mujeres de 30 ± 8 años. Para ello se utilizó un pasillo de 30 metros de longitud, marcado cada un metro, donde se utilizaron frases estandarizadas cada un minuto para dar aviso del tiempo y se midió la FC final. El largo del pasillo, la información a cada minuto y la medición de la FC final coinciden con el protocolo utilizado en los EEF y EGCAF.

Por su parte, Bohannon et al., (2015) concluyeron que la PC6M es una opción para la evaluación funcional como test de campo luego de medir a 138 sujetos entre hombres y mujeres de $39,9 \pm 19,4$ años, quienes dieron su consentimiento para participar y no tuvieron problemas de salud ni imposibilidad para realizar el test. Los autores utilizaron frases estandarizadas cada un minuto durante la realización de la prueba, a la vez que indicaron el tiempo transcurrido a los participantes midiendo la FC y el RPE inmediatamente después de finalizar el test. Esta parte del protocolo descrito es igual a lo realizado con los EEF y los EGCAF, sin embargo, el pasillo a recorrer fue de una distancia de 50 pies (15,24 metros) ida y vuelta, y la FC la midieron con un oxímetro de pulso.

Tabla 49
Comparación en la distancia recorrida, FC y RPE de la PC6M.

	Alameri et al.,		Bohannon et al.,	EEF		EGCAF	
	(2009)		(2015)	Estudio 1		Estudio 4	
Género	M	F	M + F	M	F	M	F
Edad años	28±8	30±8	14 a 84	22,8±2,2	21,11±,6	21,7±3,6	21,3±2,3
n	127	111	138	105	22	14	14
Distancia m	430±47	386±46	595,9±81,8	711,8±39,3	679,8±33,4	717,5±69,6	709,1±34,2
FC final p/m	85±13	90±12	127,2±25,1	134,8±19,1	148,6±25,6	133,7±14,9	150±16,9
% FC final	45±7	47±6	--	70,5±10	77,4±13,4	69,7±7,6	78,1±8,5
RPE	--	--	11,1±2,9	10,5±2,3	10,6±1,9	10,7±1,6	10,9±1,6

En la tabla 49 se aprecian las variables de distancia, FC final y su porcentaje en relación a la máxima, del estudio de Alameri et al., (2009). Si bien en la presente investigación varias de las mediciones realizadas coincidieron con estos indicadores, hubo algunas diferencias menores en las distancias. Por ejemplo, el RPE reportado por Bohannon et al., (2015) es similar al obtenido en EEF y EGCAF y las distancias encontradas en la presente tesis son mayores a las reportadas por Alameri et al., y por Bohannon et al., esto explicado posiblemente por el rango etario.

El estudio que realizó Dourado (2010) consistió en revisar los trabajos publicados en idioma inglés y portugués sobre la PC6M (LILACS, SCIELO, PUBMED y MEDLINE) donde encontró que las variables que mayormente se midieron fueron la distancia recorrida, la edad, la masa, la talla, el IMC, el sexo y variables antropométricas, no mencionándose ni la FC durante la prueba, ni la FC final, ni la FCr. Con estas variables indicadas por el autor se han derivado ecuaciones de predicción para la distancia recorrida. Él mismo, en su trabajo de revisión reporta un total de 56 referencias, la mayoría de ellas son investigaciones en las que se aplica la PC6M en sujetos con patologías y sólo uno de estos trabajos relaciona el test de caminata con el VO_2 . Así, Troosters et al., (2002), por su parte, relacionan la PC6M con el VO_2 en pacientes adultos con enfermedad pulmonar a través de una prueba en cicloergómetro donde no hubo diferencias en el VO_2 entre las dos pruebas, y el test de seis minutos generó una elevada absorción de oxígeno.

Por otro lado, se ha reportado una prueba de caminata submáxima de cinco minutos de duración a una velocidad de $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con diferentes grados de inclinación de la cinta rodante sobre un grupo de nueve hombres y siete mujeres voluntarios estudiantes de educación física de 22 ± 4 años (Vilhena de Mendonça & Pereira, 2008). A los sujetos también se les midió el VO_2 máx. en una prueba incremental hasta el agotamiento en cinta rodante, prueba máxima que se les realizó inmediatamente después de las pruebas submáximas. Este criterio sugiere que la aplicación de Course Navette podría hacerse inmediatamente después de la PC6M, sin embargo, en la presente investigación se optó por hacer una recuperación de ocho minutos entre las dos pruebas, tal como se ha descrito en la metodología.

En el estudio de Britto et al., (2013) se aplicó la PC6M en 617 sujetos de ambos géneros, con un rango etario entre 19 a 79 años. En la investigación se elaboraron ecuaciones para estimar la distancia recorrida, una de estas ecuaciones incluyó el delta de FC (cambio desde la FC de base hasta la medición al final de la prueba), la que se correlacionó con la distancia en un valor de $\rho=0,43$ ($p<0,0001$), pero no se hizo una predicción del VO_2 .

5.2 Pruebas de carrera de esfuerzo máximo

En el caso de las pruebas de campo de carácter máximo se ha estimado el VO_2 máx. en la prueba de Course Navette y relacionado con una prueba directa de VO_2 máx., para luego establecer ecuaciones de predicción de la variable de interés en 60 hombres y 62 mujeres jóvenes, todos ellos físicamente activos (Stickland, Petersen & Bouffard, 2003). En el protocolo de Course Navette se aumentó la velocidad en $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en cada estadio de un minuto. También se aplicó la prueba de Navette para comprobar su fiabilidad en estudiantes universitarios voluntarios, 22 hombres y 13 mujeres, que practicaban diferentes deportes. El protocolo de la prueba comenzó a una velocidad de $8,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para ir aumentando en $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto (Lamb & Rogers, 2007).

En otro estudio se implementó la prueba de Course Navette para compararla con una prueba criterio de medición directa de VO_2 máx. en cinta rodante y generar una ecuación de estimación. Los participantes fueron 31 hombres voluntarios de distintas universidades, de los cuales algunos realizaban ejercicio físico recreativo con regularidad. El test tuvo una velocidad de inicio de $8,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, aumentando a razón de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto (Chatterjee et al., 2008). De igual manera Chatterjee et al., (2010) aplicaron el mismo procedimiento en 40 hombres estudiantes universitarios voluntarios. En la misma línea, Paradisis et al., (2014) concluyeron que se puede estimar el VO_2 máx. y la velocidad al VO_2 máx. a partir del test de Course Navette tras medir a 25 hombres y 23 mujeres estudiantes de educación física, quienes realizaron una prueba en cinta rodante de laboratorio y el test de campo de 20 metros de ir y volver. En esta última prueba la velocidad inicial y los incrementos en cada palier de un minuto fueron de $8,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente.

La prueba de Course Navette también se ha aplicado en estudiantes de educación física de ambos géneros donde el test también tuvo paliers de un minuto, comenzando a una velocidad de $8,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y aumentando en cada palier $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (García & Secchi, 2013). Corral & Del Castillo (2010) aplicaron el mismo protocolo descrito anteriormente para Course Navette en hombres y mujeres estudiantes de educación física.

El test de Course Navette de los estudios citados respecto a la velocidad incremental coincide con lo utilizado en los EEF y EGCAF. Sin embargo, no coincide con la velocidad del palier de inicio ya que en la presente investigación fue de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cuando se aplicó en el estudio uno, dos, tres y cuatro.

En la tabla 50 se observan valores de VO_2 máx. estimado en la prueba de Course Navette en estudiantes de educación física de diversas investigaciones, estos valores en ocasiones dependen de la fórmula empleada para dicho cálculo.

Tabla 50
Comparación en el VO_2 máx. estimado en Course Navette en sujetos jóvenes
(•estimación fórmula Léger et al., 1988. VO_2 máx. en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$).

	Lamb & Rogers (2007)	Corral & Del Castillo (2010)	Paradisis et al., (2014)	EEF Estudio 1	EEF Estudio 3
Género	M + F	M + F	M + F	M + F	M + F
n	22 + 13	43 + 14	25 + 23	105 + 22	10 + 10
Edad años	20,9±1,5 y 19,6±1	21,8±3,3	21,2±1,9	22,5±2,2	22,4±1,8
VO_2 máx.	52,1±7,8• 53,3±8,4• 52,9±7,6•	43,5±6,9	49,9±7,1	44,7±6,3	39,8±6

La comparación según género en el rendimiento aeróbico en la prueba de Course Navette se detalla en la tabla 51 y 52. Al igual que en la tabla 50 la estimación del VO_2 máx. puede variar según la fórmula utilizada.

Tabla 51

Comparación en la estimación del VO₂ máx. de hombres jóvenes en Course Navette (•estimación fórmula Léger et al., 1988; ••estimación Léger & Gadoury, 1989; •••test-retest: primera medición).

	Stickland et al., (2003)	Chatterjee et al., (2008)	Chatterjee et al., (2010)	García & Secchi (2013)	EEF Estudio 1	EEF Estudio 2
Género	M	M	M	M	M	M
n	60	31	40	46	105	15
Edad años	25,3±5	22,7±1,3	22,7±1,2	24,6±3,5	22,8±2,2	22,2±2
VO ₂ máx.	51,6±8,1• 50,7±8,9••	39,2±2,2	39,2±2,2	44,6±5	46,8±5,3	45,6±4,9•••

Tabla 52

Comparación en la estimación del VO₂ máx. de mujeres jóvenes en Course Navette (•estimación fórmula Léger et al., 1988; ••estimación Léger & Gadoury, 1989. VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹).

	Stickland et al., (2003)	García & Secchi (2013)	EEF Estudio 1	EEF Estudio 3
Género	F	F	F	F
n	62	31	22	10
Edad años	25,1±5,2	22,6±3,3	21,1±1,6	21,6±1
VO ₂ máx.	46,4±5,3• 45,1±5,8••	34,1±3,8	36,6±3,8	35,6±2,4

Con respecto al VO₂ máx. en pruebas en cinta rodante, este parámetro se ha medido por calorimetría indirecta en siete mujeres (22,7±2,6 años) y nueve hombres (21±1,3 años) estudiantes de educación física voluntarios, utilizando la prueba incremental de Bruce de ocho estadios en cuatro ocasiones (Romero, Soto & Moncada, 2012). Otro estudio también calculó el VO₂ máx. en la prueba en cinta rodante de Bruce en un grupo de 22 sujetos

estudiantes de educación física aparentemente sanos, siendo un subgrupo los individuos de $23 \pm 1,7$ y otro los de $27,5 \pm 1,5$ años (Machado, 2013). Valores de VO_2 máx. también se reportan al aplicar la prueba de Bruce en estudiantes universitarios, en este caso, seis hombres de $20,6 \pm 3,4$ años y seis mujeres de $21,4 \pm 2,9$ años, todos voluntarios y físicamente activos (Willmert et al., 2002). En mujeres entrenadas y no entrenadas de $20,8 \pm 0,9$ años también se ha medido el VO_2 máx. en la prueba de Bruce (Roy et al., 2004).

Los valores de VO_2 máx. de estos trabajos se comparan en las siguientes tablas con los datos obtenidos en los EEF que realizaron la prueba de Bruce en el estudio tres de la presente investigación.

Tabla 53
Comparación del VO_2 máx. en el test de Bruce en hombres
(•FC promedio del último minuto. VO_2 máx. en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$).

	Willmert et al., (2002)	Romero et al., (2012)	Machado (2013)	EEF Estudio 3
Género	M	M	M	M
n	6	9	11	10
VO_2 máx.	$48,8 \pm 8$	$50,2 \pm 5,5$	$46,6 \pm 6$	$61,0 \pm 5,4$
FC p/m	$184 \pm 11,4$	$180,7 \pm 2,1$	--	$190,1 \pm 10,9$ •

En la tabla 53 se debe tener en cuenta que la prueba de Bruce se ha aplicado con diferente cantidad de estadios en sus protocolos. También se puede apreciar que los valores de FC alcanzados en las pruebas indican un elevado esfuerzo de los sujetos. En la tabla 54 se presenta el rendimiento de mujeres en el test de Bruce.

