



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**Departamento de Educación Física y Deportiva.
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del
Deporte.**

Tesis Doctoral:

**Valoración funcional en patinadores de velocidad de
alto nivel: determinación de forma directa, mediante
una prueba de campo, de la Velocidad Aeróbica
Máxima patinando.**

Autor:

Daniel Jesús Ruiz Rivera

Directores:

Dr. Xurxo Dopico Calvo

Dr. José Luis Tuimil López

Dr. Miguel Ángel Saavedra García

Informe dos Directores.

D. Xurxo Dopico Calvo, Doctor en Educación Física por la Universidad de A Coruña; D. José Luis Tuimil López, Doctor en Educación Física por la Universidad de A Coruña; y D. Miguel Ángel Saavedra García, Doctor en Educación Física por la Universidad de A Coruña,

CERTIFICAN:

Que D. Daniel Jesús Ruiz Rivera, Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad de A Coruña, ha realizado bajo nuestra dirección el trabajo para la elaboración de su Tesis Doctoral titulado:

Valoración funcional en patinadores de velocidad de alto nivel: determinación de forma directa, mediante una prueba de campo, de la Velocidad Aeróbica Máxima patinando.

Dicho estudio reúne, a nuestro criterio, los requisitos exigibles para su presentación, defensa pública y colación del grado de Doctor. Y para que así conste, expedimos el

presente certificado en A Coruña, a

10 de Abril de 2015

Fdo: Dr. Xurxo Dopico Calvo

Fdo: Dr. José Luis Tuimil López

Fdo: Dr. M.A. Saavedra García

El Camino es Amor

El Camino es Dolor

El Camino es Fé

En memoria a Felix Piñeiro Rey.

A Miguel Santiago Alonso, quien siempre estuvo a mi lado en este sendero vital.

A mis padres y hermano; por los valores transmitidos y el amor entregado.

A todos los que me ayudaron sin arrendar su dignidad.

Agradecimientos:

- *Al Dr. José Luis Tuimil López por tantas enseñanzas y dedicación a lo largo de tantos años. Gracias por despertar en mí la pasión del arte de entrenar y en definitiva por ser el padre de este trabajo.*
- *Al Dr. Xurxo Dopico Calvo por el esfuerzo y el tiempo dedicado. Gracias por ser tan estricto, meticuloso y profesional en la redacción del presente documento y permitir que este trabajo llegara a su fin.*
- *Al Dr. Miguel Saavedra por la impecable dirección realizada aportando la seriedad y el rigor científico a este proyecto. Gracias por apostar por mí y tener la paciencia de aguantarme con tanto mimo.*
- *Al Dr. Carlos Agrasar por apoyarme en los momentos más difíciles y transformar este trabajo en el que hoy es. Gracias por tu cariño, por no dudar de mí y convertirte en el ejemplo de honestidad, lealtad y respeto que nunca olvidaré.*
- *Al Prof. Miguel Santiago por cogerme de la mano hace 11 años y guiarme hasta aquí. Gracias por generar en mí el deseo por entender los “porqué” y encontrar la paciencia para llegar a ellos; gracias por tu dedicación, cariño y confianza. En definitiva por enseñarme tanto cada día. Sin ti no sería quien soy; lo hemos pasado bien.*
- *A Ronan Sánchez por ser un amigo dentro y fuera de la pista. Gracias por cederme a tus deportistas y gestionar el trabajo en Gijón con tu experiencia y sabiduría.*
- *A los deportistas que me permitieron experimentar y a los entrenadores que confiaron en mí para que lo hiciera.*
- *A Vyasis Health Care, Care Fusion y Hopital Hispania, y de manera muy especial a Gerardo Aguado por patrocinar este proyecto y sentirme tan apoyado en todo momento. Gracias.*

- *A GYRO Technology y su presidente, Danny Mok, por patrocinar este proyecto y por el esfuerzo realizado.*
- *A mis colegas, Olalla García y Catalina Gil. Supongo que aprenderé de la paciencia que habéis demostrado aguantándome día a día en este largo camino.*
- *A Ramón Barral, José Manuel Cardesín y Antonio Rivas por las múltiples reflexiones, consejos e ideas de las que sigo aprendiendo a diario.*
- *A muchos amigos y personal del Inef Galicia que me han apoyado y animado a lo largo de estos años: Juan Fernández, Francisco Camiña, Juan Carlos Vázquez, José Luis Romero, Pablo Arias, Celso Carrea, Alberto Oro y a Benjamín Fondevila.*
- *A mi hermano Carlos por colaborar de manera impecable en todo el estudio, pero sobre todo, por haber sido el creador de innumerables experiencias, reflexiones y dudas en el deporte.*
- *A Laureano Sintés por la cantidad de inquietudes generadas, de experiencias y conocimientos compartidos a través del patinaje; y, sobre todo, por brindarme tu amistad en los momentos más duros.*
- *A Wim den Elsen y Jac Orié por descubrirme el verdadero fondo de este trabajo y mostrarme en que consiste la excelencia deportiva.*
- *A Fernanda Gabín por recordarme en tantas ocasiones que “buen marinero no se hace con la mar en calma”.*

Abreviaturas.

%	Porcentaje
Σ	Sumatorio
Δ	Incremento
μ	Media
σ	Desviación típica
AE	Umbral aeróbico ventilatorio (Aerobic Threshold)
AT	Umbral anaeróbico ventilatorio (Anaerobic Threshold)
ATP	Adenosín trifosfato
CA	Test con analizador de gases.
Cr	Creatina
Cm	Centímetro
CM	Centro de masas
Eq O ₂ (VE/VO ₂)	Equivalente ventilatorio del oxígeno
Eq CO ₂ (VE/VCO ₂)	Equivalente ventilatorio del dióxido de carbono
Fig	Figura
HR	Frecuencia cardíaca (Heart Rate)
HR Max	Frecuencia cardíaca máxima
HR Rep	Frecuencia cardíaca de reposo
HR AE	Frecuencia cardíaca umbral aeróbico ventilatorio
HR AT	Frecuencia cardíaca umbral anaeróbico ventilatorio
J	Julios
kg	Kilogramo
km·h ⁻¹	Kilómetros/hora
lat	Latido
m	Metro
min	Minuto

$\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	Mililitros por kilogramo por minuto
P	Potencia
Pág	Página
ppm	Pulsaciones por minuto
r	Correlación
RQ	Cociente respiratorio (Respiratory Quotient)
RQ máx.	Cociente respiratorio máximo
s	Segundos
SA	Test sin analizador de gases.
t	Prueba estadística <i>t-student</i>
T	Tiempo
T AE	Tiempo umbral anaeróbico ventilatorio
T AT	Tiempo umbral anaeróbico ventilatorio
UMTT	University of Montreal Track Test
VAM	Velocidad aeróbica máxima.
VAM _p	Velocidad aeróbica máxima patinando
VAM _{ps}	Velocidad aeróbica máxima patinando estadio
VE	Ventilación
VE AE	Ventilación umbral aeróbico ventilatorio
VE	Ventilación umbral anaeróbico ventilatorio
V	Velocidad
Vel AE	Velocidad umbral aeróbico ventilatorio
Vel AT	Velocidad umbral anaeróbico ventilatorio
VE AE	Ventilación en el umbral aeróbico ventilatorio
VE AT	Ventilación en el umbral anaeróbico ventilatorio
VO ₂	Consumo de oxígeno
VO ₂ AE	Consumo de oxígeno umbral aeróbico ventilatorio

VO ₂ AT	Consumo de oxígeno umbral anaeróbico ventilatorio
VO _{2max}	Consumo máximo de oxígeno
W	Trabajo
w	Wattios

Índice.

1. Introducción y Marco Teórico.	1
1.1. El Patinaje de Velocidad.	7
1.2. La Biomecánica aplicada al Patinaje de Velocidad.	15
1.2.1. Análisis de la técnica en el Patinaje de Velocidad sobre Hielo.	16
1.2.2. Fundamentación Teórica y Análisis Biomecánico Básico de la Técnica de Patinaje de Velocidad sobre hielo en Recta.	20
1.2.3. Fundamentación Teórica y Análisis Biomecánico Básico de la Técnica de Patinaje de Velocidad en Curva.	27
1.2.4. La Técnica Específica en el Patinaje de Velocidad sobre Ruedas.	31
1.3. Fisiología del Rendimiento en el Patinaje de Velocidad.	33
1.3.1. Morfología en el Patinaje de Velocidad.	34
1.3.2. Consumo Máximo de Oxígeno.	36
1.3.2.1. Concepto y Aspectos Generales.	36
1.3.2.2. El Consumo Máximo de Oxígeno en el Patinaje de Velocidad.	38
1.3.3. Umbral Anaeróbico.	49
1.3.3.1. Definición.	49
1.3.3.2. Determinación por el Método Ventilatorio.	51
1.3.3.3. El Umbral Anaeróbico en el Patinaje de Velocidad.	52
1.3.4. Velocidad Aeróbica Máxima.	55
1.3.4.1. Definición.	55
1.3.4.2. Determinación.	56
1.3.4.3. La VAM en el Patinaje de Velocidad.	58
1.3.5. La Fuerza Específica en el Patinaje de Velocidad.	61
1.4. Valoración Funcional en Patinaje de Velocidad.	65
1.4.1. Test Fisiológicos de Campo para el control del entrenamiento: aspectos metodológicos.	69
1.4.2. Test de Campo en el Patinaje.	77
1.5. Resumen del Marco Teórico.	81

2. Justificación y Objetivos	85
3. Material y Método.	91
3.1.Sujetos.	93
3.2.Material.	95
3.3.Procedimiento.	105
3.3.1. Determinación de la Composición Corporal.	105
3.3.2. Diseño de un Protocolo de Valoración en Campo para la Determinación de la Velocidad Aeróbica Máxima patinando y el Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}) en el Patinaje de Velocidad.	107
3.3.3. Familiarización Test de Campo.	112
3.3.4. Test de Campo con analizador de gases (CA) para la determinación del Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}) y la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p).	113
3.3.5. Test de Campo sin analizador de gases (SA) para la determinación de la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p).	115
3.4.Análisis estadístico	116
4. Resultados.	125
4.1. Objetivo1: Determinar los valores de las variables morfológicas en patinadores de alto nivel y analizar su influencia en el rendimiento del patinaje de velocidad.	127
4.2. Objetivo 2: Determinar los valores de las principales variables funcionales: VO_{2max} (absoluto y relativo), Umbrales Ventilatorio Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).	129
4.3. Objetivo 3: Describir y analizar los valores incrementales medios de VO_2 , VO_2 relativo, Frecuencia Cardíaca y Ventilación a lo largo de una prueba incremental, continua, escalonada y maximal.	135
4.4. Objetivo 4: Determinar la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p), mediante una prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal.	139
4.5. Objetivo 5: Comprobar si la misma prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal, realizada sin analizador de gases	141

	provoca diferencias respecto a la velocidad final alcanzada.	
4.6.	Objetivo 6: Valorar el nivel de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y el Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}).	167
4.7.	Objetivo 7. Determinar los niveles de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y los Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).	168
5.	Discusión.	181
5.1.	Objetivo1: Determinar los valores de las variables morfológicas en patinadores de alto nivel y analizar su influencia en el rendimiento del patinaje de velocidad.	183
5.2.	Objetivo 2: Determinar los valores de las principales variables funcionales: VO_{2max} (absoluto y relativo), Umbrales Ventilatorio Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).	187
5.3.	Objetivo 3: Describir y analizar los valores incrementales medios de VO_2 , VO_2 relativo, Frecuencia Cardíaca y Ventilación a lo largo de una prueba incremental, continua, escalonada y maximal.	197
5.4.	Objetivo 4: Determinar la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p), mediante una prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal.	198
5.5.	Objetivo 5: Comprobar si la misma prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal, realizada sin analizador de gases provoca diferencias respecto a la velocidad final alcanzada.	201
5.6.	Objetivo 6: Valorar el nivel de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y el Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}).	206
5.7.	Objetivo 7. Determinar los niveles de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y los Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).	207
6.	Conclusiones.	213
7.	Aplicaciones Prácticas.	219
8.	Limitaciones del Estudio.	225
9.	Propuestas de Investigación.	229

10. Bibliografia.	235
11. Anexos.	261

Índice de Tablas.

Tab. 1.1.1. Records Mundiales en Long Track categoría Masculina.	10
Tab. 1.1.2. Records Mundiales en Long Track categoría Femenina.	10
Tab. 1.1.3. Records Mundiales en Ruta categoría masculina.	13
Tab. 1.1.4. Records Mundiales en Ruta categoría femenina.	13
Tab. 1.1.5. Records Mundiales en Pista categoría masculina.	13
Tab. 1.1.6. Records Mundiales en Pista categoría femenina.	14
Tab. 1.3.4.1. Revisión de estudios de valoración de la VAM_p y/o vVO_{2max} .	59
Tab. 1.3.5.1. Estudios con mediciones específicas de fuerza en patinadores.	64
Tab. 1.4.1.1. Revisión de estudios de valoración del VO_{2max} sobre patinadores.	72
Tab. 3.1. Caracterización de los sujetos.	94
Tab. 3.3.2.1. Esquema del Test de Campo para la de determinación de la VAM_p .	111
Tab. 3.4.1. Variables de Estudio: Morfología.	116
Tab. 3.4.2. Variables de Estudio: Funcional.	117
Tab. 3.4.3. Variables de estudio para los incremento de VO_2 en función de la Velocidad.	118
Tab. 3.4.4. Variables de estudio para la VAM_p y VAM_{ps} .	119
Tab. 3.4.5. Variables de Estudio: Test con Analizador.	120
Tab. 3.4.6. Variables de Estudio: Test sin Analizador.	120
Tab. 3.4.7. Variables de estudio para la VAM_p y el VO_{2max} .	122
Tab. 3.4.8. Variables de estudio para la VAM_p , AE y AT.	123
Tab. 4.1.1. Frecuencias Variables Morfológicas.	127
Tab. 4.2.1. Frecuencias Variables Funcionales.	129
Tab. 4.4.1. Frecuencias Velocidad Aeróbica Máxima Patinando (VAM_p y VAM_{ps}), Test CA.	139
Tab. 4.5.1. Frecuencias Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p y VAM_{ps}), Test SA.	141
Tab. 4.5.2. Resultados VAM_p y VAM_{ps}	142
Tab. 4.5.3. Asociación VAM_p vs VAM_{ps} ; Test CA.	143
Tab. 4.5.4. Comparación VAM_p vs VAM_{ps} ; Test CA.	143
Tab. 4.5.5. Asociación VAM_p vs VAM_{ps} ; Test SA.	143

Tab. 4.5.6. Comparación VAM_p vs VAM_{ps} ; Test SA.	143
Tab. 4.5.7. Resultados Individuales de los sujetos; Test CA vs Test SA.	144
Tab. 4.5.8. Frecuencias Variables, Test CA.	145
Tab. 4.5.9. Frecuencias Variables Test SA.	150
Tab. 4.5.10. Correlaciones para variables repetidas; Test CA vs Test SA.	160
Tab. 4.5.11. Comparación Test CA vs Test SA.	161
Tab. 4.6.1. Correlación VAM_p - VO_{2max} .	167
Tab. 4.7.1. Frecuencias Variables en el AE y en el AT.	168
Tab. 4.7.2. Correlaciones VAM_p / AE Vel.	176
Tab. 4.7.3. Correlaciones VAM_p / AT Vel.	176
Tab. 4.7.4. Correlaciones VAM_{ps} / AE Vel.	176
Tab. 4.7.5. Correlaciones VAM_{ps} / AT Vel.	176
Tab. 4.7.6. Correlaciones AE Vel / AT Vel.	177
Tab. 4.7.7. Correlaciones HR Max / AE HR.	177
Tab. 4.7.8. Correlaciones HR Max / AT HR.	177
Tab. 4.7.9. Correlaciones AE HR / AE HR.	177
Tab. 4.7.10. Correlaciones VE Max / AE VE.	178
Tab. 4.7.11. Correlaciones VE Max / AT VE.	178
Tab. 4.7.12. Correlaciones AE VE / AT VE.	178
Tab. 5.2.1. Resumen de resultados de los estudios de campo con patinadores de velocidad.	191
Tab. 5.2.2. Resumen de resultados de valoración de ácido láctico en pruebas de campo con patinadores de velocidad.	196
Tab. 5.4.1. Resumen de resultados de estudios de valoración de la VAM_p y/o Velocidades en el VO_{2max} .	200
Tab. 5.7.1. Resumen de resultados de estudios de valoración de umbral anaeróbico en pruebas de campo, con patinadores de velocidad.	210
Tab. 7.1. Entrenamiento del Patinaje de Velocidad en función de las zonas de intensidad de la VAM_p obtenidas con el test SA.	223
Tab. 11.1. Tiempos de paso, distancias y velocidades del test incremental para la determinación de la VAM_p .	263

Índice de Figuras.

Fig. 1.1.1. Clasificación de pruebas en el patinaje de velocidad sobre hielo.	9
Fig. 1.1.2. Evolución de los Records Del Mundo en el Patinaje de Velocidad sobre hielo. Extraído de Vorbridge (2012).	11
Fig. 1.1.3. Modelo de clasificación de pruebas en el patinaje de velocidad.	12
Fig. 1.2.1.1. Esquema de las fuerzas externas que actúan sobre el patinador de velocidad en el avance. Extraído de de Koning, <i>et al.</i> , (1992).	18
Fig. 1.2.1.2. Ángulos que definen la posición de un patinador de velocidad en la técnica de deslizamiento. El ángulo de rodilla θ_0 ($= \theta_2 + \theta_3$) es determinado principalmente por la posición θ_2 de la parte alta de la pierna. Extraído de Van Ingen Schenau, <i>et al.</i> , (1987).	19
Fig. 1.2.2.1. Fases de la Técnica en el Patinaje de Velocidad en recta. Vista Plano Frontal. Extraído de Fintelman, <i>et al.</i> , (2011).	20
Fig. 1.2.2.2. Fases de la Técnica en el Patinaje de Velocidad en Recta. Vista Plano Frontal. Extraído de de Boer, <i>et al.</i> , (1989).	22
Fig. 1.2.2.3. Fase de Empuje. Vista Plano X-Z. Extraído de Van Ingen Schenau <i>et al.</i> , (1987).	23
Fig. 1.2.2.4. Línea Continua V1 Velocidad Inicial. Línea Continua V2 Incremento y Dirección de Empuje perpendicular a la dirección de deslizamiento. Línea Continua V3 Velocidad Resultante. α Debido a los empujes lateralizados, la resultante del empuje no es solo un incremento de la energía cinética sino una cambio de dirección del centro de gravedad o centro de masas. Extraído de Van Ingen Schenau, <i>et al.</i> , (1987).	25
Fig. 1.2.2.5. A, Ángulo de preextensión de rodilla θ_0 y de tronco θ_1 en el plano y-z. B, Ángulo de efectividad (e) en el plano x-z. Extraído de Noordhof, <i>et al.</i> , (2013).	26
Fig. 1.2.3.1. Secuencia de acción del patinador en la curva. Extraído de de Koning <i>et al.</i> , (1991).	27
Fig. 1.2.3.2. Fases de un ciclo completo de curva. Extraído de Yuda, Yuki, Aoyanagi, Fujii, & Ae, (2007).	29
Fig. 3.2.1. Imagen Pulsómetro Polar RS800.	95
Fig. 3.2.2. Imagen Analizador de lactato Lactate PRO.	96
Fig. 3.2.3. Imagen Ergoespirómetro Portátil Jaeger Oxycon Mobile.	96

Fig. 3.2.4. Imagen Patín de velocidad con Ruedas GYRO específicas para el Test.	99
Fig. 3.2.5. Imagen del software JLAB 5.0 controlador del Hardware Jaeger Oxycon Mobile.	100
Fig. 3.2.6. Imagen de software Polar Pro Trainer 5.0 conexo al hardware Polar RS800.	100
Fig. 3.2.7. Planimetría Patinódromo Homologado por la F.I.R.S.	101
Fig. 3.2.8. Imagen Patinódromo del Complejo Deportivo Municipal de Moreda en Gijón. Emplazamiento de los test.	103
Fig. 3.2.9. Planimetría Patinódromo Homologado por la F.I.R.S. Extraído Reglamento C.I.C. (F.I.R.S.).	104
Fig. 4.2.1. Comportamiento del VO_{2max} en cada uno de los sujetos, Test CA.	130
Fig. 4.2.2. Comportamiento del VO_{2max} Relativo en cada uno de los sujetos, Test CA.	130
Fig. 4.2.3. Comportamiento del VCO_2 en cada uno de los sujetos, Test CA.	131
Fig. 4.2.4. Comportamiento de la VE en cada uno de los sujetos, Test CA.	131
Fig. 4.2.5. Comportamiento del RQ en cada uno de los sujetos, Test CA.	132
Fig. 4.2.6. Comportamiento de la HR en cada uno de los sujetos, Test CA.	132
Fig. 4.2.7. Comportamiento del O_2HR en cada uno de los sujetos, Test CA.	133
Fig. 4.2.8. Comportamiento del % AE en cada uno de los sujetos, Test CA.	133
Fig. 4.2.9. Comportamiento del % AT en cada uno de los sujetos, Test CA.	134
Fig. 4.2.10. Comportamiento del Lactato Máximo en cada uno de los sujetos, Test CA.	134
Fig. 4.3.1. Evolución del VO_2 medio, Test CA.	135
Fig. 4.3.2. Evolución del Δ medio de VO_2 . Test CA.	135
Fig. 4.3.3. Evolución del VO_2 Relativo medio, Test CA.	136
Fig. 4.3.4. Evolución del Δ medio de VO_2 Relativo, Test CA.	136
Fig. 4.3.5. Evolución de la Frecuencia Cardíaca media, Test CA.	137
Fig. 4.3.6. Evolución del Δ medio de la Frecuencia Cardíaca, Test CA.	137
Fig. 4.3.7. Evolución de la Ventilación media, Test CA.	138
Fig. 4.3.8. Evolución del Δ medio de la Ventilación, Test CA.	138
Fig. 4.4.1. Comportamiento de la VAM_p en cada uno de los sujetos, Test CA.	139

Fig. 4.4.2. Comportamiento de la VAM_{ps} en cada uno de los sujetos, Test CA.	140
Fig. 4.5.1. Comportamiento de la VAM_p en cada uno de los sujetos, Test SA.	141
Fig. 4.5.2. Comportamiento de la VAM_{ps} en cada uno de los sujetos, Test SA.	142
Fig. 4.5.3. Comportamiento de Tiempo Total en cada uno de los sujetos, Test CA.	146
Fig. 4.5.4. Comportamiento de la HR en cada uno de los sujetos, Test CA.	146
Fig. 4.5.5. Comportamiento de Lactato 1 en cada uno de los sujetos, Test CA.	147
Fig. 4.5.6. Comportamiento de Lactato 3 en cada uno de los sujetos, Test CA.	147
Fig. 4.5.7. Comportamiento de Lactato 5 en cada uno de los sujetos, Test CA.	148
Fig. 4.5.8. Comportamiento de Lactato 7 en cada uno de los sujetos, Test CA.	148
Fig. 4.5.9. Comportamiento del Lactato Máximo en cada uno de los sujetos, Test CA.	149
Fig. 4.5.10. Comportamiento del Tiempo Total en cada uno de los sujetos, Test SA.	151
Fig. 4.5.11. Comportamiento de HR en cada uno de los sujetos, Test SA.	151
Fig. 4.5.12. Comportamiento de Lactato 1 en cada uno de los sujetos, Test SA.	152
Fig. 4.5.13. Comportamiento de Lactato 3 en cada uno de los sujetos, Test SA.	152
Fig. 4.5.14. Comportamiento de Lactato 5 en cada uno de los sujetos, Test SA.	153
Fig. 4.5.15. Comportamiento de Lactato 7 en cada uno de los sujetos, Test SA.	153
Fig. 4.5.16. Comportamiento de Lactato Máximo en cada uno de los sujetos, Test SA.	154
Fig. 4.5.17. Tiempo Total en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	155

Fig. 4.5.18. VAM_p en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	155
Fig. 4.5.19. VAM_{ps} en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	156
Fig. 4.5.20. HR en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	156
Fig. 4.5.21. Lactato 1 en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	157
Fig. 4.5.22. Lactato 3 en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	157
Fig. 4.5.23. Lactato 5 en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	158
Fig. 4.5.24. Lactato7 en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	158
Fig. 4.5.25. Lactato Máximo en cada uno de los sujetos: CA vs SA.	159
Fig. 4.5.26. Tiempo Total: CA vs SA.	162
Fig. 4.5.27. VAM_p : CA vs SA.	162
Fig. 4.5.28. VAM_{ps} : CA vs SA.	163
Fig. 4.5.29. HR: CA vs SA.	163
Fig. 4.5.30. Lactato 1: CA vs SA.	164
Fig. 4.5.31. Lactato 3: CA vs SA.	164
Fig. 4.5.32. Lactato 5: CA vs SA.	165
Fig. 4.5.33. Lactato 7: CA vs SA.	165
Fig. 4.5.34. Lactato Max: CA vs SA.	166
Fig. 4.7.1. Comportamiento del AE VO_2 en cada uno de los sujetos, Test CA.	169
Fig. 4.7.2. Comportamiento del AT VO_2 en cada uno de los sujetos, Test CA.	169
Fig. 4.7.3. Comportamiento del AE VE en cada uno de los sujetos, Test CA.	170
Fig. 4.7.4. Comportamiento del AT VE en cada uno de los sujetos, Test CA.	170
Fig. 4.7.5. Comportamiento del AE HR en cada uno de los sujetos, Test CA.	171
Fig. 4.7.6. Comportamiento del AT HR en cada uno de los sujetos, Test CA.	171
Fig. 4.7.7. Comportamiento de AE Vel en cada uno de los sujetos, Test CA.	172
Fig. 4.7.8. Comportamiento de AT Vel en cada uno de los sujetos, Test CA.	172
Fig. 4.7.9. Comportamiento de AE % VAM_{ps} en cada uno de los sujetos, Test CA.	173
Fig. 4.7.10. Comportamiento de AT % VAM_{ps} en cada uno de los sujetos, Test CA.	173