Tabla 54
Comparación del VO₂ máx. en el test de Bruce en mujeres
(•FC promedio del último minuto. VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹).

	Willmert et al., (2002)	Roy et al., (2004)	Romero et al., (2012)	EEF (2016)
Género	F	F	F	F
n	6	20	7	10
VO ₂ máx.	48,8±8	38,7±6,2	41,6±6	46,9±6,4
FC p/m	184±11,4	--	180,7±2,1	190,8±9,3•

Al igual que en la tabla 53, el protocolo de Bruce se aplicó con diferente cantidad de estadios al medir el rendimiento en mujeres en cada investigación citada en la tabla 54.

Si bien es cierto existe una variación en la cantidad de estadios este test también se ha utilizado con diferentes formas de administración, como las variables que predicen el VO₂ máx. Por ejemplo, López & Fernández (2008) indican que esta prueba en tapiz rodante se estructura con seis estadios de tres minutos, con velocidades que van desde 2,7 a 8,8 km·h⁻¹ y pendiente desde 10 al 20%. Por su parte, Akalan et al., (2008) estudiaron el protocolo de Bruce en tapiz rodante sobre 44 hombres activos utilizando como variable el tiempo para predecir el VO₂ máx. ($r = 0,906$). También se ha empleado en 94 hombres sedentarios (García et al., 1996), en 97 hombres cardíacos ($r=0,865$) y sobre 295 hombres y mujeres saludables ($r=0,92$), usando variables como el género y el tiempo en completar la prueba para predecir el VO₂ máx.

Además, el protocolo de Bruce se ha utilizado en la valoración de la capacidad funcional de forma indirecta en diversas situaciones y es uno de los más aplicados sobre la población en general. Su protocolo modificado es indicado para personas con menor capacidad funcional y el cálculo del VO₂ puede realizarse a través de un nomograma o por medio de ecuaciones de predicción (López & Fernández, 2008). El test se ha implementado en atletas jóvenes (Hamlin et al., 2012), en niños pre-escolares (Van der Cammen-van Zijp et al., 2010) y en niños (Van der Cammen-van Zijp et al., 2009); así como en corredores hombres y mujeres jóvenes moderadamente entrenados (Miller, Dougherty, Green & Crouse, 2007), en estudiantes hombres y mujeres físicamente activos entre 18 y 29 años (Spackman et al., 2001), en mujeres y hombres desentrenados de entre 22 y 24 años (Kang,

Chaloupka, Mastrangelo, Biren & Robertson, 2001), en mujeres aparentemente sanas de entre 20 y 25 años (Roy et al., 2004) y en hombres sedentarios de 19 años (Bambaeichi, Najari & Barjasteh, 2010).

5.3 Relación entre FCr y VO₂ máx.

Como se ha descrito anteriormente, el postulado de Dimkpa (2009) indica que la FCr es inversa al VO₂ máx. Esta relación la han podido materializar Zwiren, Freedson, Ward, Wilke & Rippe (1991), quienes estimaron el VO₂ máx. utilizando la prueba de caminata de una 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 dos minutos de recuperación post-ejercicio.

Con respecto a la relación entre la FCr y el VO₂ máx., en este caso sólo para cinta rodante, Swank et al., (2001) encuentran una correlación de -0,81 entre la FC final en una prueba submáxima y el VO₂ máx., el que ha sido medido de forma directa en una prueba escalonada hasta el agotamiento en el mismo ergómetro. Para ello determinaron el desempeño físico en 19 mujeres (31,3±1,6 años) y 18 hombres (30,0±1,8 años), aparentemente sanos, en una prueba submáxima que se componía de tres estadios que iban incrementando la intensidad progresivamente, donde en el estadio número tres los sujetos (hombres y mujeres en conjunto) alcanzaron un valor de FC final de 166,1±1,9 p/m y 163,5±1,7 p/m en una primera y segunda medición, respectivamente. El VO₂ máx. que lograron en el primer y segundo sondeo de la prueba incremental fue de 49,1±2,1 ml·kg⁻¹·min⁻¹, en ambos. Los criterios para determinar el VO₂ máx. fueron una FC dentro de 15 p/m con respecto a la máxima, un RER mayor que 1,1 u otro, donde los sujetos cumplieron uno o más de estos.

Por otra parte, se ha encontrado una correlación (Pearson) entre el VO₂ máx. (L·min⁻¹) y la FCr, 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±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 km·h⁻¹ para ir aumentando 0,5 km·h⁻¹ cada un 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, el RER mayor a 1,1 y alcanzar la FC máxima dentro de 10 p/m según la fórmula 220 – edad, y 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 un minuto para luego caminar a 4 km·h⁻¹ durante un minuto más. Estas pruebas submáximas se realizaron en días posteriores a la prueba máxima y en todas ellas a los sujetos no se les permitió comer ni tomar café dos y tres horas antes de las

mediciones, tampoco se les permitió realizar actividad física extenuante ni ingesta de alcohol 48 horas antes de los test (Karjalainen, 2012).

Tabla 55

Comparación de pruebas submáximas y máximas que relacionan la FCr y el VO₂ máx. en cinta rodante (•VO₂ máx. en L·min⁻¹; ••VO₂ máx. en ml·kg⁻¹·min⁻¹; [p]: Pearson; [s]: Spearman).

	Swank et al., (2001)••	EEF•• Estudio 3	EEF• Estudio 3	Karjalainen (2012)•
Género	M + F	M + F	M	M
n	18 + 19	20	10	10
FC final	-0,81; p=?	[s] -0,37; p=0,101	--	--
FCr 60 seg.	--	--	[p] -0,33; p=0,36	[p] ?; p=0,051

La relación entre las variables de interés (FCr y VO₂ máx.) en el estudio de Karjalainen (2012) no es significativa, al igual que en los hombres EEF del estudio tres. Por su parte, en el estudio de Swank et al., (2001) aunque la correlación entre la FC final y el VO₂ máx. es negativa y alta no se reporta el valor de la significancia estadística, en cambio para hombres y mujeres EEF en el estudio tres la relación es baja y no es significativa. Se aprecia en aquellos estudios, que reportan el valor de la correlación, que la tendencia es inversa entre ambas variables.

5.4 Ecuaciones para estimar el VO₂ máx.

Existen muchas pruebas para predecir el VO₂ máx. por medio de la FC durante el ejercicio o el post-ejercicio (McArdle et al., 1990). Algunos test de campo utilizan la FC junto a otras variables. También los protocolos de caminata en cinta rodante y de campo han incluido la FC y otras variables para estimar el VO₂ máx.

Tabla 56
 Protocolos de caminata en cinta rodante para estimar el VO_2 máx. a través de la FC
 y otras variables (tomado de Akalan et al., 2008; predicen el VO_2 máx. en $\bullet\bullet\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ y en $\bullet\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Estudio	Año	n	Edad años	Género/salud	Predictores del VO_2 máx.	r	SEE
Ebbeling	1992	67	20-59	M	Velocidad caminata, género, edad, FC•	0,96	5
		72		F			
Widrick	1992	145	20-59	M sanos	Masa corporal, edad, género, tiempo, FC•	0,91	5,26
Bonen	1979	100	7-15	M	FC, VCO_2 , VO_2 , edad••	0,95	0,17
Metz	1971	60	12-13	M	FC, RER, VO_2 •	0,7	--
Metz	1971	60	14-15	M	FC, VO_2 , RER•	0,48	3,8
Hermiston	1971	28	25-45	M	Edad, FC, CO_2 , RER	0,9	--

Tabla 57

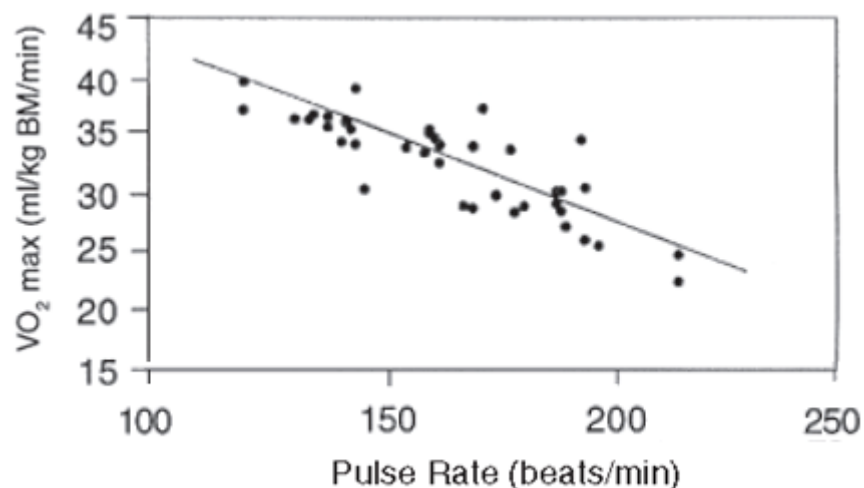
Protocolos de campo de caminata para estimar el VO_2 máx. mediante la FC y otras variables (tomado de Akalan et al., 2008; predicen el VO_2 máx. en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y en $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$; * $<0,05$).

Estudio	Año	n	Edad años	Género/salud	Predictores del VO_2 máx.	r	SEE
Kline	1987	343	30-69	M y F	Tiempo 1 milla caminando, FC, edad, masa corporal••	0,93	0,325
Coleman	1976	90	20-29	M y F sanos	Tiempo caminata 1 milla, FC, género, edad, masa corporal•	0,79	5,68
Worlton	2001	22 + 27	18-29	M + F	Sexo, masa corporal, tiempo en 1 milla (trote o carrera), FC•	0,93	3,05
Larsen et al.,	2002	52 y 47	18-26	M + F	Género, masa corporal, tiempo en 1 milla (caminar, trotar o correr), FC•	0,9*	2,87

En las tablas 55 y 56 se puede observar que las pruebas de caminata en cinta rodante y de campo presentan correlaciones que generalmente son altas. Asimismo, que el SEE es inferior al de la fórmula de predicción del VO_2 máx. ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) encontrada en el estudio tres para hombres y mujeres EEF ($7,17 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y en el estudio cuatro para hombres y mujeres EGCAF ($5,55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Se debe recalcar, además, que a parte de la FC se incluyen otras variables predictivas del VO_2 máx.. También se debe considerar que el estudio de Larsen et al., (2002) investigó el rendimiento aeróbico en hombres y mujeres universitarios en el test de una milla, lo que se asimila a las muestras de sujetos utilizadas en las cuatro investigaciones de la presente tesis en donde participaron estudiantes de carreras universitarias.

Por otro lado, Chatterjee et al., (2005) a partir de una muestra de 40 mujeres sedentarias, plantean una relación inversa entre la FCr obtenida en el test del escalón de McArdle y el VO_2 máx. medido de forma directa en cicloergómetro. A menor FCr se observa un mayor VO_2 y a la inversa, esta tendencia se ha observado para la relación entre la FCr y el VO_2 máx. en los EEF y EGCAF, pero la nube de puntos no ha sido tan cercana a la línea de tendencia como se aprecia en el estudio de comparación (véase la figura 38).

Figura 38
Relación inversa entre la FCr y el VO_2 máx.
(tomado de Chatterjee et al., 2005).



En la siguiente tabla se observan algunos test en escalón que predicen el VO_2 máx. En estos sucede que a menor FCr resulta mayor el VO_2 máx. y, al revés, a mayor FCr menor es el VO_2 máx.

Tabla 58

Test en escalones que estiman el VO₂ máx. a partir de la FCr.

(Mc): McArdle et al., (1972); (Md): McArdle et al., (2001); (Ch): Chatterjee et al., (2005); (Ct): Chatterjee et al., (2004); (a): Åstrand & Ryhming (1954); (f): Francis & Feinstein, (1991); Ferrar et al., (2014); VO₂ máx. en •ml•kg⁻¹•min⁻¹.

Ergómetro para test	n	Género	Edad años	Ecuación	Tiempo FCr	r	p	SEE	Ergómetro validación
Escalón(Mc)	41	F	20,8	65,81-0,1847*FCr	5-20"	-,75	--	2,9 ml	Cinta
Escalón(Md)	--	M	--	111,33-0,42*FCr	5-20"	--	--	--	--
Escalón(Ch)	40	F	21,9	54,12-0,13*FCr	5-20"	-,83	<0,001	0,3•	Cicloergómetro
Escalón(Ct)	30	M	22,6	55,23-0,09*FCr	5-20"	-,96	<0,001	0,4•	Cicloergómetro
Escalón(a)	31	F	20-30	Nomograma(FCr)	--	--	--	--	--
	28	M	20-30						
Escalón(f)	286	F y M	6 - 18	117,6-1,703871*FCr	15"	,79 a ,81	<0,01	5,6 a 7•	Bruce
				105,3959-1,643756*FCr					
				110,4501-1,657864*FCr					

En la tabla 58 se aprecia que la gran parte de las correlaciones son altas y negativas, es decir, que estimado por medio de la ecuación, cuando disminuye la FCr, el VO₂ máx. aumenta. También que el SEE en un solo caso es similar al encontrado en los EEF (7,17) y EGCAF (5,55) cuando este es en ml·kg⁻¹·min⁻¹ y en otros casos es más bajo, al parecer cuando se encuentra una correlación más alta el SEE suele ser más bajo. También se advierte que, en los estudios expuestos en la tabla 58, el tiempo de registro de la FCr que estima el VO₂ máx. se mide hasta los 20 segundos post-ejercicio, lo que es similar a lo encontrado en la presente investigación ya que en el estudio tres con EEF el registro de FCr a los 20 segundos se correlacionó de mejor manera con el VO₂ máx., y en los EGCAF fue el registro de la FCr a los 30 segundos, sin querer decir que los registros de FCr antes de los 20 segundos en los EEF no se hayan correlacionado significativamente con el VO₂ máx. (FCr 10 seg; r=-0,658 con p=0,002 y n=19), solo que el número de registros de FCr a los 10 segundos fue menor. Por su parte, en los EGCAF para el registro de FCr a los 20 segundos la correlación fue de r=-0,468 (p=0,012) y al registro de 10 segundos que fue de r=-0,4 (p=0,035).

Cabe señalar que las ecuaciones que predicen el VO₂ máx. que se ha encontrado en la literatura y que se elaboraron en el presente estudio consideran a la FCr en su fase rápida, es decir, dentro del primer minuto de recuperación.

En la revisión bibliográfica que se realizó en el presente trabajo de investigación se ha observado que la FCr, como variable que predice el VO₂ máx., está presente solamente en las fórmulas que proponen algunos test en escalón, sin incluir otras variables como la masa corporal, etc., acompañada solamente por los valores de las constantes, tal como se ha expuesto en la tabla anterior. La FCr, como variable predictiva del VO₂ máx. en la PC6M, no se ha encontrado en esta revisión de la literatura, en algún caso solo ecuaciones para estimar la distancia que podrían recorrer los sujetos. Sin embargo, pese a que se hayan buscado algunas investigaciones que miden ambos parámetros en sujetos con patologías (cardíacas, pulmonares, etc.), estas no tienen como objetivo elaborar una fórmula que estime el VO₂ máx., que es el objetivo que aquí se persigue.

Conclusión

6. CONCLUSIÓN

Con respecto a la primera hipótesis de investigación, en la que se planteaba que la correlación entre la FCr de prueba de caminata y el VO_2 máx. de una prueba incremental hasta el agotamiento era alta y estadísticamente significativa, tras las observaciones realizadas se puede concluir que no se aporta una información clara a favor de esta que permita respaldarla de forma categórica ya que, si bien se han obtenido correlaciones significativas e inversas, en ningún caso han sido correlaciones altas entre las variables de FCr de la PC6M y VO_2 máx. de Course Navette y/o de Bruce.

En relación a la segunda hipótesis, sobre elaborar una ecuación para predecir el VO_2 máx. a partir de la FCr de un test de caminata con bajo error de estimación, si bien se elaboraron dos ecuaciones para estimar el VO_2 máx. estas presentan un SEE que según la bibliografía crítica revisada debería ser más bajo, junto a esto la evidencia indica que el valor de la correlación que da paso a la ecuación debería ser más alto, por lo que no se entrega demasiada información que potencie la hipótesis planteada. Sobre el primer objetivo específico, en el cual se buscaba establecer la relación entre la FCr de test submáximos y el VO_2 máx. de pruebas de esfuerzo máximo a partir de la revisión bibliográfica, los estudios al respecto resultan ser contradictorios pues, en ocasiones aportan información favorable sobre la relación entre la FCr y el VO_2 máx. y en ocasiones esta información no es tan clara. El aspecto a favor se aprecia sobre todo en base a las correlaciones que dan fruto a las ecuaciones de cálculo del VO_2 máx. de pruebas en banco ergométrico que se evidencian en algunos artículos de investigación.

En lo que respecta al segundo objetivo específico, sobre la fiabilidad de la FCr en la PC6M y del VO_2 máx. de Course Navette, se puede concluir que en el estudio dos la FCr dentro del primer minuto de la PC6M resultó ser fiable para la medición del rendimiento aeróbico en los EEF ya que no fue estadísticamente diferente entre las tres mediciones efectuadas. Otros indicadores, como la distancia, el RPE y la FC final, también fueron fiables. El VO_2 máx. de Course Navette también demostró ser fiable en la muestra de estudiantes, junto con el RPE y la FC final.

En cuanto a la comparación del rendimiento en la PC6M y en Course Navette (estudio tres) entre hombres y mujeres EEF, correspondiente al objetivo específico tres, se ha podido observar que no existieron diferencias en la distancia recorrida, en el VO_2 , en la FC durante el test y en la FCr al primer minuto en la PC6M. En la prueba de Course Navette no difirieron estadísticamente el RPE general y final, ni tampoco la

FC final, pero sí el VO_2 máx. Por su parte, en el test de Bruce se presentaron diferencias en la FC promedio en el último minuto y en el VO_2 máx., pero no fueron estadísticamente diferentes el RPE general y final en la misma muestra de EEF.

Con respecto a los EGCAF durante el estudio cuatro y siguiendo el objetivo número tres, en la PC6M la distancia recorrida y el RPE no fueron distintos, tampoco la FC durante el test. Pero sí lo fueron los valores de FCr a los 30 segundos, no así desde el minuto uno hasta los tres minutos de recuperación y tampoco en el VO_2 durante el test. En Course Navette no hubo diferencias en el RPE general y final, y sí en la FC promedio del último palier y también en el VO_2 máx.

Por último, enfocándose en los objetivos cuatro y cinco, sobre la validación de la FCr de la PC6M, esta es válida para estimar el VO_2 máx. debido a la correlación encontrada, y puede ser utilizada sobre todo en los EEF considerando que el SEE un tanto elevado. Asimismo, la FCr de la PC6M es válida para estimar el VO_2 máx. de Course Navette en los EGCAF, aunque la correlación sea moderada la ecuación tiene un SEE más bajo y más acorde a lo encontrado en la literatura. Pese a lo anterior, en ambos casos la aplicación de la PC6M para la predicción del VO_2 máx. utilizando las ecuaciones elaboradas se debe hacer con mesura.

6.1 Supuestos, limitaciones y proyecciones

La FCr post-ejercicio submáximo en las pruebas aplicadas es un indicador del VO_2 máx., ya que cuando existe una mayor FCr el VO_2 máx. resulta menor y viceversa, tal como ocurre al calcularlo utilizando el nomograma de Åstrand y con las ecuaciones en la prueba del escalón de McArdle. Por lo tanto, se aportó información sobre aquel fenómeno en este estudio.

En el caso que las correlaciones hayan sido altas, manteniendo su carácter inverso y estadísticamente significativo, las ecuaciones elaboradas para estimar el VO_2 máx. habrían tenido un SEE menor y más acorde a lo encontrado en los estudios revisados.

Una de las limitaciones de esta investigación es que costó cautelar que los participantes no realizaran ejercicio físico los días antes de las mediciones y/o entre ellas mismas, específicamente en los EGCAF, a los que no se les conocía mayormente y no existía una confianza para hacer, por ejemplo, un llamado telefónico y recordar las restricciones en este estudio, ya que a los que optaban por participar generalmente les agradaba hacer práctica de actividades físico-deportivas con frecuencia semanal. Pese a esta condición, se les mencionó y sugirió a los estudiantes la restricción de ejercicio físico y otras que se detallaban en el documento de información para los participantes. En contraposición, a los EEF se les conocía más y

existía mayor confianza, por lo que las restricciones de ejercicio y otras se pudieron cautelar con mayor rigurosidad.

Otra limitación del estudio es que la elaboración de las ecuaciones de predicción del VO_2 máx. se realizaron para ambos géneros en conjunto y no diferenciando ecuaciones, lo que deja el camino abierto para realizar investigaciones futuras elaborando fórmulas por cada género.

La proyección de este trabajo de tesis se centrará en la aplicabilidad de la PC6M como predictor del VO_2 máx., de tal manera que se pueda administrar como parte de las baterías de test aeróbicos que realizan los EGCAF y especialmente los EEF debido a una cercanía de contexto, además de seguir pesquizando el comportamiento de algunos indicadores, como la velocidad de la caminata, pensando en implementar una señal acústica que marque la intensidad de paso, y sobre todo el comportamiento de la FCr a modo de perfeccionar la correlación con el VO_2 máx. y las ecuaciones predictivas derivadas de ello.

BIBLIOGRAFÍA

Achten, J. & Jeukendrup, E. (2003). Heart rate monitoring applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538.

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.

Agencia de Calidad de la Educación (25 de Febrero de 2014a). Test de Cafrá. Disponible en <http://www.agenciaeducacion.cl/test-de-cafra/>

Agencia de Calidad de la Educación (25 de Febrero de 2014b). Test de Navette. <http://www.agenciaeducacion.cl/test-de-navette/>

Akalan, C., Robergs, R. & Kravitz, L. (2008). Prediction of VO_2 máx from an individualized submaximal cycle ergometer protocol. *Journal of Exercise Physiology*, 11(2), 1-17.

Alameri, H., Al-Majed, S. & Al-Howaikan, A. (2009). Six-min walk test in a healthy adult arab population. *Respiratory Medicine*, 103, 141-146. doi: 10.1016/j.rmed.2009.01.012.

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.

Arai, Y., Saul, J., Albrecht, P., Hartley, L., Lilly, L., Cohen, R. & Colucci, W. (1989). Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise [abstract]. *The American Journal of Physiology*, 256, 132-141.

Arena, R., Arrowood, J., Fei, D., Shelar, S., Helm, S. & Kraft, K. (2010). The influence of sex on the relationship between heart rate recovery and other cardiovascular risk factors in apparently healthy subjects. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sport*, 20, 291-297. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00883.x.

Arts, F. & Kuipers, H. (1994). The relation between power output, oxygen uptake and heart rate in male athletes [abstract]. *International Journal of Sports Medicine*, 15(5), 228-231.

Åstrand, P. & Ryhming, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal of Applied Physiology*, 7(2), 218-221.

Åstrand, P. & Rodahl, K. (1992). *Fisiología del trabajo físico: bases fisiológicas del ejercicio* (3a ed.). Bogotá: Médica Panamericana.

Bahamonde, P. (2012). Informe evaluación física a carabineros de Chile evaluación de la capacidad aeróbica sub-máxima. *Educación Física Chile*, 270, 43-52.

Bambaeichi, E., Najari, M. & Barjasteh, B. (2010). Influence of incremental aerobic exercise on homocysteine level in young males. *British Journal Sports Medicine*, 44(1), 81-82. doi: 10.1136/bjism.2010.078725.70.