Fig. 4.7.11. Comparación VO_2 : Max vs AE vs AT en cada uno de los sujetos, Test CA.	174
Fig. 4.7.12. Comparación Velocidad: VAM_{ps} vs AE vs AT en cada uno de los sujetos, Test CA.	174
Fig. 4.7.13. Comparación Ventilación: Max vs AE vs AT en cada uno de los sujetos, Test CA.	175
Fig. 4.7.14. Comparación HR: Max vs AE vs AT en cada uno de los sujetos, Test CA.	175
Fig. 6.1. Esquema del entrenamiento en función de las zonas de intensidad de VAM (Tuimil & Rodríguez, 2001 & 2002).	221

Resumen

Introducción

El Patinaje de Velocidad sobre Ruedas combina el patrón de movimiento del patinaje de velocidad sobre hielo y las formas de competición propias del ciclismo (2). Pocos estudios han sido realizados sobre la fisiología del patinaje de velocidad sobre ruedas (1, 2); muchos de ellos registran los valores de VO_2 , sin embargo, no estudian la relación con la Velocidad Aeróbica Máxima (MAS). El propósito de este estudio fue investigar los valores de VO_2 y VAM y su asociación en patinadores de velocidad sobre ruedas.

Métodos

Doce patinadores de velocidad sobre ruedas de nivel élite (19.4 ± 4.6 años) desarrollaron dos test incrementales (CA y SA) en una pista cubierta de 200m (patinando a $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, duración de estadio de 1 minuto, e incrementos de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ hasta el agotamiento). CA se realizó con un analizador de gases portátil, Jaeger Oxycon Mobile. SA se desarrolló con un monitor de frecuencia cardíaca, Polar RS800. La frecuencia cardíaca (HR) y muestras de ácido láctico (LS) fueron registradas en CA y SA.

Resultados

Los resultados del test CA fueron: $4167.9 \pm 456.5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de $VO_{2\text{max}}$ (absoluto); $60.2 \pm 7.6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ de $VO_{2\text{max}}$ (relativo); y $159.8 \pm 22.3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ de ventilación máxima. La VAM fue $35.7 \pm 1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en CA y $36.7 \pm 1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en SA. El HR máximo fue $195.2 \pm 7.5 \text{ ppm}$ en CA y $196.3 \pm 9.2 \text{ ppm}$ en SA. Los valores máximos de LS fueron $12.9 \pm 2.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en CA y $13.9 \pm 1.6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en SA. No se encontró correlación entre $VO_{2\text{max}}$ y MAS en CA ($r = 0.271$; $p > 0.394$). Se encontró una alta correlación estadísticamente significativa entre CA y SA en la VAM ($r = 0.965$; $p < 0.001$) y en HR ($r = 0.800$; $p < 0.002$). A pesar de existir diferencias estadísticamente significativas entre CA y SA en MAS ($p < 0.001$), no se encontraron en HR máximo ($p > 0.508$) ni en LS máximo ($p > 0.258$).

Discusión

El $VO_{2\text{max}}$ es similar al de patinadores de velocidad sobre hielo y ruedas de nivel élite (1, 2). La VAM es la más alta encontrada en estudios con patinadores de velocidad sobre ruedas (2). El patinaje de velocidad sobre ruedas no depende únicamente de parámetros fisiológicos (3); el patrón biomecánico de los patinadores de velocidad determina la VAM ya que no observamos correlación entre la misma y el $VO_{2\text{max}}$. La VAM podría afectarse por el protocolo, las condiciones o el material empleado en los test. Por tanto, un control de estas variables debería ser necesario para la utilización de la VAM en la prescripción del entrenamiento o la adquisición de talentos en el patinaje de velocidad sobre ruedas.

Bibliografía

1. de Boer RW, Vos E, Hutter W, de Groot G, & Van Ingen Schenau GJ. (1987). European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology. 1987; 56 (5): 562-569.
2. Krieg A, Meyer T, Clas S, & Kindermann W. (2006). International Journal of Sports Medicine. 2006; 27 (10): 818-823.
3. Noordhof DA, Foster C, Hoozemans MJ, & de Koning JJ. (2013). International Journal of Sports Physiology and Performance. 2013; 8: 188-194.

Resumo

Introdución

A Patinaxe de Velocidade sobre rodas combina o patrón de movemento da patinaxe de velocidade sobre xeo e as formas de competición propias do ciclismo (2). Poucos estudos analizan a fisioloxía da patinaxe de velocidade sobre rodas (1, 2); moitos deles recollen os valores de VO_2 , con todo, non estudan a relación coa Velocidade Aeróbica Máxima (MAS). O propósito deste estudo foi investigar os valores de VO_2 e VAM e a súa asociación en patinadores de velocidade sobre rodas.

Métodos

Doce patinadores de velocidade sobre rodas de nivel elite (19.4 ± 4.6 anos) desenvolveron dous test incrementales (CA e SA) nunha pista cuberta de 200m (patinando a $15 \text{ km}\% \cdot \text{h}^{-1}$, duración do estadio de 1 minuto, e incrementos de $1 \text{ km}\% \cdot \text{h}^{-1}$ ata o esgotamento). CA realizouse cun analizador de gases portátil, Jaeger Oxycon Mobile. SA desenvolveuse cun monitor de frecuencia cardíaca, Polar RS800. A frecuencia cardíaca (HR) e mostradas de ácido láctico (LS) foron rexistradas en CA e SA.

Resultados

Os resultados do test CA foron: $4167.9 \pm 456.5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de $VO_{2\text{max}}$ (absoluto); $60.2 \pm 7.6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ de $VO_{2\text{max}}$ (relativo); e $159.8 \pm 22.3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ de ventilación máxima. A VAM foi $35.7 \pm 1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en CA e $36.7 \pm 1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en SA. O HR máximo foi $195.2 \pm 7.5 \text{ ppm}$ en CA e $196.3 \pm 9.2 \text{ ppm}$ en SA. Os valores máximos de LS foron $12.9 \pm 2.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en CA e $13.9 \pm 1.6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en SA. Non se atopou correlación entre $VO_{2\text{max}}$ e MAS en CA ($r = 0.271$; $p > 0.394$). Atopouse unha alta correlación estatisticamente significativa entre CA e SA na VAM ($r = 0.965$; $p < 0.001$) e en HR ($r = 0.800$; $p < 0.002$). A pesar da existencia de diferenzas estatisticamente significativas entre CA e SA en MAS ($p < 0.001$), non se atoparon en HR máximo ($p > 0.508$) nin en LS máximo ($p > 0.258$).

Discusión

O $VO_{2\text{max}}$ é similar ao de patinadores de velocidade sobre xeo e rodas de nivel elite (1, 2). A VAM é a máis alta atopada en estudos con patinadores de velocidade sobre rodas (2). A patinaxe de velocidade sobre rodas non depende unicamente de parámetros fisiolóxicos (3); o patrón biomecánico dos patinadores de velocidade determina a VAM xa que non observamos correlación entre a mesma e o $VO_{2\text{max}}$. A VAM podería afectarse polo protocolo, as condicións ou o material empregado no test. Por tanto, un control destas variables debería ser necesario para a utilización da VAM na prescripción do adestramento ou a adquisición de talentos na patinaxe de velocidade sobre rodas.

Bibliografía

1. de Boer RW, Vos E, Hutter W, de Groot G, & Van Ingen Schenau GJ. (1987). European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology. 1987; 56 (5): 562-569.
2. Krieg A, Meyer T, Clas S, & Kindermann W. (2006). International Journal of Sports Medicine. 2006; 27 (10): 818-823.
3. Noordhof DA, Foster C, Hoozemans MJ, & de Koning JJ. (2013). International Journal of Sports Physiology and Performance. 2013; 8: 188-194.

Abstract

Introduction

Roller Speed Skating combines the movement pattern of ice speed skating and the pack-oriented competition modes from cycling (2). Few studies have been made about roller speed skating physiology (1, 2); many of them registered the VO_2 values, however, they did not investigate the relationship with the Maximal Aerobic Speed (MAS). The aim of the present study was to assess the VO_2 and MAS values and their association in Roller Speed Skaters.

Methods

Twelve elite roller speed skaters (19.4 ± 4.6 years) performed two incremental tests (CA and SA) in a 200m indoor track (skating at $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, step duration of 1 minute, and increments of $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ up to exhaustion). CA was performed with a portable metabolic gas analyzer, Jaeger Oxycon Mobile. SA was performed with a heart rate monitor, Polar RS800. Heart rate (HR) and lactate samples (LS) were collected in CA and SA.

Results

The results in test CA were: $4167.9 \pm 456.5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ of absolute $\text{VO}_{2\text{max}}$; $60.2 \pm 7.6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ of relative $\text{VO}_{2\text{max}}$; and $159.8 \pm 22.3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ of maximal ventilation. The MAS was $35.7 \pm 1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ in CA and $36.7 \pm 1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ in SA. The maximal HR was $195.2 \pm 7.5 \text{ bpm}$ in CA and $196.3 \pm 9.2 \text{ bpm}$ in SA. The maximal values of LS were $12.9 \pm 2.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ in CA and $13.9 \pm 1.6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ in SA. No correlation appeared between $\text{VO}_{2\text{max}}$ and MAS in CA ($r = 0.271$; $p > 0.394$). A large significant correlation between CA and SA was found in MAS ($r = 0.965$; $p < 0.001$) and in maximal HR ($r = 0.800$; $p < 0.002$). Despite, there were significant differences between CA and SA in MAS ($p < 0.001$), no differences appeared in maximal HR ($p > 0.508$) and in maximal LS ($p > 0.258$).

Discussion

The $\text{VO}_{2\text{max}}$ obtained similar values as other elite level ice and roller speed skaters (1, 2). The MAS was the highest found in studies with roller speed skaters (2). Roller Speed Skating does not depend on physiological parameters only (3); the biomechanical pattern of the speed skaters determines the MAS too, since an absence of correlation between $\text{VO}_{2\text{max}}$ and MAS was observed. MAS may be affected by the protocol, the conditions or the material employed in tests. Then, control of these variables should be made in order to use MAS for training prescription or talent acquisition in roller speed skating.

References

1. de Boer RW, Vos E, Hutter W, de Groot G, & Van Ingen Schenau GJ. (1987). European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology. 1987; 56 (5): 562-569.
2. Krieg A, Meyer T, Clas S, & Kindermann W. (2006). International Journal of Sports Medicine. 2006; 27 (10): 818-823.
3. Noordhof DA, Foster C, Hoozemans MJ, & de Koning JJ. (2013). International Journal of Sports Physiology and Performance. 2013; 8: 188-194.

1

Introducción y

Marco Teórico

Introducción.

El Patinaje de Velocidad sobre ruedas es un deporte moderno en rápida evolución, candidato a formar parte en los Juegos Olímpicos, y presente en los World Games, Asian Games, Juegos del Mediterráneo y Juegos Panamericanos. Está representado a nivel mundial por la Federation International of Roller Sports (F.I.R.S.), es una disciplina reconocida por el Comité Olímpico Internacional (I.O.C.), y consta de más de 180 Federaciones Nacionales a lo largo de los 5 continentes. Más de 50 millones de personas en el mundo patinan de manera habitual, y es un deporte practicado equitativamente por ambos géneros. (F.I.R.S., 2013).

La disciplina del Patinaje de Velocidad sobre Ruedas deriva directamente del Patinaje de Velocidad sobre Hielo, disciplina Olímpica en los Juegos Olímpicos de Invierno desde Chamonix 1924. La International Skating Union (I.S.U.) creada en 1892 es su organismo regulador y fue la primera federación en fundarse dentro de los deportes de invierno. Entre los años 70 y 80, los actuales patines en línea se desarrollaron para que los grupos de entrenamiento pudieran entrenar ante la ausencia de hielo (I.S.U. 2013).