Bandyopadhyay, A. (2007). Queen's college step test - an alternative of harvard step test in young indian men. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 19(2), 1-6.

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.

Barstow, T. (1994). Characterization of VO₂ kinetics during heavy exercise [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(11), 1327-1334.

Barstow, T., Buchthal, S., Zanconato, S., & Cooper, D. (1994). Muscle energetics and pulmonary oxygen uptake kinetics during moderate exercise [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 77(4), 1742-1749.

Barstow, T., Jones, A., Nguyen, P. & Casaburi, R. (1996). Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1642-1650.

Barstow, T. & Molé, P. (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 71(6), 2099-2106.

Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J., Hermsdorf, M., Wolff, R., Baier, V. & Voss, A. (2006). Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes [abstract]. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 16(5), 412-417.

Berry, M., Cline, C., Berry, C., & Davis, M. (1992). A comparison between two forms of aerobic dance and treadmill running [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(8), 946-951.

Bohannon, R., Bubela, D., Wanh, Y., Magasi, S. & Gershon, R. (2015). Six-minute walk test vs. three-minute step test for measuring functional endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), 3240-3244.

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

Borresen, J. & Lambert, M. (2007). Changes in heart rate recovery in response to acute changes in training load. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 503-511. doi: 10.1007/s00421-007-0516-6.

Borresen, J. & Lambert, M. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sport Med*, 38(8), 633-646.

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.

Briswalter, J. & Legros, P. (1994). Daily stability in energy cost of running, respiratory parameters and stride rate among well trained middle distance runners. *International Journal of Sport Medicine*, 15(5), 238-241.

Britto, R., Probst, V., Dornelas de Andrade, A., Samora, G., Hernandez, N., Marinho, P., ... & Parreira, V. (2013). Reference equations for the six-minute walk distance

based on a Brazilian multicenter study. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 17(6), 556-563.

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.

Buchheit, M., Al Haddad, H., Laursen, P. & Ahmaidi, S. (2009a). Effects of body posture on parasympathetic reactivation in men. *Experimental Physiology*, 94(7), 795-804. doi: 10.1113/expphysiol.2009.048041.

Buchheit, M., Al Haddad, H., Laursen, P. & Ahmaidi, S. (2009b). Exercise-induced plasma volume expansion and post-exercise parasympathetic reactivation. *European Journal Applied Physiology*, 105, 471-481. doi: 10.1007/s00421-008-0925-1.

Buchheit, M., Duché, P., Laursen, P. & Ratel, S. (2010). Postexercise heart rate recovery in children: relationship with power output, blood pH, and lactate. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35, 142-150. doi:10.1139/H09-140.

Buchheit, M., Papelier, Y., Laursen, P. & Ahmaidi, S. (2007). Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability?. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, 293(1), H8-H10. doi: 10.1152/ajpheart.00335.2007.

Bunc, V., Heller, J. & Leso, J. (1988). Kinetics of heart rate responses to exercise [abstract]. *Journal of Sports Sciences*, 6(1), 39-48.

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.

Cao, Z., Miyatake, N., Aoyama, T., Higuchi, M. & Tabata, I. (2013). Prediction of maximal oxygen uptake from a 3-minute walk based on gender, age, and body composition. *Journal of Physical Activity and Health*, 10, 280-287.

Caritá, RAC., Pessoa Filho, DM., Barbosa, LF. & Greco, CC. (2014). Componente lento da cinética do VO₂: determinantes fisiológicos e implicações para o desempenho

em exercícios aeróbios. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 16(2), 233-246. doi: <http://dx.doi.org/10.5007/1980-0037.2014v16n2p233>.

Carmouche, D., Bubein, R., & Kay, N. (1998). The effect of maximum heart rate on oxygen kinetics and exercise performance at low and high workloads. *Pace*, 21, 679-686.

Casaburi, R., Barstow, T., Robinson, T. & Wasserman, K. (1989). Influence of work rate on ventilatory and gas exchange kinetics [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 67(2), 547-555.

Casaburi, R., Daly, J., Hansen, J. & Effros, R. (1989). Abrupt changes in mixed venous blood gas composition after the onset of exercise [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 67(3), 1106-1112.

Casadei, B., Cochrane, S., Johnston, J., Conway, J. & Sleight, P. (1995). Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the heart rate variability during exercise in humans [abstract]. *Acta Physiologica Scandinavica*, 153(2), 125-131.

Cerretelli, P., Shindell, D., Pendergast, D., Di Prampero, P. & Rennie, D. (1977). Oxygen uptake transients at the onset and offset of arm and leg work [abstract]. *Respiration Physiology*, 30, 81-97.

Chatterjee, S., Chatterjee, P. & Bandyopadhyay, A. (2005). Validity of Queen's College Step Test for estimation of maximum oxygen uptake in female students. *Indian Journal of Medical Research*, 121, 32-35.

Chatterjee, P., Banerjee, A., Das, P. & Debnath, P. (2010). A regression equation for the estimation of VO_{2max} in nepalese male adults. *Journal of Human Sport & Exercise*, 5(2), 127-133. doi: 10.4100/jhse.

Chatterjee, P., Banerjee, A., Das, P., Debnath, P. & Chatterjee, P. [Pratima]. (2008). A regression equation for the estimation of maximum oxygen uptake in indian male university students. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 20(1), 1-9.

Chatterjee, S., Chatterjee, P., Mukherjee, P. & Bandyopadhyay, A. (2004). Validity of Queen's College step test for use with young Indian men. *British Journal Sports Medicine*, 38, 289-291. doi: 10.1136/bjism.2002.002212.

Chen, S., Wang, J., Lee, W., Hou, C., Chen, C., Laio, &, ... & Kuo, C. (2006). Validity of the 3 min step test in moderate altitude: environmental temperature as a confounder. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31, 726-730. doi:10.1139/H06-077.

Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, G., Droghetti, P. & Codeca, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 52(4), 869-863.

Convertino, V., Goldwater, D., & Sandler, H. (1984). Oxygen uptake kinetics of constant-load work: upright vs. supine exercise [abstract]. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 55(6), 501-506.

Coote, J. (2010). Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Experimental Physiology*, 95(3), 431-440. doi: 10.1113/expphysiol.2009.047548.

Corral, J. & Del Castillo, O. (2010). La valoración del VO₂ máx. y su relación con el riesgo cardiovascular como medio de enseñanza–aprendizaje. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 10, 25-30.

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.

Darby, L. & Marsh, J. (2007). Specificity of a maximal step exercise test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 11(3), 131–148.

Darby, L. & Pohlman, R. (1999). Prediction of max VO₂ for women: adaptation of the Fox cycle ergometer protocol. *Journal of Exercise Physiology*, 2(4) 1-8.

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.

Das, B., Ghosh, T. & Gangopadhyay, S. (2010). A comparative study of physical fitness index (PFI) and predicted maximum aerobic capacity (VO₂ max.) among the different groups of female students in west bengal, india. *International Journal of Applied Sport Sciences*, 20(1), 13-23.

Davies, R. Rowlands, A. & Eston, R. (2008). The prediction of maximal oxygen uptake from submaximal ratings of perceived exertion elicited during the multistage fitness test. *British Journal Sports Medicine*, 42, 1006-1010. doi:10.1136/bjism.2007.043810.

Dimkpa, U. (2009). Post-exercise heart rate recovery: an index of cardiovascular fitness. *Journal of Exercise Physiology Online*, 12(2), 10-22.

Djordjevic, D., Cubrilo, D., Barudzic, N., Vuletic, M., Zivkovic, V., Nestic, M.,... & Jakovljevic, V. (2012). Comparison of blood pro/antioxidant levels before and after acute exercise in athletes and non-athletes. *General Physiology and Biophysics*, 31, 211-219. doi:10.4149/gpb_2012_025.

Dourado, V. (2010). Reference equations for the 6-minute walk test in healthy individuals. *Sociedade Brasileira de Cardiologia*. PMID: 21359481.

Duffield, R., Dawson, B., Pinnington, H. & Wong, P. (2004). Accuracy and reliability of a Cosmed K4b² portable gas analysis system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(1), 11-22.

Duncan, J. Wenger, H. y Green, H. (2000). *Evaluación fisiológica del deportista* (2a ed.). Barcelona, España: Paidotribo.

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.

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.

Eston, R., Lambrick, D., Sheppard, K. & Parfitt, G. (2008). Prediction of maximal oxygen uptake in sedentary males from a perceptually regulated, sub-maximal graded exercise test. *Journal of Sports Sciences*, 26(2), 131-139. doi: 10.1080/02640410701371364.

Faff J., Sitkowski D., Ładyga M., Klusiewicz A., Borkowski L. & Starczewska-Czapowska, J. (2007). Maximal heart rate in athletes [abstract]. *Biology of Sport*, 24, 129-142.

Fernandes, S., Ferreira, J., Gonçalves, I., Varanda, B., Nogueira, J., Sentanin, A. & Amorin, P. (2014). Reprodutibilidade do teste de caminhada e do degrau de 6 minutos em adultos jovens saudáveis. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 20(3), 214-218. doi: 10.1590/1517-86922014200301714.

Ferrar, K., Evans, H., Smith, A., Parfitt, G. & Eston, R. (2014). A systematic review and meta-analysis of submaximal exercise-based equations to predict maximal oxygen uptake in young people. *Pediatric Exercise Science*, 26, 342-357. doi.org/10.1123/pes.2013-0153.

Fox, E. (1973). A simple accurate technique for predicting maximal aerobic power. *Journal of Applied Physiology*, 35(6), 914-916.

Freeman, J., Dewey, F., Hadley, D., Myers, J. y Froelicher, V. (2006). Autonomic nervous system interaction with the cardiovascular system during exercise [abstract]. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 48(5), 342-362.

Francis, K. & Feinstein, R. (1991). A simple height-specific and rate-specific step test for children. *Southern Medical Journal*, 84(2), 169-174.

Furlan, R., Piazza, S., Dell'Orto, S., Gentile, E., Cerutti, S., Pagani, M. & Malliani, A. (1993). Early and late effects of exercise and athletic training on neural mechanisms controlling heart rate [abstract]. *Cardiovascular Research*, 27(3), 482-488.

García, J., Navarro, M. y Ruiz, J. (1996). *Bases teóricas del entrenamiento deportivo: principios y aplicaciones*. Madrid, España: GYMNOS.

García, C. & Secchi, J. (2013). Relación de las velocidades finales alcanzadas entre el Course Navette de 20 metros y el test de VAM-EVAL. Una propuesta para predecir la velocidad aeróbica máxima. *Apunts Medicina de L'sport*, 48(117), 27-34. doi: 10.1016/j.apunts.2011.11.004.

George, J., Fisher, A., y Vehrs, P. (1996). *Tests y pruebas físicas*. (3ra ed.). Barcelona: Paidotribo.

Gerbino, A., Ward, S. & Whipp, B. (1996). Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 80(1), 99-107.

Gladwell, V. Sandercock, G. & Birch, S. (2010). Cardiac vagal activity following three intensities of exercise in humans. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30, 17-22. doi: 10.1111/j.1475-097X.2009.00899.x.

González, R., Carrasco, S., Román, R., Gaitán, M., Medina, V. & Azpiroz, J. (2000). Effect of static and dynamic exercise on heart rate and blood pressure variabilities [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1719-1728.

Grassi, B., Poole, D., Richardson, R., Knight, D., Erickson, B. & Vagner, P. (1996). Muscle O₂ uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 988-998.

Green, H., Cadefau, J., Cussó, R., Ball-Burnett, M. & Jameison, J. (1995). Metabolic adaptations to short-term training are expressed early in submaximal exercise [abstract]. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 73(4), 474-482.

Gregoire, J., Tuck, S., Yamamoto, Y. & Hughson, R. (1996). Heart rate variability at rest and exercise: influence of age, gender, and physical training [abstract]. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 21(6), 455-470.

Grindrod, D., Paton, C., Knez, W. & O'Brien, B. (2006). Six minute walk distance is greater when performed in a group than alone. *British Journal of Sports Medicine*, 40(10), 876-877. doi: 10.1136/bjism.2006.027904.