Para mejorar el rendimiento en una disciplina deportiva es indispensable conocer los factores responsables del mismo y para esto se requiere, caracterizar poblaciones de deportistas, diseñar investigaciones y aportar herramientas que permitan optimizar los procesos de desarrollo, control y seguimiento del entrenamiento.

Después de revisar la bibliografía específica en el Patinaje de Velocidad sobre Hielo, la cual como disciplina Olímpica ha supuesto un importante campo de investigación, podemos distinguir los siguientes factores determinantes del rendimiento que han sido estudiados en la literatura científica:

- La biomecánica (Van Ingen Schenau, 1982; Van Ingen Schenau, de Groot, & Hollander, 1983; Van Ingen Schenau, de Groot, & de Boer, 1985; Van Ingen Schenau, de Groot, & de Boer, 1985; Van Ingen Schenau, de Boer, & de Groot, 1987; de Boer, Cabri, *et al.*, 1987; de Boer & Nilsen, 1989; de Koning, de Boer, de

Groot, & Van Ingen Schenau, 1987; de Koning, Houdijk, de Groot, & Bobbert, 2000; Noordhof, Foster, Hoozemans, & de Koning, 2014; Zuiker, 2014).

- La mecánica y la tecnología (de Koning, Houdijk, de Groot, & Bobbert, 2000; Houdijk, de Koning, de Groot, Bobbert, & Van Ingen Schenau, 2000; de Koning, 2010; D'Auteuil, Larose, & Zan, 2012; Zuiker, 2014).

- La táctica (Foster *et al.*, 2003; Heiden, 2004; Mühlbauer, Panzer, Naundorf, & Grützmacher, 2009; Kamst, Kuper, & Sierksma, 2010; Mühlbauer, Panzer, & Schindler, 2010; de Koning, Foster, Lucia, Bobbert, Hettinga, & Porcari, 2011).

- La fisiología (Saltin, & Anstrand, 1967; Maksud, Wiley, Hamilton, & Lockhart, 1970; Van Ingen Schenau, *et al.*, 1983; de Boer, Vos, Hutter, de Groot, & Van Ingen Schenau, 1987; Kandow, Houtman, Van der Bol, de Boer, de Groot, & Van Ingen Schenau, 1987; de Koning, Bakker, de Groot, & Van Ingen Schenau, 1994; Rundell, & Pripstein, 1995; Foster, *et al.*, 1999; de Koning, Foster, Lampen, Hettinga, & Bobbert, 2005; Chapman, Stickford & Levine, 2010; di Prampero, 2010; Orié, Hofman, de Koning, & Foster, 2014; Stangier, Abel, Mierau, Gutmann, Holmann, & Strüder, 2014).

El Patinaje de Velocidad sobre ruedas, sin embargo, es una disciplina más joven y hacia la que pocos investigadores han enfocado sus estudios (Piucco, dos Santos & de Lucas, 2014); y, aunque existen algunos trabajos en el ámbito de la fisiología del rendimiento en este deporte (de Boer, Ettema, *et al.*, 1987; de Boer, Vos, *et al.*, 1987; Rundell, 1996; Foster, *et al.*, 1999; Millet, Gelsan, Ferrier, Candau, & Varray, 2003; Krieg, Meyer, Clas, & Kindermann, 2006; Lozano, 2009 & 2010; Teutsch, Knechtle, Rüst, Rosemann, & Lepers, 2013), ninguno de ellos se ha centrado, específicamente, en el estudio de la velocidad aeróbica máxima (VAM) ni en el desarrollo de un protocolo para su determinación o la valoración del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) en el campo deportivo.

La velocidad aeróbica máxima (VAM), o velocidad al VO_{2max} (vVO_{2max}), ha tenido una importante trascendencia en otras disciplinas como la carrera atlética de resistencia. La VAM, como un único parámetro que integra la potencia aeróbica y la economía de carrera, ha adquirido especial relevancia en la predicción de los resultados en las pruebas de medio fondo y fondo (Léger & Boucher, 1980; Hill &

Rowell, 1996); en este sentido, también, se ha establecido como el mejor predictor del rendimiento en las distintas pruebas de fondo y medio fondo en la carrera atlética (di Prampero, Atchou, Brückner, & Moia, 1986; Morgan, Baldini, Martin, & Kohrt, 1989; Lacour, Padilla, Chatard, Arsac, & Barthélémy, 1991; Padilla, Bourdin, Barthélémy, & Lacour, 1992; Babineau & Léger, 1996). Por otra parte la VAM ha sido demostrado como un parámetro de enorme utilidad en el ciclismo en relación con la valoración de la potencia aeróbica máxima (PAM) (Ricci & Leger, 1983; Marion & Leger, 1988; González, 2006).

La programación del entrenamiento a partir de la VAM, representa una alternativa y un complemento a los parámetros más clásicos utilizados para la prescripción del entrenamiento en el patinaje de velocidad sobre ruedas como ha sido demostrado en otras disciplinas (VO_{2max} , umbral anaeróbico, frecuencia cardíaca de reserva, velocidad de competición, etc.) (Gaçon, 1991; Tuimil & Rodríguez, 2000; 2001; González, 2006). La VAM es considerado un parámetro de carga de entrenamiento muy fiable en otras disciplinas, pudiendo utilizarse de manera práctica y fiable para programar el entrenamiento en las distintas zonas de intensidad (Tuimil & Rodríguez, 2003).

Finalmente, creemos que el diseño de una prueba para la determinación de la VAM puede constituir una herramienta útil para la detección de talentos en el patinaje de velocidad, sobre todo, teniendo en cuenta que en la carrera atlética la prueba de carrera en pista de la Universidad de Montreal (UMTT) (Lèger & Boucher, 1980) ha constituido una forma excelente para determinar las posibilidades de un deportista en disciplinas de potencia aeróbica (Lacour, Montmayeur, Dormois, Gaçon, Padilla, & Viale, 1989; Lacour, *et al.*, 1991; Cazorla, 1988; Montmayeur & Villaret, 1990; Berthoin, Jacquet, Lefranc, Lapp, Baquet, & Gerbeaux, 1995).

Por tanto, en el patinaje de velocidad, dada la transcendencia de los factores biomecánicos, es muy probable que la VAM represente un mayor valor como factor determinante del rendimiento, frente a los parámetros fisiológicos clásicos como el VO_{2max} o el umbral anaeróbico.

Por consiguiente, el principal propósito del presente estudio será analizar la VAM y su relación con los otros factores fisiológicos responsables del rendimiento, en un grupo de patinadores de velocidad sobre ruedas y de alto nivel de competición.

El presente trabajo también pretende, por tanto, aportar una nueva herramienta para la valoración del rendimiento y para la prescripción del entrenamiento en el Patinaje de Velocidad sobre ruedas, facilitando el proceso de periodización, planificación, desarrollo, seguimiento y control del entrenamiento a los entrenadores y patinadores.

1.1. El Patinaje de Velocidad.

Para poder desarrollar este estudio es importante analizar algunos de los aspectos generales, tanto del Patinaje de Velocidad sobre hielo como sobre ruedas. El patinaje de velocidad, independientemente de la superficie sobre la que se desarrolle, se puede definir como un deporte cíclico de resistencia como consecuencia del modelo de ejecución y del tipo de competiciones que se realizan y de la duración de las mismas.

Se trata de un deporte donde el entrenamiento tiene como objetivo desarrollar e incrementar la condición física, y mejorar el nivel técnico y táctico.

Dicha mejora se orientará a:

- Economizar gasto energético
- Maximizar efectividad y funcionalidad de las fuerzas empleadas
- Evitar tensiones musculares innecesarias
- Disminuir en lo posible el rozamiento de las ruedas o cuchilla.
- Aplicar las fuerzas en la dirección y el momento adecuado.

El patinaje de velocidad sobre hielo es un deporte olímpico con dos formatos de competición diferentes, *la pista clásica o long track* y *la pista corta o short track*, ambos regulados por la ISU.

Su modalidad más popular y antigua es el *long track o pista clásica*, que consiste en carreras de varias distancias sobre una pista de hielo con forma de óvalo y en la que los competidores van provistos de patines con cuchillas de acero. Es, por otra parte, el primer deporte que se practicó sobre el hielo, y el país donde presentó mayor auge fue Holanda, debido fundamentalmente a que este país cuenta con multitud de canales que se congelan por el invierno facilitando su práctica en cualquier lugar; y siendo aún hoy en día una de las grandes potencias en este deporte. Los primeros campeonatos del mundo de *long track* se celebraron en 1889 y el patinaje de velocidad ya fue incluido en el programa de los primeros Juegos Olímpicos de Invierno de Chamonix 1924.

Las carreras en *long track* se disputan en una pista de 400 m de longitud, similar a una pista de atletismo, con dos rectas y dos curvas simétricas. Los participantes compiten de dos en dos, contra el reloj, cronometrándose el tiempo que tarda cada uno en recorrer la distancia de que se trate. Cuando todos los participantes hayan finalizado su recorrido gana el que haya hecho el mejor tiempo (I.S.U. 2013). Una de las características de estas carreras es que en cada vuelta los dos participantes deben intercambiar la calle por la que circulan, de manera que el que va por la calle interior debe pasar a la exterior y *viceversa*. Así se consigue que ambos recorran la misma distancia en el mismo número de vueltas. La calle interior y la exterior están separadas por pequeños conos, excepto en la zona donde debe hacerse el intercambio.

El *short track* es un deporte bastante reciente que nació como una escisión del patinaje de velocidad en *pista clásica*. Fue reconocido por la Federación Internacional de Patinaje en 1967. Los primeros campeonatos del mundo datan de 1981 y su primera presencia olímpica llegó en Calgary 1988, aunque solo como deporte de exhibición. En los siguientes Juegos Olímpicos de Albertville 1992 ya fue reconocido como deporte olímpico de pleno derecho.

A diferencia del patinaje de velocidad en *pista clásica*, donde se compete contra el reloj, en el patinaje de velocidad en *pista corta o short track* los patinadores compiten entre sí y en una pista mucho más corta. El óvalo de la pista de *short track* mide únicamente 111 metros (frente a los 400 m de *long track*) y no existe división en calles. Además las carreras se realizan con varios corredores provocando frecuentes accidentes durante las carreras, siendo habitual las caídas y las descalificaciones.

Es importante destacar que el término patinaje de velocidad es referido habitualmente al patinaje de velocidad sobre hielo y concretamente a su modalidad de *pista clásica o long track*.

A continuación se presenta un modelo de clasificación de las pruebas en el Patinaje de Velocidad sobre Hielo:

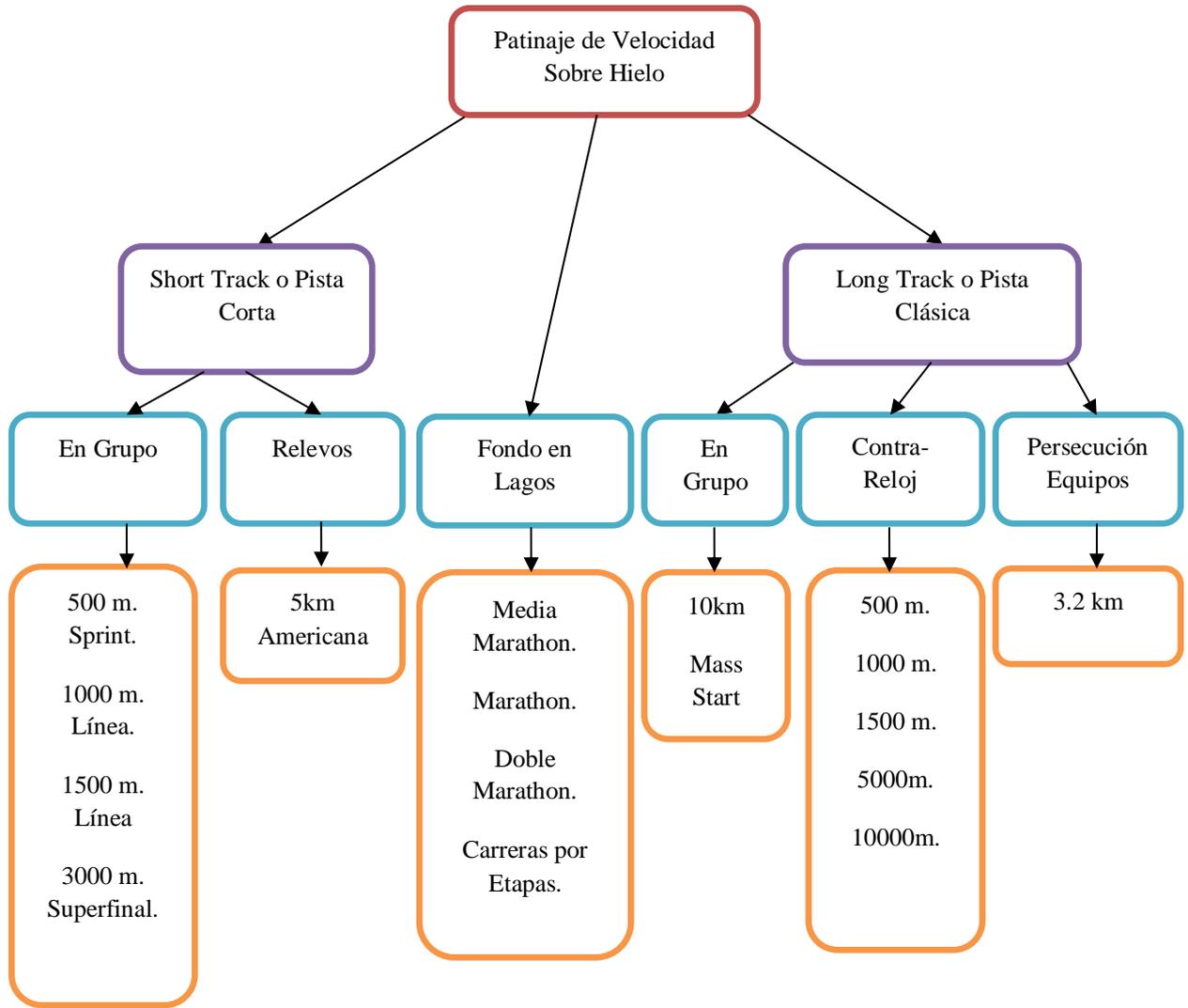


Fig. 1.1.1. Clasificación de pruebas en el patinaje de velocidad sobre hielo.