Gutiérrez Clavería, M., Beroíza, T., Cartagena, C., Caviedes, I., Céspedes, J., Gutiérrez Navas, M., ... & Schönfeldt, G. (2009). Prueba de caminata de 6 minutos. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 25(1), 15-24. doi.org/10.4067/S0717-73482009000100003

Hamlin, M., Draper, N., Blackwell, G., Shearman, J. & Kimber, K. (2012). Determination of maximal oxygen uptake using the bruce or a novel athlete-led protocol in a mixed population. *Journal of Human Kinetics*, 31, 97-104. doi: 10.2478/v10078-012-0010-z.

Hebestreit, H., Kriemler, S., Hughson, R., y Bar-Or, O. (1998). Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise in boys and men [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 85(5), 1833-1841.

Heild, D., Freedson, P., Ahlquist, L., Price, J. & Rippe, J. (1995). Nonexercise regression models to estimate peak oxygen consumption [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 599-606.

Hughson, R. (1990). Exploring cardiorespiratory control mechanisms through gas exchange dynamics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(1), 72-79.

Hughson, R. (1991). Kinetics of ventilation and gas exchange during supine and upright cycle exercise [abstract]. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(3-4), 300-307.

Hughson, R. & Morrissey, M. (1982). Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from prior exercise [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 52(4), 921-929.

Hughson, R. & Morrissey, M. (1983). Delayed kinetics of VO_2 in the transition from prior exercising evidence for O_2 transport limitation of VO_2 kinetics [abstract]. *International Journal of Sports Medicine*, 4(1), 31-39.

Imai, K., Sato, H., Hori, M., Kusuoka, H., Ozaki, H., Yokoyama, ... & Kamada, T. (1994). Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, 24(6), 1529-1535.

Javorka, M., Zila, Y., Balhárek, T. & Javorka, K. (2002). Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity [abstract]. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 35(8), 991-1000.

Jinzhou, Y., Yibing, F., Ruipeng, Z., Xi, L. & Gongbing, S. (2008). The reliability and sensitivity of indices related to cardiovascular fitness evaluation. *Kinesiology*, 40(2), 138-145.

Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H. & Nummela, A. (2010). Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *European Journal of Applied Physiology*, 108, 435-442. doi 10.1007/s00421-009-1240-1.

Kaikkonen, P., Nummela, A. & Rusko, H. (2007). Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 102, 79-86. doi: 10.1007/s00421-007-0559-8.

Kamath, M. & Fallen, E. (1993). Power spectral analysis of heart rate variability: a noninvasive signature of cardiac autonomic function [abstract]. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 21(3), 245-311.

Kang, J., Chaloupka, E., Mastrangelo, M., Biren, G. & Robertson, R. (2001). Physiological comparison among three maximal treadmill exercise protocols in trained and untrained individuals. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 291-295. doi: 10.1007/s004210000366.

Kannankeril, P. & Goldberger, J. (2002). Parasympathetic effects on cardiac electrophysiology during exercise and recovery [abstract]. *American Journal of Physiology*, 282(6), 2091-2098.

Kannankeril, P., Le, F., Kadish, A. & Goldberger, J. (2004). Parasympathetic effects on heart rate recovery after exercise, *Journal of Investigative Medicine*, 52(6), 394-401.

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.

Kay, G., Ashar, M., Bubien, R. & Dailey, S. (1995). Relationship between heart rate and oxygen kinetics during constant workload exercise [abstract]. *Pace*, 18, 1853-1860.

Keefer, D. (2013). Effects of body movement on the reliability of a portable gas analysis system. *Human Movement*, 14(1), 82-86. doi: 10.2478/humo-2013-0008.

Kent, M. (2003). *Diccionario oxford de medicina y ciencias del deporte*. Barcelona, España: Paidotribo.

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.

Kiviniemi, A., Hautala, A., Kinnunen, H. & Tulppo, M. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 743751. doi: 10.1007/s00421-007-0552-2.

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.

Korzeniewski, B. & Zoladz, J. (2004). Factors determining the oxygen consumption rate VO_2 on-kinetics in skeletal muscles [abstract]. *The Biochemical Journal*, 379, 703-710.

Kushmerick, M. (1998). Energy balance in muscle activity: simulations of ATPase coupled to oxidative phosphorylation and to creatine kinase [abstract]. *Comparative Biochemistry and Physiology, B Biochemistry and Molecular Biology*, 120(1), 109-123.

Lagardera Otero, F. (1999). *Diccionario paidotribo de la actividad física y el deporte*. Barcelona: Paidotribo.

Lai, N., Nasca, M., Silva, M., Silva, F., Whipp, B & Cabrera, M. (2007). Influence of exercise intensity on pulmonary oxygen uptake kinetics at the onset of exercise and recovery in male adolescents. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33, 107-117. doi:10.1139/H07-154.

Lamb, K. & Rogers, L. (2007). A re-appraisal of the reliability of the 20 m multi-stage shuttle run test. *European Journal of Applied Physiology*, 100, 287-292. doi: 10.1007/s00421-007-0432-9.

Lambert, M., Mbambo, Z. & ST Clair Gibson, A. (1998). Heart rate during training and competition for long distance running [abstract]. *Journal of Sports Sciences*, 16, 85-90.

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.

Lamberts, R., Swart, J., Noakes, T. & Lambert, M. (2009). Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 105, 705-713. doi:10.1007/s00421-008-0952-y.

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.

Larsen, G., George, J., Alexander, J., Fellingham, G., Aldana, S. & Parcell, A. (2002). Prediction of maximum oxygen consumption from walking, jogging, or running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(1), 66-72. doi: 10.1080/02701367.2002.10608993.

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.

Léger, L. & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO_2 máx. *European Journal of Applied Physiology*, 49, 1-12.

Leite, P., Melo, R., Mello, M., Da Silva, E., Borghi-Silva, A. e Catai, A. (2010). Resposta da frequência cardíaca durante o exercício isométrico de pacientes submetidos à reabilitação cardíaca fase III. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 14(5), 383-389.

Lee, J., Bassett, D., Thompson, D. & Fitzhugh, E. (2011). Validation of the Cosmed Fitmate for prediction of maximal oxygen consumption. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2573-2579. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181fc5c48.

Leprêtre, P., Weissland, T., Paton, C., Jeanne, M., Delannaud, S. & Ahmaidi, S. (2012). Comparison of 2 portable respiratory gas analysers. *International Journal of Sports Medicine*, 33, 728-733.

Londeree, B. & Ames, S. (1976). Trend analysis of the % VO₂ max-HR regression [abstract]. *Medicine and Sciences in Sports*, 8(2), 123-125.

López, J. & Fernández, A. (2008). *Fisiología del ejercicio* (3a ed.). Madrid: Médica Panamericana.

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.

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.

Mahon, A., Anderson, C., Hipp, M. & Hunt, K. (2003). Heart rate recovery from submaximal exercise in boys and girls. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, 35(12), 2093-2097. doi: 10.1249/01.MSS.0000099180.80952.83.

Marley, W. & Linnerud, A. (1976). Astrand-Ryhming step test norms for college students. *British Journal of Sports Medicine*, 10(2), 76-79.

Marsh, C. (2012). Evaluation of the american college of sports medicine submaximal treadmill running test for predicting VO₂max. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 548-554.

Martinmäki, K., Häkkinen, K., Mikkola, J. & Rusko, H. (2008). Effect of low-dose endurance training on heart rate variability at rest and during an incremental maximal exercise test. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 541-548. doi:10.1007/s00421-008-0804-9.

Martinmäki, K. & Rusko, H. (2008). Time-Frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 102, 353-360. doi: 10.1007/s00421-007-0594-5.

Mayorga-Vega, D., Aguilar-Soto, P. & Viciano, J. (2015). Criterion-related validity of the 20-m shuttle run test for estimating cardiorespiratory fitness: a meta-analysis. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14, 536-547.

McArdle, W., Katch, F. y Katch, V. (1990). *Fisiología del ejercicio: energía, nutrición y rendimiento humano* (2a ed.). Madrid, España: Alianza Deporte.

McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. (2001). *Exercise physiology: energy, nutrition and human performance* (5a ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

McArdle, W., Katch, F., Pechar, G., Jacobson, L. & Ruck, S. (1972). Reability and interrelationships between maximal oxygen intake, physical work capacity and step-test scores in college women. *Medicine and Science in Sports*, 4(4), 182-186.

McCreary, C., Chilibeck, P., Marsh, G., Paterson, D., Cunningham, D. & Thompson, R. (1996). Kinetics of pulmonary oxygen uptake and muscle phosphate during moderate-intensity calf exercise [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 81(3), 1331-1338.

McLaughlin, J., King, G., Howley, E., Bassett, D. & Ainsworth, B. (2001). Validation of the COSMED K4b² portable metabolic system. *International Journal of Sports Medicine*, 22(4), 280-284. doi: 10.1055/s-2001-13816.

Meyer, T., Gabriel, H. & Kindermann, W. (1999). Is determination of exercise intensities as percentages of VO_2 max or HRmax adequate?. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 31(9), 1342-1345.

Miller, G., Dougherty, P., Green, J. & Crouse, S. (2007). Comparison of cardiorespiratory responses of moderately trained men and women using two different treadmill protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1067-1071.

Mourot, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, J. & Regnard, J (2004). Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 508-517. doi: 10.1007/s00421-004-1119-0.

Nakamura, Y., Yamamoto, Y. & Muraoka, I. (1993). Autonomic control of heart rate during physical exercise and fractal dimension of heart rate variability [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 74(2), 875-881.

Nieman, D., LaSasso, H., Austin, M., Pearse, S., McInnis, T. & Unick, J. (2007). Validation of Cosmed's FitMate™ in measuring exercise metabolism. *Research in Sports Medicine*, 15, 67-75.

Noordhof, D., Koning, J. & Foster, C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method. *Sports Medicine*, 40(4), 285-302.

Osses, R., Yáñez, J., Barría, P., Palacios, S., Dreyse, J., Díaz, O. & Lisboa, C. (2010). Prueba de caminata en seis minutos en sujetos chilenos sanos de 20 a 80 años. *Revista Médica de Chile*, 138, 1124-1130.

Ozyener, F., Rossiter, H., Ward, S. & Whipp, B. (2001). Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans [abstract]. *The Journal of Physiology*, 553, 891-502. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00891.x

Paradisis, G., Zacharogiannis, E., Mandila, D., Smirtiotou, A., Argeitaki, P. & Cooke, C. (2014). Multi-stage 20-m shuttle run fitness test, maximal oxygen uptake and velocity at maximal oxygen uptake. *Journal of Human Kinetics*, 41, 81-87. doi: 10.2478/hukin-2014-0035.

Parekh, A. & Lee, C. (2005). Heart rate variability after isocaloric exercise bouts of different intensities [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(4), 599-605.

Passelergue, P., Cormery, B., Lac, G. & Léger, L. (2006). Utility of the Conconi's heart rate deflection to monitor the intensity of aerobic training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 88-94.

Paterson, D. & Whipp, B. (1991). Asymmetries of oxygen uptake transients at the on and offset of heavy exercise in human [abstract]. *The Journal of Physiology*, 443, 575-586.

Peçanha, T., Silva-Júnior, D. & Forjaz, C. (2014). Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Scandinavian Society of Clinical Physiology and Nuclear Medicine*, 35(5), 327-339. doi: 10.1111/cpf.12102.

Peterson, M., Palmer, D. & Laubach, L. (2004). Comparison of caloric expenditure in intermittent and continuous walking bouts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 373-376.

Pierpont, G., Stolpman, D. & Gornick, C. (2000). Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity [abstract]. *Journal of the Autonomic Nervous System*, 80(5), 169-174.

Pinnington, H., Wong, P., Tay, J., Green, D., & Dawson, B. (2001). The level of accuracy and agreement in measures of $F_{E}O_2$, $F_{E}CO_2$ and V_E between the Cosmed K4b² portable, respiratory gas analysis system and a metabolic cart. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(3), 324-335.