A continuación se presentan las tablas de los records mundiales de *Long Track* con el fin de comprender la bioenergética temporal requerida en esta disciplina:

Tab. 1.1.1. Records Mundiales en Long Track categoría Masculina.

<i>Patinador</i>	<i>País</i>	<i>Distancia (m)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Fecha</i>	<i>Lugar</i>
<i>J. Wotherspoon</i>	Canada	500	34.03 s	09/11/07	Salt Lake City, USA
<i>J. Wotherspoon</i>	Canada	2x500	1:08.17 min	09- 11/11/07	Salt Lake City, USA
<i>S. Davis</i>	USA	1.000	1:06.42 min	07/03/09	Salt Lake City, USA
<i>S. Davis</i>	USA	1.500	1:41.04 min	11/12/09	Salt Lake City, USA
<i>E. Ervik</i>	Norway	3.000	3:37.28 min	05/11/05	Calgary
<i>S. Kramer</i>	Netherlands	5.000	6:03.32 min	17/11/07	Calgary
<i>S. Kramer</i>	Netherlands	10.000	12:41.69 min	10/03/07	Salt Lake City, USA

Tab. 1.1.2. Records Mundiales en Long Track categoría Femenina.

<i>Patinador</i>	<i>País</i>	<i>Distancia (m)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Fecha</i>	<i>Lugar</i>
<i>L. Sang-Hwa</i>	Korea	500	36.36 s	16/11/13	Calgary
<i>L. Sang-Hwa</i>	Korea	2x500	1:13.79 min	19- 20/01/13	Calgary
<i>B. Bowe</i>	USA	1.000	1:12.58 min	17/11/13	Salt Lake City, USA
<i>C. Klassen</i>	Canada	1.500	1:51.79 min	20/11/05	Salt Lake City, USA
<i>C. Klassen</i>	Canada	3.000	3:53.34 min	18/03/06	Calgary
<i>M. Sáblíková</i>	Czech Republic	5.000	6:42.66 min	18/02/11	Salt Lake City, USA
<i>M. Sáblíková</i>	Czech Republic	10.000	13:48.33 min	15/03/07	Calgary

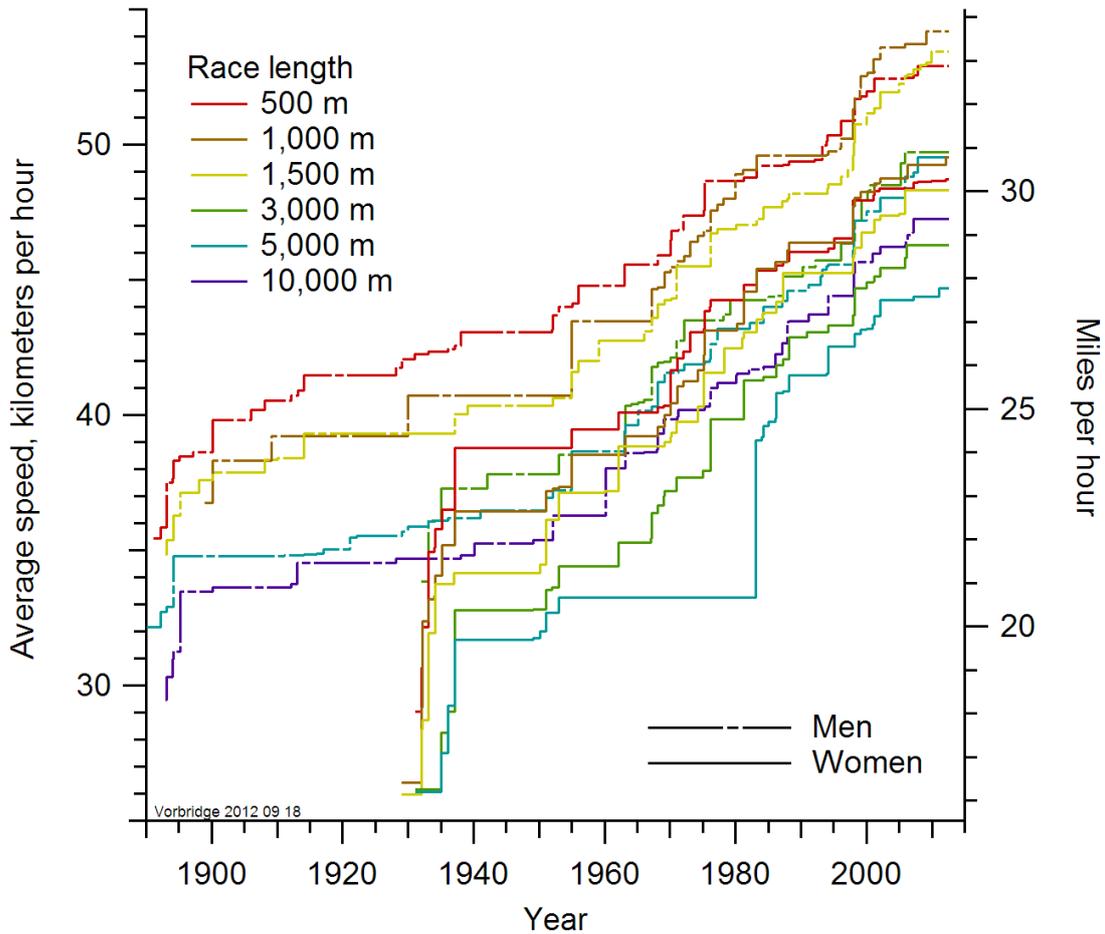


Fig. 1.1.2. Evolución de los Records Del Mundo en el Patinaje de Velocidad sobre hielo. Extraído de Vorbridge (2012).

El patinaje de velocidad sobre ruedas deriva de la misma disciplina sobre hielo, es una de las modalidades deportivas reconocidas por el Comité Olímpico Internacional y sus primeros Campeonatos del Mundo fueron celebrados en Monza en el año 1937. Por aquel entonces los patines utilizados eran de ejes y con las ruedas dispuestas en paralelo y no en línea como en la actualidad. Las competiciones se realizan con distancias que van de 200 metros a carreras en ruta de varias jornadas, siendo la Marathon (42.195 m) su prueba reina y hacia donde se ha profesionalizado este deporte por la versatilidad y facilidad de poder sacar este a la calle. Las carreras a su vez pueden desarrollarse contra-reloj, sprint, en línea, puntos, eliminación, combinada (puntos-eliminación), y por relevos. Por otra parte pueden ser realizadas en pista, en ruta, y/o en carretera abierta.

Seguidamente se presenta un modelo de clasificación de las pruebas en el Patinaje de Velocidad sobre Ruedas:

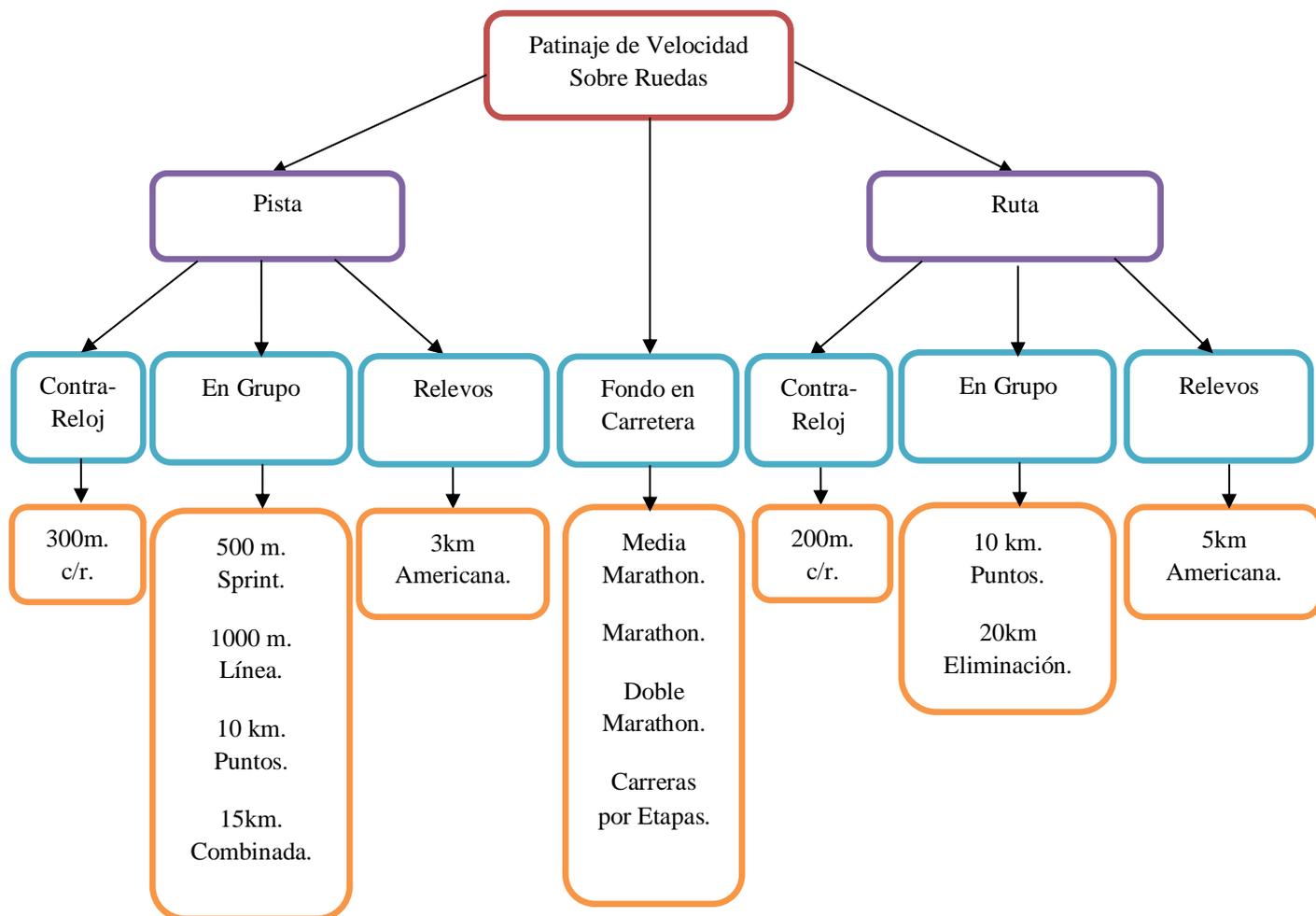


Fig. 1.1.3. Modelo de clasificación de pruebas en el patinaje de velocidad.

A continuación se presentan las tablas de records mundiales con el fin de comprender la bioenergética temporal requerida en esta disciplina:

Tab. 1.1.3. Records Mundiales en Ruta categoría masculina.

<i>Patinador</i>	<i>País</i>	<i>Distancia (m)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Fecha</i>	<i>Lugar</i>
<i>I.Fernandez</i>	Spain	200	15.879 s	12/09/12	San Benedetto, Italy
<i>J.Mantia</i>	USA	500	38.660 s	09/07/06	Anyang, Korea
<i>A.Gicquel</i>	France	5.000	6.43.90 min	07/30/ 03	Padova, Italy
<i>J.Mantia</i>	USA	10.000	13.46.801 min	09/06/ 06	Anyang, Korea
<i>J.Mantia</i>	USA	20.000	28.56.189 min	09/23/09	Haining, China
<i>R. Schneider</i>	Switzerland	42.195	58.17.4 min	08/02/03	Abano Terme, Italy

Tab. 1.1.4. Records Mundiales en Ruta categoría femenina.