Pitetti, K., Fernhall, B., Stubbs, N. & Stadler, L. (1997). A step test for evaluation the aerobic fitness of children and adolescents with mental retardation. *Pediatric Exercise Science*, 9, 127-135.

Pober, D., Braun, B. & Freedbon, P. (2004). Effects of a single bout of exercise on resting heart rate variability [abstract]. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, 36(7), 1140-1148. doi: 10.1007/s00421-004-1119-0.

Pringle, J., Doust, J., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I & Jones, A. (2003). Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity 'submaximal' exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 289-300. doi: 10.1007/s00421-003-0799-1.

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.

Riva, F., Grimpampi, E., Mazzà, C. & Stagni, R. (2014). Are gait variability and stability measures influenced by directional changes?. *BioMedical Engineering OnLine*, 13(56). doi:10.1186/1475-925X-13-56.

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.

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.

Rossiter, H., Ward, S., Kowalchuc, J., Howe, F., Griffiths, J. & Whipp, B. (2002). Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O₂ uptake between the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans [abstract]. *Journal of Physiology*, 541(3), 991-1002. doi: 10.1113/jphysiol.2001.012910.

Roston, W., Whipp, B., Davis, J., Cunningham, D., Effros, R. & Wasserman, K. (1987). Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans [abstract]. *The American Review of Respiratory Disease*, 135(5), 1080-1084.

Rosales, G., Monsálves, M., Yáñez, R. y Durán, S. (2015). Ingesta de cafeína y su efecto sobre la velocidad aeróbica máxima en atletas corredores de 800 metros lisos. *Nutrición Hospitalaria*, 32(4), 1703-1707. doi: 10.3305/nh.2015.32.4.9200.

Rowell, L. & O'Leary, D. (1990). Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 69(2), 407-418.

Roy, J., Smith, J., Bishop, P., Hallinan, C., Wang, M. & Hunter, G. (2004). Prediction of maximal VO_2 from a submaximal stairmaster test in young women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(1), 92-96.

Sartor, F., Vernillo, G., de Morree, H., Bonomi, A., La Torre, A., Kubis, H. & Veicsteinas, A. (2013). Estimation of maximal oxygen uptake via submaximal exercise testing in sports, clinical, and home settings. *Sports Med*, 43, 865-873. doi: 10.1007/s40279-013-0068-3.

Santalla - Hernández, A. (2002). Componente lento del consumo de oxígeno. *Kronos*, 1, 10-14.

Savin, W., Davidson, D. & y Haskell, W. (1982). Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 53(6), 1572-1575.

Seiler, S., Haugen, O. & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1366-1373.

Shetler, K., Marcua, R., Froelicher, V., Vora, S., Kalisetti, D., Prakash, M.,... & Myers, J. (2001). Heart rate recovery: validation and methodologic issues [abstract]. *Journal of the American College of Cardiology*, 38(7), 1980-1987.

Short, K. & Sedlok, D. (1997). Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 153-159.

Siconolfi, S., Garber, C., Laseter, T. & Carleton, R. (1985). A simple, valid step test for estimating maximal oxygen uptake in epidemiologic studies [abstract]. *American Journal of Epidemiology*, 121(3), 382-390.

Souto Maior, A., Madeira, A. & Menezes, P. (2013). Cardiac autonomic profile and cardiopulmonary response after maximal treadmill exercise testing with pre-exercise stretching. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 6(1), 3-8.

Souza, M., Lima, A., Silva, J., Silva, G., Pontes, L. & Lira, F. (2007). Cardiac frequency and blood pressure in different loads in the cirilo's ergometer step in the active women. *Fitness Performance*, 6(3), 156-161. doi:10.3900/fpj.6.3.156.e.

Spackman, M., George, J., Pennington, T. & Fellingham, G. (2001). Maximal graded exercise test protocol preferences of relatively fit college students. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 5(1), 1-12.

Stathokostas, L., Kowalchuk, J., Petrella, R., & Paterson, D. (2009). Moderate and heavy oxygen uptake kinetics in postmenopausal women. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 34, 1065-1072. doi:10.1139/H09-107.

Stickland, M., Petersen, S. & Bouffard, M. (2003). Prediction of maximal aerobic power from the 20-m multi-stage shuttle run test. *Canadian Society for Exercise Physiology*, 28(2), 272-282.

Swank, A., Serapiglia, L., Funk, D., Adams, K., Durham, M. & Berning, J. (2001). Development of a branching submaximal treadmill test for predicting VO₂ max. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(39), 302-308.

Tanaka, H., Monahan, K. & Seals, D. (2001). Age – predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156. doi: 10.1016/S0735-1097(00)01054-8.

Terziotti, P., Schena, F., Gulli, G. & Sevese, A. (2001). Post-exercise recovery of autonomic cardiovascular control: a study by spectrum and cross-spectrum analysis in humans [abstract]. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 187-194.

Trofin, P., Homceriu, C. & Cojocar, D. (2013a). Study regarding the validation of an assessment protocol of VO₂max on cycle ergometer. *Journal of Physical Education and Sport*, 13(4), 557-562.

Trofin, P., Homceriu, C. & Cojocar, D. (2013b). Comparative study on the assessment of VO₂max by ergospirometry or field test. *Sport and Society Interdisciplinary Journal of Physical Education*, 13(2), 111-124.

Troosters, T., Vilaro, J., Rabinovich, R., Casas, A., Barberà, J., Rodríguez-Roisin, R. & Roca, J. (2002). Physiological responses to the 6-min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *European Respiratory Journal*, 20, 564-569. doi: 10.1183/09031936.02.02092001.

Van der Cammen-van Zijp, M., Ijsselstijn, H., Takken, T., Willemsen, S., Tibboel, D., Stam, H. & Van den Berg-Emons, R. (2010). Exercise testing of pre-school children using the bruce treadmill protocol: new reference values. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 393-399. doi: 10.1007/s00421-009-1236-x.

Van der Cammen-van Zijp, M., Van den Berg-Emons, R., Willemsen, S., Stam, H., Tibboel, D. & Ijsselstijn, H. (2009). Exercise capacity in dutch children: new reference values for the bruce treadmill protocol. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1-7. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.00925.x.

Valdés, P., Godoy, A. & Caniuqueo, A. (2013). Medición de la condición física de los estudiantes de pedagogía en educación física, utilizando el SIMCE de la especialidad. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, 14(1), 21-29.

Valdés, P., Godoy, A. y Herrera, T. (2014). Somatotipo, composición corporal, estado nutricional y condición física en personas con discapacidad visual que practican goalball. *International Journal of Morphology*, 32(1), 183-189.

Valdés, P., Godoy, A. & Muñoz, G. (2013). Comparación por cohorte de la condición física de estudiantes de pedagogía en educación física de la universidad autónoma de Chile, sede Temuco. *Revista Horizonte: Ciencias de la Actividad Física*, 4(2), 43-49.

Vásquez, J., Garrido, A., Loyola, A. & Saavedra, A. (2014). SIMCE de educación física: relación entre test de CAFRA y course navette en estudiantes de educación física. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, 15(2), 87-98.

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 VO_2 máx. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, 16(2), 57-69.

Vehrs, P., George, J., Fellingham, G., Plowman, S. & Dutsman-Allen, K. (2007). Submaximal treadmill exercise test to predict VO_2 max in fit adults. *Measurement in physical education and exercise science*, 11(2), 61-72.

Vilhena de Mendonça, G., & Pereira, 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 & Metabolism*, 33(6), 1199-1206. doi:10.1139/H08-109.

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.

Web, C., Vehrs, P., George, J. & Hager, R. (2014). Estimating VO_2 max. using a personalized step test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 18, 184-197. doi: 10.1080/1091367X.2014.912985.

Whipp, B. (1994). The slow component of O_2 uptake kinetics during heavy exercise [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(11), 1319-1326.

Whipp, B., Ward, S., Lamarra, N., Davis, J. & Wasserman, K. (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 52(6), 1506-1513.

Whipp, B. (1987). Dynamics of pulmonary gas exchange [abstract]. *Circulation*, 76(6 Pt 2), 18-28.

Williamson, J., Raben, P. & Whipp, B. (1996). Unaltered oxygen uptake kinetics at exercise onset with lower-body positive pressure in humans [abstract]. *Experimental Physiology*, 81(4), 695-705.

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.

Wilmore, J. y Costill, D. (2007). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (6ª ed.). Barcelona: Paidotribo.

Worlton, S. (2001). A valid VO₂max prediction test that uses a moderate intensity, self-selected pace [abstract]. *Microform Publications, University of Oregon*.

Xu, F. & Rhodes, E. (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sport Meds*, 27(5), 313-327.

Yamamoto, Y., Hughson, R. & Peterson, J. (1991). Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis [abstract]. *Journal of Applied Physiology*, 71(3), 1136-1142.

Yoshida, T., Abe, D., Fukuoka, Y. & Hughson, R. (2008). System analysis for oxygen uptake kinetics with step and pseudorandom binary sequence exercise in endurance athletes. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12, 1-9. doi:10.1080/10913670701715133.

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.

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.

Anexos

Anexo 1. PAR-Q

(Cuestionario para personas entre 15 y 69 años)

La actividad física regular es divertida y saludable, y cada vez más personas están empezando a ser más activas todos los días. Ser más activo es muy seguro para la mayoría de la gente. Sin embargo, algunas personas deben consultar con su médico antes de empezar a convertirse en mucho más activa físicamente.

Si usted está planeando llegar a ser mucho más activo/a físicamente de lo que es ahora, debe comenzar respondiendo a las siete preguntas en el cuadro de abajo. Si usted está entre las edades de 15 y 69, el PAR-Q le dirá si usted debe consultar con su médico antes de empezar. Si usted tiene más de 69 años de edad, y no está acostumbrado a ser muy activo, consulte con su médico.

El sentido común es la mejor guía para responder a estas preguntas. Por favor, lea atentamente las preguntas y conteste cada una honestamente: marque SÍ o NO.

Sí	No	PREGUNTAS
		¿Su médico ha dicho alguna vez que usted tiene una enfermedad del corazón y que sólo se debe hacer actividad física recomendada por un médico?
		¿Siente dolor en el pecho cuando realiza actividad física?
		En el último mes ¿ha tenido dolor en el pecho cuando no estaba haciendo actividad física?
		¿Pierde el equilibrio debido a mareos o alguna vez ha perdido la conciencia?
		¿Tiene algún problema en las articulaciones (por ejemplo, espalda, rodillas, o cadera) que podría ser agravada por un cambio en su actividad física?
		¿Su médico actualmente prescribiendo medicamentos (por ejemplo, píldoras de agua) para la presión arterial o enfermedad del corazón?
		¿Conoce alguna otra razón por la cual no debe hacer actividad física?

SI USTED HA RESPONDIDO SÍ A TODAS LAS PREGUNTAS:

- Hable con su médico por teléfono o en persona antes de empezar a convertirse en mucho más activo físicamente o antes de tener una valoración de la aptitud. Coméntele a su médico acerca del PAR-Q y qué preguntas ha respondido afirmativamente.
- Usted puede ser capaz de hacer cualquier actividad que desee - siempre y cuando usted comience despacio y aumente gradualmente. O bien, puede que tenga que limitar sus actividades a las que son seguras para usted. Hable con su médico acerca de los tipos de actividades que desea participar y siga sus consejos.
- Averigüe qué programas de la comunidad son seguros y útiles para usted.

SI USTED HA RESPONDIDO NO A TODAS LAS PREGUNTAS PAR-Q, PUEDE ESTAR RAZONABLEMENTE SEGURO DE QUE USTED PUEDE:

Si su respuesta es NO honestamente a todas las preguntas, puede estar razonablemente seguro de que usted puede:

- Ser mucho más activo físicamente: se recomienda empezar lentamente y aumentar de forma gradual. Esta es la manera más segura y más fácil de iniciar.
- Participar en una evaluación de la aptitud: esta es una excelente manera de determinar su condición física básica para que pueda planificar la mejor manera para que usted pueda vivir activamente. También es muy recomendable que usted tenga la presión arterial evaluada. Si su lectura es más de 144/94, hable con su médico antes de comenzar a ser mucho más activos físicamente.

RETRASE EN CONVERTIRSE EN MUCHO MÁS ACTIVO:

- Si usted no se siente bien debido a una enfermedad temporal como un resfriado o fiebre - esperar hasta que se sienta mejor; o
- Si está o puede estar embarazada - hable con su médico antes de empezar a ser más activo.

NOTA: Si cambia su salud de modo que usted responde Sí a cualquiera de las preguntas anteriores, informe a su entrenador físico o profesional de la salud. Pregunte si debe cambiar su plan de actividad física.

El uso informado del PAR-Q: La Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio, Salud de Canadá, y sus agentes no asumen ninguna responsabilidad por las personas que realizan la actividad física. En caso de duda después de completar este cuestionario, consulte a su médico antes de la actividad física.

No se permiten cambios. Le animamos a fotocopiar el PAR-Q, pero sólo si se utiliza todo el formulario.

NOTA: Si el PAR-Q se le está dando a una persona antes de que él o ella participe en un programa de actividad física o de una valoración de la aptitud, esta sección puede ser usada para fines legales o administrativas.

"He leído, entendido y completado este cuestionario. Cualquier pregunta que existió fue contestada a mi entera satisfacción."

NOMBRE: _____

FIRMA: _____ FECHA: _____

TESTIGO: _____

FIRMA DEL PADRE O TUTOR (para los participantes bajo la mayoría de edad): _____

Nota: Esta autorización de actividad física es válida para un máximo de 12 meses a partir de la fecha en que se completa y se convierte en no válido si su condición cambia para que se responda afirmativamente a alguna de las siete preguntas.

British Columbia Ministry of Health, Physical activity readiness questionnaire - PAR-Q, 2002, disponible en <http://uwfitness.uwaterloo.ca/PDF/par-q.pdf>

Correa Bautista, J., Gámez Martínez, E., Ibáñez Pinilla, M. y Rodríguez daza, C. (2011). Aptitud física en mujeres adultas mayores vinculadas a un programa de envejecimiento activo. *Salud UIS*, 43(3), 263-269.

Anexo 2. Consentimiento informado para EEF

Consentimiento informado para mediciones en pruebas de fitness de campo en estudiantes de educación física chilenos.

Consentimiento informado elaborado según las directrices del Colegio Americano de Medicina del Deporte (2008).

Investigador principal: Jaime Vásquez Gómez.⁴

1. Explicación de procedimientos utilizados en las pruebas de fitness.

Se me ha informado que debo rendir pruebas físicas de esfuerzo submáximo y máximo, de caminata, carrera o en escalón, ya sea dentro de un gimnasio, en una pista atlética o al aire libre. Se me ha indicado también que debo leer el presente "Consentimiento Informado, el Documento de Información a los Participantes" y completar un "Cuestionario de Aptitud Física" de manera previa a las mediciones.

Si estoy en condiciones de participar, se me ha hecho saber que debo brindar mis datos básicos para luego rendir una prueba de esfuerzo moderado, en donde la variable principal a medir es la frecuencia cardíaca de recuperación al terminar la prueba. Posteriormente debo rendir un test hasta el máximo de mis posibilidades en el que se estimará mi rendimiento físico. Se me ha dejado en claro que si en esta última prueba reporto explícitamente, o por medio de señales estandarizadas previamente, señales de incomodidad de cualquier índole se debe culminar el ejercicio.

2. Descripción de riesgos o molestias potenciales de la participación en las pruebas de fitness.

Declaro que se me ha indicado que durante la ejecución de las pruebas podría sentir molestias, sobre todo de carácter físico, especialmente en la prueba que requiere mi máximo esfuerzo. Molestias como fatiga excesiva, dolor muscular en extremidades inferiores o algún tipo de sensación de incomodidad psicológica. También estoy consciente que hay poca probabilidad de riesgos para la salud al ejecutar las pruebas físicas ya que el cuestionario de aptitud física completado de manera satisfactoria y la firma de este consentimiento son conducentes a creer en esta baja probabilidad.

3. Presentación de responsabilidades del participante, entre las que se incluye informar sobre cualquier sensación o molestia fuera de lo habitual durante las pruebas.

Estoy enterado a conformidad que las responsabilidades a seguir son leer comprensivamente el "Documento de Información a los participantes", el "Consentimiento Informado", completar a conciencia el "Cuestionario de Aptitud Física", seguir el protocolo de ejecución de las pruebas físicas y reportar a los evaluadores cualquier molestia durante las mediciones o al finalizarlas, esto último tal como se detalla en el punto 2 del presente consentimiento informado.

4. Descripción de beneficios que se espera obtener de las pruebas de capacidad física.

Se me ha informado que los beneficios a obtener sobre el desempeño en las pruebas físicas servirán como datos para la elaboración del trabajo de tesis doctoral del investigador principal. Estoy consciente que estos datos son de exclusividad para el

⁴ Universidad San Sebastián, Facultad de Ciencias de la Actividad Física. Concepción – Chile.

mencionado trabajo de tesis y que es posible que sean publicados durante su confección en revistas y/o divulgados en seminarios, congresos o similares, quedando claro que en estas instancias no se deben presentar las identidades de las personas que hemos participado de la investigación.

5. Exposición de dudas y aseguramiento que todas las preguntas reciban una respuesta satisfactoria antes de seguir adelante con los procedimientos de las pruebas físicas.

Se me ha indicado que debo realizar las preguntas y/o dudas que estime conveniente sobre el "Consentimiento Informado" y que las respuestas serán satisfactorias para el participante. De igual forma, las preguntas y/o dudas se podrán realizar durante el procedimiento de medición de las pruebas físicas, lo que es indicativo que las respuestas a ellas también sean de manera satisfactoria.

6. Ofrecimiento de libertad de consentimiento. La participación en una evaluación del fitness es voluntaria y el/la voluntario/a tiene derecho a negarse a participar en cualquier prueba o a detener la evaluación en cualquier momento.

Soy consciente que tengo la plena libertad de negarme a firmar este consentimiento informado y a no participar de las mediciones, aún cuando haya leído comprensivamente el documento. También se me ha explicitado, si decido voluntariamente participar, que tengo el derecho a culminar las mediciones en cualquier momento por cualquier sensación o molestia que esté fuera de lo habitual, ya sean físicas, psicológicas, etc., sin que esto signifique algún conflicto con los investigadores o instituciones patrocinantes.

Nombre y firma del participante:

RUT (DNI) del participante: _____

Ciudad y fecha: _____

Nombre y firma del testigo:

RUT (DNI) del testigo: _____

Anexo 3. Consentimiento informado para EGCAF

Consentimiento informado para mediciones en pruebas de fitness de campo en estudiantes de educación física.

Consentimiento informado elaborado según las directrices del Colegio Americano de Medicina del Deporte (2008).

Investigador principal: Jaime Vásquez Gómez.⁵

1. Explicación de procedimientos utilizados en las pruebas de fitness.

Se me ha informado que debo rendir pruebas físicas de esfuerzo submáximo y máximo, de caminata o carrera, ya sea dentro de un gimnasio, en una pista atlética o al aire libre. Se me ha indicado también que debo leer el presente "Consentimiento Informado", el "Documento de Información a los Participantes" y completar un "Cuestionario de Aptitud Física" de manera previa a las mediciones.

Si estoy en condiciones de participar se me ha hecho saber que debo brindar mis datos básicos para luego rendir una prueba de esfuerzo moderado, en donde la variable principal a medir es la frecuencia cardíaca de recuperación al terminar la prueba. Posteriormente debo rendir un test hasta el máximo de mis posibilidades en donde se estimará mi rendimiento físico. Se me ha dejado en claro que si en esta última prueba reporto explícitamente, o por medio de señales estandarizadas previamente, señales de incomodidad de cualquier índole se debe culminar el ejercicio.

2. Descripción de riesgos o molestias potenciales de la participación en las pruebas de fitness.

Declaro que se me ha indicado que durante la ejecución de las pruebas podría sentir molestias sobre todo de carácter físico, especialmente en la prueba que requiere mi máximo esfuerzo. Molestias como fatiga excesiva, dolor muscular en extremidades inferiores o algún tipo de sensación de incomodidad psicológica. También estoy consciente que hay poca probabilidad de riesgos para la salud al ejecutar las pruebas físicas, ya que el cuestionario de aptitud física completado de manera satisfactoria y la firma de este consentimiento son conducentes a creer en esta baja probabilidad. Además, para dar crédito a esta última condición presentaré al investigador un certificado médico o constancia de una revisión médico deportiva que garantice mi aptitud para rendir pruebas física de esfuerzo máximo hasta el agotamiento.

3. Presentación de responsabilidades del participante, entre las que se incluye informar sobre cualquier sensación o molestia fuera de lo habitual durante las pruebas.

Estoy enterado a conformidad que las responsabilidades a seguir son leer comprensivamente el "Documento de Información a los Participantes", el "Consentimiento Informado", completar a conciencia el "Cuestionario de Aptitud Física", seguir el protocolo de ejecución de las pruebas físicas y reportar a los evaluadores cualquier molestia durante las mediciones al finalizarlas, esto último tal como se detalla en el punto 2 del presente consentimiento informado.

4. Descripción de beneficios que se espera obtener de las pruebas de capacidad física.

⁵ Facultad de Ciencias de la Actividad Física, Universidad San Sebastián de Concepción - Chile

Se me ha informado que los beneficios a obtener sobre el desempeño en las pruebas físicas servirán como datos para la elaboración del trabajo de tesis doctoral del investigador principal. Estoy consciente que estos datos son de exclusividad para el mencionado trabajo de tesis y que es posible que sean publicados durante su confección en revistas y/o divulgados en seminarios, congresos o similares, quedando claro que en estas instancias no se deben presentar las identidades de las personas que hemos participado de la investigación.

5. Exposición de dudas y aseguramiento que todas las preguntas reciban una respuesta satisfactoria antes de seguir adelante con los procedimientos de las pruebas físicas.

Se me ha indicado que debo realizar las preguntas y/o dudas que estime conveniente sobre el Consentimiento Informado y que las respuestas a ellas serán satisfactorias para el participante. De igual forma, las preguntas y/o dudas se podrán realizar durante el procedimiento de medición de las pruebas físicas, lo que es indicativo que las respuestas a ellas también sean de manera satisfactoria.

6. Ofrecimiento de libertad de consentimiento. La participación en una evaluación del fitness es voluntaria, y el participante tiene derecho a negarse a participar en cualquier prueba o a detener la evaluación en cualquier momento.

Soy consciente que tengo la plena libertad de negarme a firmar este consentimiento informado y a no participar de las mediciones aún cuando haya leído comprensivamente el documento. También se me ha explicitado, si decido voluntariamente participar, que tengo el derecho a culminar las mediciones en cualquier momento por cualquier sensación o molestia que esté fuera de lo habitual ya sean físicas, psicológicas, etc., sin que esto signifique algún conflicto con los investigadores e instituciones patrocinantes.

Nombre _____ y _____ firma _____ del _____ participante:

RUT (DNI) del participante: _____

Ciudad y fecha: _____

Nombre _____ y _____ firma _____ del _____ testigo:

RUT (DNI) del testigo: _____

Anexo 4. Patrocinio de consentimiento informado para EGCAF



EL Dr. RAMON BALIUS MATAS ACTUANT COM SECRETARI DEL COMITÈ D'ÈTICA D'INVESTIGACIONS CLÍNiques DE L'ADMINISTRACIÓ ESPORTIVA DE CATALUNYA.