<i>Patinador</i>	<i>País</i>	<i>Distancia (m)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Fecha</i>	<i>Lugar</i>
<i>J. Puello</i>	Colombia	200	17.677 s	27/08/13	Ostende, Netherlands
<i>J.Caceido</i>	Colombia	500	43.478 s	09/07/06	Anyang, Korea
<i>S. Di Eugenio</i>	Italy	5.000	7.40.53 min	07/30/03	Padova, Italy
<i>S. Posada</i>	Argentina	10.000	15:25.164 min	09/06/06	Anyang, Korea
<i>Lee, Seul</i>	Korea	20.000	31.58.007min	09/09/ 08	Gijon, Spain
<i>A. Susmeli</i>	Italy	42.195	1.10.431 h	08/02/03	Abano Terme, Italy

Tab. 1.1.5. Records Mundiales en Pista categoría masculina.

<i>Patinador</i>	<i>País</i>	<i>Distancia (m)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Fecha</i>	<i>Lugar</i>
<i>A. Munoz</i>	Colombia	300	23.896 s	08/23/13	Ostende, Bélgica
<i>W. Lo</i>	China Taipei	500	40.114 s	08/24/13	Ostende, Bélgica
<i>B. Swings</i>	Bélgica	1.000	1:20.923 min	08/25/13	Ostende, Bélgica
<i>F. Francolini</i>	Italia	10.000	14.23.546 min	08/23/13	Ostende, Bélgica
<i>P. Michael</i>	N.Zealand	15.000	22.02.458 min	08/25/13	Ostende, Bélgica

Tab. 1.1.6. Records Mundiales en Pista categoría femenina.

<i>Patinador</i>	<i>País</i>	<i>Distancia (m)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Fecha</i>	<i>Lugar</i>
<i>J. Puello</i>	Colombia	300	25.993 s	08/23/13	Ostende, Bélgica
<i>P. Segura</i>	Colombia	500	43.586 s	08/25/13	Ostende, Bélgica
<i>B. Fischer</i>	Germany	1.000	1:27.060 min	08/27/88	Inzell, Germany
<i>H. Yang</i>	China Taipei	10.000	15:26.970 min	08/24/13	Ostende, Bélgica
<i>L. Lardani</i>	Italy	15.000	23.47.549 min	09/19/09	Haining, China

Seguidamente nos adentraremos en un estudio más profundo del patinaje de velocidad desde distintas perspectivas a tener en cuenta para el análisis del rendimiento en este deporte: la biomecánica, la fisiología y la valoración funcional aplicadas al rendimiento.

1.2. La Biomecánica aplicada al Patinaje de Velocidad.

Al abordar un trabajo donde la especificidad de la actividad física estudiada es indiscutible nos vemos en la obligación de buscar y encontrar todo aquello que hay escrito desde una perspectiva científica. Dicha búsqueda ha permitido observar que la base más amplia del conocimiento científico en el patinaje de velocidad se encuentra en aquellos trabajos enfocados hacia un estudio de la biomecánica. Muchos de estos trabajos estudian los parámetros fisiológicos del patinaje de velocidad realizando una integración de los mismos con la biomecánica. Por todo ello, consideramos importante incluir todo aquel conocimiento científico referente al patinaje de velocidad en este trabajo, y por lo cual, finalmente, también añadimos una revisión exhaustiva de los estudios centrados en la biomecánica.

La biomecánica y más concretamente la técnica de deslizamiento es importante desde el punto de vista de la eficiencia mecánica de los sujetos y el aprovechamiento que estos realizan de la potencia externa generada y del gasto energético en esta disciplina.

En este apartado se definirá y fundamentará la biomecánica en el patinaje de velocidad abordando inicialmente la técnica en el patinaje de velocidad sobre hielo, debido a que es en esta disciplina donde residen la mayor parte de los estudios de investigación, analizando la técnica en recta y la técnica en curva.

Seguidamente nos aproximaremos a la técnica en el patinaje sobre ruedas a través de la revisión de la literatura científica.

1.2.1. Análisis de la técnica en el Patinaje de Velocidad sobre Hielo.

El patinaje es una modalidad deportiva de tipo cíclica en la que el propio cuerpo es el motor y el transmisor del movimiento. Si a este hecho le añadimos que el medio mecánico, el patín, obliga a realizar un movimiento antinatural, podemos comprender que solo desarrollando una técnica eficiente se podrá optimizar la capacidad condicional y convertirla en movimiento eficaz.

Desde el punto de vista cinemático, la habilidad del patinaje puede ser considerada continua, ya que está compuesta por ciclos repetidos de un mismo patrón de movimientos. Dentro del patrón general de movimiento, el patinaje es una habilidad que, ejecutada en una manera particular, forma una técnica y esta, a su vez, puede sufrir cambios de acuerdo a parámetros condicionales y coordinativos del patinador, lo que define un estilo de ejecución.

Como limitación humana podemos incluir la talla, la fuerza muscular, la potencia, la resistencia, la flexibilidad. Estos parámetros se van modificando constantemente en la evolución de los deportistas desde que inicia la actividad siendo niño, hasta el más alto nivel alcanzado.

El estudio de la técnica, y los factores que afectan a la misma, es algo que ha tenido gran protagonismo en la literatura científica del patinaje de velocidad, con estudios pioneros como los de di Prampero, *et al.*, (1976).

Después de él han sido muchos los autores que han centrado sus trabajos en el patinaje de velocidad y en concreto, hacia el estudio de la técnica a partir del análisis cinemático (Van Ingen Schenau, 1982; Van Ingen Schenau, *et al.*, 1983; Van Ingen Schenau *et al.*, 1985; Van Ingen Schenau, *et al.*, 1987; de Boer, Cabri, *et al.*, 1987; de Boer, *et al.*, 1989; de Koning, *et al.*, 1987; de Koning, *et al.*, 2000; Kandow, *et al.*, 1987; Voronov, Lavrozsky, & Zatsiorsky, 1995; Allinger & Van Den Bogert, 1997; Rundell, Nioka, & Chance, 1997; Houdijk, Heijnsdijk, de Koning, de Groot, Bobbert, 2000; Houdijk, de Koning, *et al.*, 2000; Bobbert, Houdijk, de Koning & de Groot, 2002; Houdijk, Bobbert, de Koning, & de Groot, 2003; Van Horne & Stefanyshyn, 2005; Fintelman, den Braver, & Schwab, 2011; Noordhof, Foster, Hoozemans, & de Koning, 2013; 2014; Formenti, 2014).

El estudio de la técnica desde la perspectiva de los patrones de activación y coordinación muscular a partir de análisis electromiográfico también ha sido una línea seguida por numerosos autores (de Boer, Cabri, *et al.*, 1987; de Koning, *et al.*, 1987 & 1991; Bobbert, *et al.*, 2002).

Los trabajos centrados en la pérdida de la energía desarrollada por el patinador han constituido otro ámbito de estudio para los investigadores en este deporte. Esta pérdida se ha analizado principalmente en relación a dos factores: el primero, debido a la resistencia del aire asociado a una estructura corporal y una buena posición básica de ejecución de la técnica, y el mantenimiento de la misma (di Prampero, Cortili, Mognoni, & Saibene, 1976; Van Ingen Schenau, 1982); el segundo, debido al rozamiento entre el patín y la superficie sobre la que se patina (di Prampero, *et al.*, 1976; Van Ingen Schenau, 1982; de Boer, Vos, *et al.*, 1987; de Koning, de Groot, & Van Ingen Schenau, 1992; Houdijk, Wijker, de Koning, Bobbert, & de Groot, 2001). Asimismo, y en relación a la resistencia al aire, el efecto del *Rebufo*, o *Drafting*, ha sido también analizado dentro del patinaje de velocidad sobre ruedas donde, al contrario que en el hielo, las carreras se hacen en grupo y las tácticas de *Drafting*, igual que en ciclismo, son fundamentales para la economía del gasto energético (Millet *et al.*, 2003; Egocheaga, Llavador, Díaz-Munío, Del Valle, Egia, & Díaz, 2004; Krieg, *et al.*, 2006).

Todos estos estudios confluyen en el objetivo de llegar a describir un modelo de flujo energético y potencia, y han sido muchos los análisis que han intentado determinar dicho modelo cerrado (Van Ingen Schenau, 1982; Van Ingen Schenau, *et al.*, 1987; Voronov, *et al.*, 1995; Allinger & Van Den Bogert, 1997; Fintelman, *et al.*, 2011). Estos modelos son referidos al patinaje de velocidad sobre hielo en su totalidad. Uno de los más utilizados aún hoy en día, por la sencillez de los cálculos y la recogida de los datos, es el de Van Ingen Schenau, *et al.*, (1987). Naturalmente existen actualmente modelos más precisos aunque bastante más complejos para los entrenadores; y por otra parte, todos ellos derivan del original de Van Ingen Schenau, (1982). A continuación explicamos brevemente en qué consiste:

Cuando estudiamos la biomecánica y la energética de una actividad de resistencia como el patinaje de velocidad, parece lógico hacerlo desde un acercamiento a una relación *causa-efecto* entre la liberación de energía metabólica

(E) y el destino último de la potencia mecánica externa. Si entendemos la figura del patinador como un diagrama corporal libre, esta potencia externa (P_0) es definida como la suma del ratio de trabajo realizado contra las fuerzas externas y los incrementos del estado de energía del patinador. Las fuerzas externas son la resistencia al aire, la resistencia al hielo, la gravedad y la fuerza de empuje en el hielo, perpendicular a la dirección de deslizamiento del patín (Fig. 1.2.1.1.)

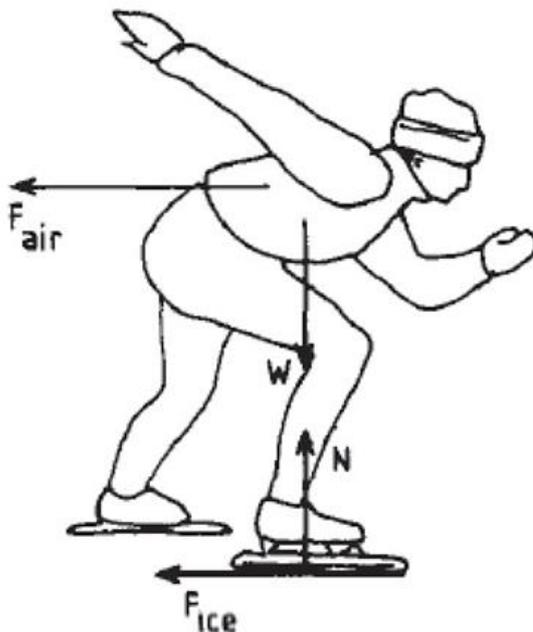


Fig. 1.2.1.1. Esquema de las fuerzas externas que actúan sobre el patinador de velocidad en el avance. Extraído de de Koning, et al., (1992).

Si tenemos en cuenta a la velocidad y la energía potencial (y sin que las direcciones y tiempos del apoyo tenga un cambio significativo en la media de potencia externalizada), este flujo energético podría resumirse en las siguientes ecuaciones (Van Ingen Schenau, et al., 1987):

$$E e_m = P_0 \text{ y } P_0 = P_f + m v a$$

Donde e_m es la eficiencia mecánica, P_f es la potencia perdida resultante de la resistencia al aire y a la fricción de la superficie sobre la que se patina, m la masa del patinador, v la velocidad, y a la aceleración (v y a como medidas medias por apoyo).

Un patinador determinado con una técnica y una condición física propias resultaría en un P_0 más o menos constante para una distancia determinada, y la

ecuación presentada es una herramienta de enorme utilidad para predecir las influencias de la posición básica de la técnica (Fig. 1.2.1.2.), altitud, composición corporal, indumentaria o material en los tiempos finales. Naturalmente estas predicciones solo serán posibles si se conocen las pérdidas de energía como consecuencia de la resistencia al aire y a la superficie sobre la que se patina.

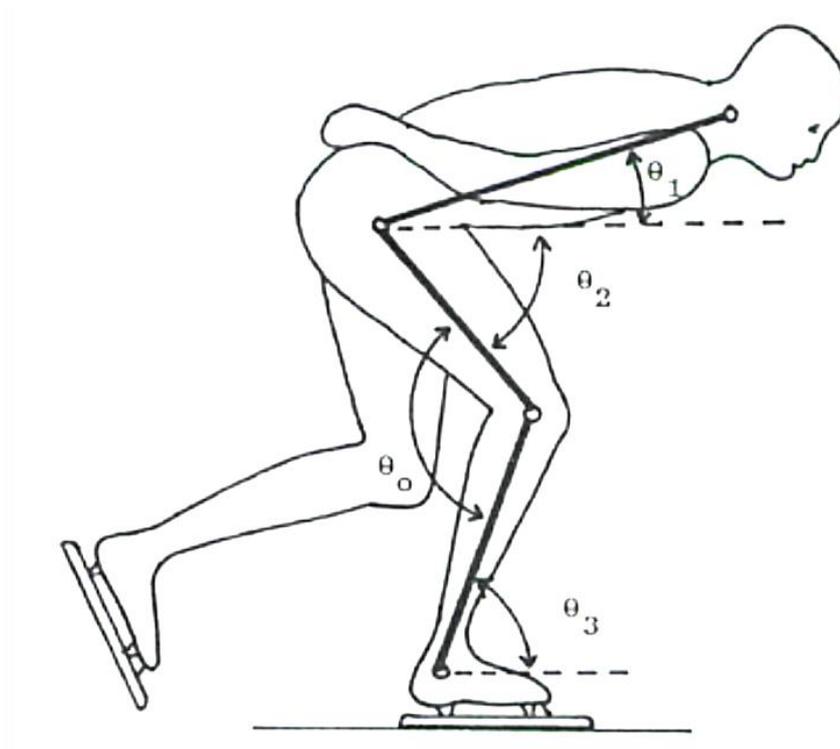


Fig. 1.2.1.2. Ángulos que definen la posición de un patinador de velocidad en la técnica de deslizamiento. El ángulo de rodilla $\theta_0 (= \theta_2 + \theta_3)$ es determinado principalmente por la posición θ_2 de la parte alta de la pierna. Extraído de Van Ingen Schenau, et al., (1987).

1.2.2. Fundamentación Teórica y Análisis Biomecánico Básico de la Técnica de Patinaje de Velocidad sobre hielo en Recta.

El patinaje requiere una combinación de potencia metabólica, fuerza muscular y técnica para alcanzar las velocidades máximas. Si la velocidad de patinaje es limitada por la potencia metabólica o la fuerza muscular, cabe pensar que, el entrenamiento debería enfocarse a mejorar esos factores para permitir al patinador patinar más rápido. Sin embargo, el patinaje de velocidad también depende de la técnica de patinaje, que incluye, por ejemplo, tiempos de empuje, tiempos de deslizamiento, velocidad de empuje, dirección de empuje, o ángulo de pre-extensión de la rodilla. Un cambio positivo en estas variables resultaría en una mejora del rendimiento de un atleta de manera inmediata.

El movimiento de una pierna durante el patinaje puede ser dividido en 3 fases: *deslizamiento*, *empuje* y *recuperación*. Durante la *fase de deslizamiento* el cuerpo se sostiene sobre una pierna en una constante y profunda flexión. La *fase de empuje* comienza con el inicio de la extensión de la pierna y finaliza cerca de la extensión completa de la pierna cuando la cuchilla o las ruedas abandonan la superficie sobre la que se patina. En ese momento, se inicia la *fase de recuperación* al tiempo que la pierna contraria comienza la fase de deslizamiento completando el ciclo. Durante un ciclo completo existe un momento de doble soporte en el que ambas piernas sostienen el peso del cuerpo, cuando una pierna está en la parte final de la fase de empuje y la otra en la inicial de deslizamiento. Durante este intervalo de tiempo el peso del cuerpo se transfiere desde el patín de empuje al patín de deslizamiento. Un *stroke* constituiría la fase de deslizamiento y empuje de una pierna; nosotros lo enunciaremos como *apoyo*.

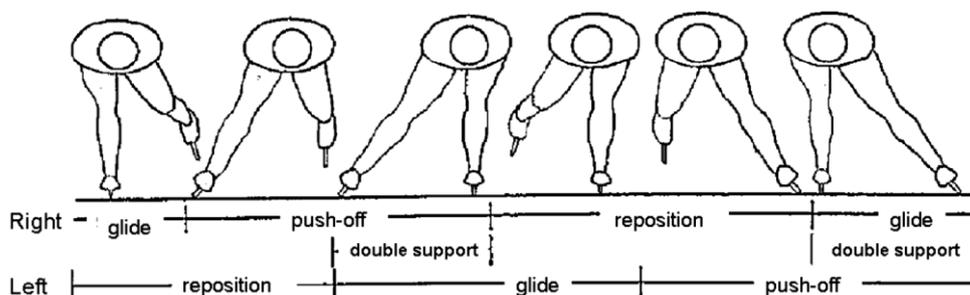


Fig. 1.2.2.1. Fases de la Técnica en el Patinaje de Velocidad en recta. Vista Plano Frontal. Extraído de Fintelman, et al., (2011).

La técnica ideal para el patinaje de velocidad consiste, desde un punto de vista biomecánico, en mantener un ángulo de tronco pequeño para reducir la resistencia al aire (Van Ingen Schenau, 1982); deslizar con un ángulo entre 90° y 110° en la articulación de la rodilla (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1985; de Boer, Schermerhorn, Gademan, de Groot, & Van Ingen Schenau, 1986); mantener la pierna completamente extendida durante la fase de empuje (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1987); empujar perpendicularmente a la dirección de deslizamiento del patín (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1987), y alrededor de un 80 % de tiempo de deslizamiento por cada *apoyo* (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1987). Se ha identificado que el trabajo producido por un patinador en cada *apoyo* es el factor técnico más importante en el patinaje de velocidad, y está asociado con los patinadores más rápidos. Algunos estudios han encontrado que el trabajo desarrollado por cada apoyo es guiado por la velocidad de extensión de las articulaciones de cadera y de rodilla, el ángulo de preextensión de rodilla, y el ángulo entre la superficie sobre la que se patina y la pierna de empuje al final de la fase de empuje (de Boer, *et al.*, 1986; de Boer, *et al.*, 1989; Van Ingen Schenau, *et al.*, 1985).

La técnica ideal en el patinaje de velocidad ha sido desarrollada durante muchos años por ensayo-error, así como por la mímica autoimpuesta en los entrenamientos de aquellos patinadores más lentos copiando a los más rápidos. Aunque los datos empíricos nos pueden indicar las técnicas usadas por los patinadores más rápidos, los mismos datos nos podrían señalar que dichas técnicas no serían las más provechosas; además, para un mismo atleta, podríamos encontrar varias técnicas óptimas. Se sabe que los patinadores procedentes de un país utilizan técnicas diferentes respecto a aquellas utilizadas por los deportistas de otros países (de Boer *et al.*, 1989). Desde el momento en que patinadores han ganado medallas internacionales con diferentes técnicas, el concepto de *la técnica más rápida* es, cuando menos, discutible, y es posible que tengamos que plantearnos *la técnica más adecuada a nuestro patinador*.

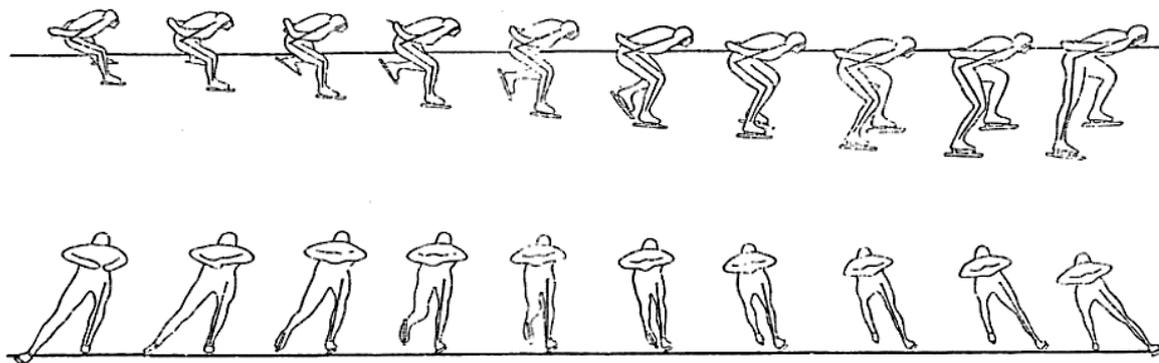


Fig. 1.2.2.2. Fases de la Técnica en el Patinaje de Velocidad en Recta. Vista Plano Frontal. Extraído de de Boer, et al., (1989).

La técnica de patinaje difiere considerablemente de otros tipos de locomoción utilizados por la especie humana. Incluso cuando lo comparamos con el ciclismo, la carrera o el ski cross-country, en donde las extremidades inferiores son también las protagonistas de la propulsión, pueden observarse diferencias esenciales. Una de las más notables es la dirección de la impulsión.

El patinaje de velocidad es posible debido a las peculiaridades del material y las superficies sobre las que se desarrolla y se adapta. Los coeficientes de fricción entre el hielo y la cuchilla, o bien entre asfalto, cemento (u otras superficies) y las ruedas (fabricadas en poliuretanos derivados, y con 110 mm de diámetro y 20 a 24 mm de perfil), son extremadamente bajos, incluso comparados con los de una bicicleta de carretera (de Boer, Vos, et al., 1987). Esto permite un modo de propulsión efectivo, aunque antinatural; es lo que llamamos la *Técnica de Patinaje* o *Técnica de Deslizamiento*. Este último término ha caído en desuso por la redundancia de la palabra deslizamiento al segmentar la técnica en fases. El elemento básico de la *técnica de deslizamiento* se relaciona con un empuje realizado contra el hielo, asfalto, cemento o la superficie sobre la que se patine, mientras existe un deslizamiento hacia delante. Esto solo es posible en una dirección integrada en un plano y en los ángulos correctos de la dirección de deslizamiento del patín. Este plano x-z podemos verlo en la Fig. 1.2.2.3.

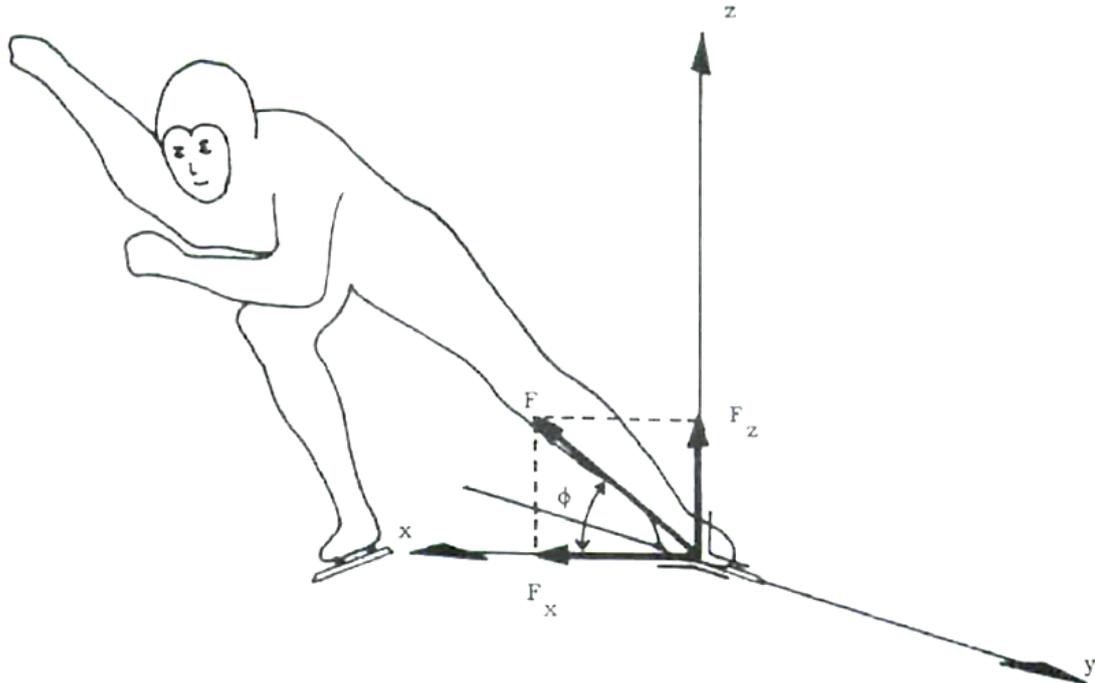


Fig. 1.2.2.3. Fase de Empuje. Vista Plano X-Z. Extraído de Van Ingen Schenau, et al., (1987).