CERTIFICA

Que en la reunió realitzada el dia 24 de juliol de 2015, aquest Comitè d'Ètica acordà avaluar favorablement el projecte presentat per Jaime Vasquez i Josep Maria Padullés en data 05 de juny de 2015, amb número de referència 13/2015/CEICEGC, titulat "La Frecuencia Cardíaca de Recuperación como Indicador del Consumo Máximo de Oxígeno".

Faig constar aquesta avaluació favorable als efectes oportuns.

Esplugues de Llobregat, 24 de Juliol de 2015



Dr. Ramon Balius i Matas
Metge especialista en Medicina de l'Esport
Col·legiat 23.684 (Barcelona)
Centre de Medicina de l'Esport
Consell Català de l'Esport
Dr. Ramon Balius Matas

Anexo 5. Patrocinio de consentimiento informado para EEF



INFORME PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO: LA FRECUENCIA CARDÍACA DE RECUPERACIÓN COMO INDICADOR DEL CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO: EVALUACIÓN EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN FÍSICA CHILENOS.

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Jaime Vásquez Gómez

CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO:

Tesis doctoral a ser presentada por el investigador principal, para optar al título de Doctor por la Universidad de Barcelona y el Instituto Nacional de Educación Física de Catalunya en el programa Actividad Física, Educación Física y Deporte de dicha Universidad. La tesis doctoral está dirigida por los Dres. José María Padullés Riu y Marcelo Eduardo Castillo Retamal y tutorizada por el Dr. Miguel Ángel Torralba Jordán.

EVALUACIÓN COMITÉ

El Comité de Ética Científica (CEC) de la Universidad San Sebastián analizó los siguientes documentos:

- 1 Proyecto presentado y aprobado por el programa de doctorado de la Universidad de Barcelona y el Instituto Nacional de Educación Física de Catalunya.
- 2 Informe de seguimiento del trabajo realizado por el candidato, que incluye pruebas de campo realizadas en Chile y que aprueba avances y modificaciones al proyecto original.
- 3 Consentimientos informados elaborados según las directrices del Colegio Americano de Medicina del Deporte (2008).
 - 3.1 Consentimiento informado para mediciones en pruebas de fitness, test de campo.
 - 3.2 Consentimiento informado para mediciones en pruebas de fitness, test de laboratorio.
- 4 Sobre la base de todos los antecedentes presentados, el Comité de Ética Científica de la Universidad San Sebastián considera que no hay objeciones de tipo ético en este proyecto.
- 5 Se le solicita al Investigador Principal del proyecto informar a este Comité, al menos una vez al año, de la marcha de su estudio.



E.U. Alejandrina Arratia
Secretaria



Dra. María Inés Romero
Presidente



Dra. Lilian Reyes
Directora



**UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN**

Presidente Comité de Ética
UNIVERSIDAD SAN SEBASTIAN

Santiago, 7 de julio de 2015

Anexo 6. Documento informativo para participantes EEF

Documento de Información para los Participantes

El presente documento informativo para los participantes se enmarca dentro de la investigación de tesis doctoral denominada “La frecuencia cardíaca de recuperación como indicador del consumo máximo de oxígeno: medición en estudiantes de educación física de una universidad chilena”, la cual tiene los siguientes objetivos.

1. Objetivo general

Realizar una propuesta de pruebas submáximas para la evaluación del desempeño aeróbico basadas en la frecuencia cardíaca de recuperación para estudiantes de educación física de ambos sexos de una universidad chilena.

1.1 Objetivos específicos

- Establecer la relación entre la FCr de pruebas submáximas y el VO_2 máx. de pruebas máximas a partir de la revisión bibliográfica en profundidad.
- Determinar la fiabilidad de la FCr en la PC6M y del VO_2 máx. de Course Navette en una muestra de estudiantes EEF.
- Comparar el rendimiento aeróbico de la PC6M y de los test incrementales máximos entre hombres y mujeres EEF, y entre hombres y mujeres EGCAF.
- Validar la FCr de la PC6M como predictor del VO_2 máx. de Course Navette en una muestra de EEF de una universidad chilena y en una muestra de EGCAF de INEFC.
- Elaborar ecuaciones para estimar el VO_2 máx. a partir de la FCr de la PC6M para una muestra de EEF de una universidad chilena y para una muestra de EGCAF de INEFC.

2. Criterios de inclusión de los participantes

- Deberán estar matriculados en la carrera de educación física en el curso 2014, 2015 o 2016 en la Universidad San Sebastián de Concepción.
- Deberán cursar algún nivel de la carrera de educación física.
- Deberán ser aparentemente sanos (cuestionario de aptitud física).
- Deberán ser libres de medicación y de enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias o de cualquier otro tipo que no permita ejecutar las pruebas físicas.
- Si deciden participar, deberán leer el presente documento de información.
- Si deciden participar, deberán leer y completar un cuestionario de aptitud física.
- Si deciden participar, deberán firmar un consentimiento informado.

El consentimiento informado se respaldó por el Comité de Ética Científica de la Universidad San Sebastián. Este documento se estructuró según las directrices del Colegio Americano de Medicina del Deporte (2008).

3. Mediciones de campo en los test submáximos y máximos indirectos de VO_2 máx.

- No deberán realizar ejercicio físico las 48 horas previas a los test.
- No deberán ingerir alcohol las 24 horas previas a los test.
- No deberán administrarse sustancias que alteren la frecuencia cardíaca (bebidas energéticas, café, etc.) 24 horas antes de los test.

- Deberán ingerir una comida no excesiva 2 a 3 horas antes de las pruebas.
- Deberán mantener reposo absoluto durante 15 minutos antes de los test para que los parámetros circulatorios y respiratorios estén en estado estacionario.
- Antes del inicio de las mediciones se les recordará el diseño experimental.
- Deberán brindar sus datos básicos, como nombre, fecha de nacimiento, etc.
- Deberán ejecutar primero la prueba submáxima y luego la prueba máxima con 10 minutos de separación entre ellas.

3.1 Variables a medir y criterios para la claudicación de los test.

3.1.1 Criterios para administrar los test submáximos:

- Antes de la ejecución de un test se estandarizarán señales gestuales para verificar el nivel de esfuerzo o fatiga.
- Frecuencia cardíaca de recuperación luego de los test submáximos. Los participantes permanecerán de pie y en el mismo sitio durante tres minutos (PC6M).
- Cada participante deberá evidenciar su fatiga o nivel de esfuerzo a través de la escala de Borg al finalizar el test.
- *Cada participante puede decidir claudicar el test ante una incomodidad excesiva de cualquier índole.*

3.1.2. Criterios para administrar y claudicar las pruebas máximas:

- Antes de la ejecución de un test se estandarizarán señales gestuales para verificar el nivel de esfuerzo o fatiga.
- Los participantes deberán dar su máximo esfuerzo para estimar o medir el parámetro de interés en el test de campo (Course Navette) o de cinta rodante (Test Bruce).
- Alcanzar el 100% de la frecuencia cardíaca máxima teórica estimada según la edad (Tanaka, Monahan y Seals, 2001).
- Completar el último estadio o bloque del test según las máximas posibilidades del participante (McArdle et al., 1990).
- Cada participante deberá evidenciar su fatiga o nivel de esfuerzo a través de la escala de Borg al finalizar el test.
- *Cada participante puede decidir claudicar el test ante una incomodidad excesiva de cualquier índole.*

Los participantes deben exponer sus preguntas sobre este documento a modo de clarificar su contenido, esperando que las respuestas sean satisfactorias.

Los datos a obtener en estas mediciones son para fines de la estructuración del trabajo de tesis doctoral del investigador principal. Los datos podrán publicarse en revistas o divulgarse en congresos, seminarios o eventos similares, en donde la identidad de las personas que han participado en la ejecución de los test no se dará a conocer.

Anexo 7. Documento informativo para participantes EGCAF

Documento de Información para los Participantes

El presente documento informativo para los participantes se enmarca dentro de la investigación de tesis doctoral que tiene como tema la frecuencia cardíaca de recuperación como indicador del consumo máximo de oxígeno en estudiantes de educación física. Esta investigación tiene los siguientes objetivos.

1. Objetivos

- Analizar y precisar la relación entre la frecuencia cardíaca de recuperación post-ejercicio obtenida en test submáximos y el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) de test máximos en estudiantes de educación física de ambos sexos.
- Proponer test de esfuerzo submáximo de campo basado en la frecuencia cardíaca de recuperación para la medición del desempeño aeróbico en estudiantes de educación física de ambos sexos.

2. Criterios de inclusión de los participantes

- Deberán estar matriculados en el Grado en Ciencias de la Actividad Física en el curso 2015 - 2016 del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña – Barcelona.
- Deberán cursar algún nivel del Grado en Ciencias de la Actividad Física.
- Deberán ser aparentemente sanos (cuestionario de aptitud física).
- Deberán estar libres de medicación y de enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias o de cualquier otro tipo que no permita ejecutar las pruebas físicas.
- Si deciden participar, deberán leer el presente documento.
- Si deciden participar, deberán leer y completar un cuestionario de aptitud física.
- Si deciden participar, deberán firmar un consentimiento informado.

El consentimiento informado se respaldó por el Comité de Ética de Investigaciones Clínicas de la Administración Deportiva de Cataluña. Este documento se estructuró según las directrices del Colegio Americano de Medicina del Deporte (2008).

3. Mediciones en los test submáximos y máximos (VO_2 máx.)

- No deberán realizar ejercicio físico las 48 horas previas a los test.
- No deberán ingerir alcohol las 24 horas previas a los test.
- No deberán fumar tabaco ni otro tipo de sustancias 24 horas previas a los test.
- No deberán administrarse sustancias que alteren la frecuencia cardíaca (bebidas energéticas, café, etc.) 24 horas antes de los test.
- Deberán completar al menos 8 horas de sueño la noche previa a los test.
- Deberán ingerir una comida no excesiva 2 a 3 horas antes de los test.
- Deberán llegar con ropa deportiva: zapatillas, pantalón corto, polera.
- Deberán registrar sus datos de masa y talla antes del reposo previo.
- Deberán mantener reposo sedente por 10 minutos antes de la prueba de caminata.
- Deberán ejecutar primero la PC6M y luego Course Navette con 5 minutos de separación entre ellas, a modo de recuperación pasiva.

3.1 Criterios para la aplicación de los test

3.1.1 Criterios para administrar los test submáximos:

- Antes de la ejecución de un test se estandarizarán señales gestuales para verificar el nivel de esfuerzo o fatiga.
- Frecuencia cardíaca de recuperación luego de los test de caminata. Los participantes permanecerán de pie y en el mismo sitio durante 3 minutos.
- Cada participante deberá evidenciar su fatiga o nivel de esfuerzo a través de la escala de Borg al finalizar el test.
- *Cada participante puede decidir claudicar el test ante una incomodidad excesiva de cualquier índole.*

3.1.2 Criterios para administrar y claudicar las pruebas máximas:

- Antes de la ejecución de un test se estandarizarán señales gestuales para verificar el nivel de esfuerzo o fatiga.
- Los participantes deberán dar su máximo esfuerzo para estimar o medir el parámetro de interés en el test de Course Navette (VO_2 máx.)
- Alcanzar el 100% de la frecuencia cardíaca máxima teórica estimada según la edad (Tanaka, Monahan y Seals, 2001).
- Completar el último estadio o bloque del test según las máximas posibilidades del participante (McArdle et al., 1990).
- Cada participante deberá evidenciar su fatiga o nivel de esfuerzo a través de la escala de Borg al finalizar el test.
- *Cada participante puede decidir claudicar el test ante una incomodidad excesiva de cualquier índole.*

Nota 1: los participantes deben exponer sus preguntas sobre este documento a modo de clarificar su contenido, esperando que las respuestas sean satisfactorias.

Nota 2: los datos a obtener en estas mediciones son para fines de la estructuración del trabajo de tesis doctoral del investigador principal. Los datos podrán publicarse en revistas o divulgarse en congresos, seminarios o eventos similares, en donde la identidad de las personas que han participado en la ejecución de los test no se dará a conocer.