La razón por la cual los patinadores están forzados a empujar mientras se deslizan hacia delante es que su velocidad es más alta que las diferencias de máxima velocidad (horizontal) que pueden ser alcanzadas entre la articulación de la cadera y el patín. Esta máxima diferencia se estima en una magnitud de $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Djatschkow, 1977). A parte de esto, y sin tener en cuenta la salida y el inicio de la marcha, es esencialmente imposible empujar contra una localización fija en el hielo. A pesar de la trayectoria sinuosa que realiza el patinador con una amplitud de entre 0.25 m y 0.50 m a causa del empuje perpendicular a la dirección de deslizamiento, la técnica de deslizamiento permite a los patinadores de hielo alcanzar velocidades superiores a $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; y en el caso de un patinador de ruedas, superiores a los $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

La finalización del empuje ha sido un tema de controversia y que ha evolucionado mucho debido a la tecnología permitida por los patines de hielo con sistemas *Klap*, y los de ruedas con botas más bajas que las antiguas, más largos en longitud y ruedas de menor diámetro, pero con los apoyos de igual longitud y con menor superficie de rozamiento. Así, antiguamente, la finalización del empuje se daba con un ángulo en la articulación de la rodilla de 30° finalizando la extensión de la misma en el aire; actualmente, la extensión total se realiza con el patín en apoyo y en ese mismo instante el patín se despegaba de la superficie sobre la que patina y se

inicia la fase de recuperación. Partiendo de la base de que el apoyo representa el 80 % del tiempo total de la técnica desarrollada por cada pierna, parece claro que la fase de empuje ha de realizarse con una extensión de rodilla de máxima explosividad. Se ha calculado una media moderada de potencia externalizada medida de entre 300-400 w, con un valor pico de potencia instantánea en el empuje que alcanza valores de 2000 w, la cual resulta entre 3 y 4 veces mayor que en un trabajo equivalente patinando. Estos valores han sido calculados de acuerdo a los modelos de potencia y flujo energético de Van Ingen Schenau, *et al.*, (1987).

Si tenemos en cuenta que una gran parte del trabajo en cada apoyo proviene de los extensores de cadera y de rodilla, uno puede fácilmente comprender por qué un pequeño ángulo θ_0 , y más aún una pequeña posición del ángulo θ_2 de la parte alta de la pierna, es un aspecto técnico importante del patinaje de velocidad (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1983).

Otro factor técnico que correlaciona significativamente con el rendimiento se refiere a la dirección de las fuerzas de empuje en los planos x - z (Fig.1.2.2.3.). Cuanto más horizontal sea dirigida la fuerza durante la fase de empuje, más efectivo es el empuje resultante; por tanto, solo el componente horizontal F_x de F contribuye al incremento de velocidad. Este incremento de velocidad se visualiza en la Fig. 1.2.2.4.

Si tomamos una velocidad previa a la fase de empuje V_1 el efecto del empuje es un incremento de velocidad V_2 del centro de gravedad del patinador, relativo al patín de empuje. Este vector de velocidad V_2 reposa aproximadamente en los ángulos correctos para la dirección V_1 . Expresado en trabajo por apoyo A , el efecto del empuje es un incremento de la energía cinética $A = \frac{1}{2} m v^2$. Este incremento de la energía cinética depende del componente horizontal F_x de la fuerza de empuje F , y como consecuencia en la magnitud de F y en ϕ , el ángulo entre la dirección de F y la horizontal (Fig. 1.2.2.3.). Sorprendentemente, de Koning, *et al.*, (1987) mostraron que la magnitud de F no es un buen predictor para el rendimiento en el patinaje de velocidad. Como se ha comprobado en chicas (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1985) y también en chicos (de Boer, 1986), la dirección de empuje parece ser uno de los factores más importantes del patinaje de velocidad.

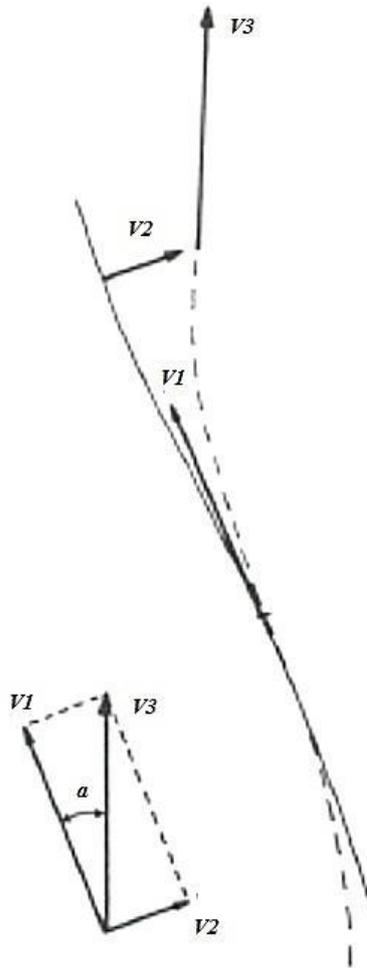


Fig. 1.2.2.4. Línea Continua V_1 Velocidad Inicial. Línea Continua V_2 Incremento y Dirección de Empuje perpendicular a la dirección de deslizamiento. Línea Continua V_3 Velocidad Resultante. α Debido a los empujes lateralizados, la resultante del empuje no es solo un incremento de la energía cinética sino una cambio de dirección del centro de gravedad o centro de masas. Extraído de Van Ingen Schenau, et al. (1987).

En estudios muy recientes (Noordhof, et al., 2013; 2014; Zuiker, 2014) se han constatado los factores, ya revisados, determinantes de una técnica eficaz y eficiente. A ellos sumaron la estrecha correlación entre el ángulo de la pierna que realiza el empuje respecto a la horizontal sobre la que se patina (e) (ángulo de efectividad) y la velocidad en tiempos por vuelta en la prueba de 5000m (Fig. 1.2.2.5.). En esa misma línea de trabajo también estudiaron los ángulos de preextensión de rodilla θ_0 y cadera θ_1 aunque en este caso sin encontrar relaciones tan estrechas ni cambios en los incrementos significativos en las distintas fases de la prueba (Fig. 1.2.2.5.). Si además tenemos en cuenta que la pérdida de velocidad estaba asociada a los aumentos en la resistencia del aire y de la superficie sobre la que se patina, y que esta última se

mantiene constante y en la primera no han encontrado cambios en los valores que registraron a lo largo de la prueba; pudieron concluir que los cambios de velocidad a lo largo de la prueba desde un punto de vista cinemático son debidos a un cambio en la eficacia del empuje que pierde horizontalidad y gana verticalidad con el paso de las vueltas (Noordhof, *et al.*, 2013; 2014).

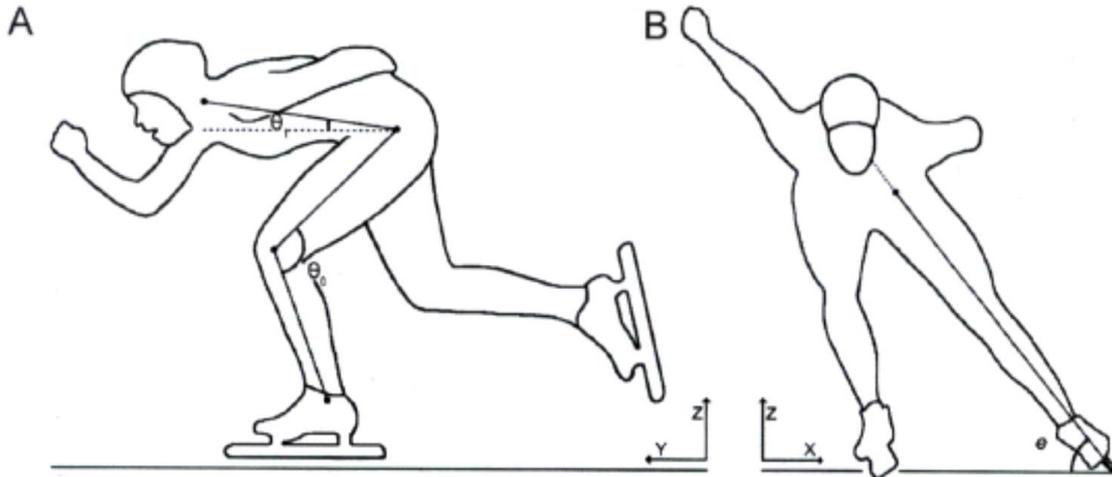


Fig. 1.2.2.5. A, Ángulo de preextensión de rodilla θ_0 y de tronco θ_1 en el plano y-z. B, Ángulo de efectividad (e) en el plano x-z. Extraído de Noordhof, *et al.*, (2013).

1.2.3. Fundamentación Teórica y Análisis Biomecánico Básico de la Técnica de Patinaje de Velocidad en Curva.

Una de las peculiaridades resultantes de la técnica en el patinaje de velocidad es la trayectoria sinuosa que los patinadores están obligados a mantener durante las rectas en los ovals de 200 y 400 m. Aproximadamente el 44 % de esas distancias corresponden a ambas curvas. Se ha demostrado que el empuje lateralizado es también responsable de una importante parte de la técnica en curva (de Boer, Vos, *et al.*, 1987).

En muchas de las actividades en dónde un empuje hacia atrás es posible, como el caso de la carrera o el ciclismo, la fuerza centrípeta necesaria para describir la curva es desarrollada por la fuerza de rozamiento entre el pie (o el neumático) y el suelo. Desde el instante en que dicha fuerza se aplica con la angulación correcta respecto a la dirección de la fuerza de propulsión y la velocidad del atleta, ningún trabajo será resultante de la fuerza centrípeta. La fuerza centrípeta solo contribuye al cambio de trayectoria, no a la generación de aceleración tangencial a la curva, es decir, que parte de la fuerza aplicada se consumirá en cambiar la trayectoria, por lo que la componente tangencial será menor y no contribuirá a la velocidad angular.



Fig. 1.2.3.1. Secuencia de acción del patinador en la curva. Extraído de de Koning, et al., (1991).

Básicamente un patinador también puede crear una fuerza centrípeta mediante el apoyo en curva; en ese caso, sin embargo, no podrá realizar ningún empuje durante la curva, y solo podrá realizar empujes en dirección perpendicular a la dirección de deslizamiento. La necesidad de empujar, entregar y externalizar la energía se consigue, en la práctica, realizando apoyos rectos en las curvas, y mediante el uso del cambio de la dirección “ α ” (Fig.1.2.2.4.), que es el resultado de un empuje, en consonancia con seguir la curvatura de la línea. La necesidad de crear fuerza centrípeta es satisfecha por la misma fuerza, que además es responsable de la propulsión. Desde un punto de vista geométrico, se podría decir que la única diferencia entre el patinaje en la curva y en las rectas es que durante las curvas los patinadores empujan su cuerpo únicamente hacia el lado del interior de la curva, mientras que patinando en recta empujan alternativamente a ambos lados (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1987).

Este fenómeno peculiar será el que fundamente un modelo que predice la frecuencia de apoyos y la potencia externa en las bases de las variables geométricas (de Boer, Vos, *et al.*, 1987): asumiendo que v_1 es la media de velocidad del patinador, v_2 el resultado del empuje (Fig.1.2.2.4.), R el radio de la curva, f la frecuencia de los apoyos, y T ($= f^{-1}$) el tiempo de apoyo en las curvas. En una primera aproximación, el cambio de dirección “ α ” del centro de gravedad como resultado de empuje equivale a,

$$\alpha = v_2 / v_1$$

Durante la curva, el cambio total de dirección es equivalente a π . Así, al patinador se le permiten $n = \pi / (v_1 / v_2)$ apoyos durante la curva. La longitud de la curva es igual a $R\pi = n T v_1$. La eliminación de n resulta

$$v_2 f = v_1^2 / R$$

que es aproximadamente igual a la media de la aceleración centrípeta (v_2 / T) necesaria para seguir la curva. Con $P_c = A f$ y $A = 1 / 2 m v_2^2$, la ecuación “ $v_2 f = v_1^2 / R$ ” podría extenderse a

$$P_c = 1 / 2 m v_1^2 v_2 / R$$

Se ha demostrado (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1985) que los patinadores controlan su potencia externa mediante la frecuencia de los apoyos, mientras que la cantidad de trabajo realizado en cada apoyo es más o menos constante. A partir de esta premisa las implicaciones prácticas de las dos últimas ecuaciones presentadas se explicarían como sigue:

Si un patinador con un determinado nivel (con un A fijo y determinado y por tanto un v_2 fijo) quiere seguir el radio de la curva R con una velocidad v_I , está forzado a utilizar una frecuencia de apoyo de acuerdo con la ecuación $v_2 f = v_I^2 / R$ y, consecuentemente, a liberar una cantidad de potencia externa de acuerdo a la ecuación $P_e = 1 / 2 m v_I^2 v_2 / R$. Con esto se concluye que la habilidad para patinar en curva depende de la capacidad que tenga el patinador de liberar grandes cantidades de trabajo por empuje; una segunda condición para patinar bien en las curvas sería la velocidad del patinador previa a la curva.

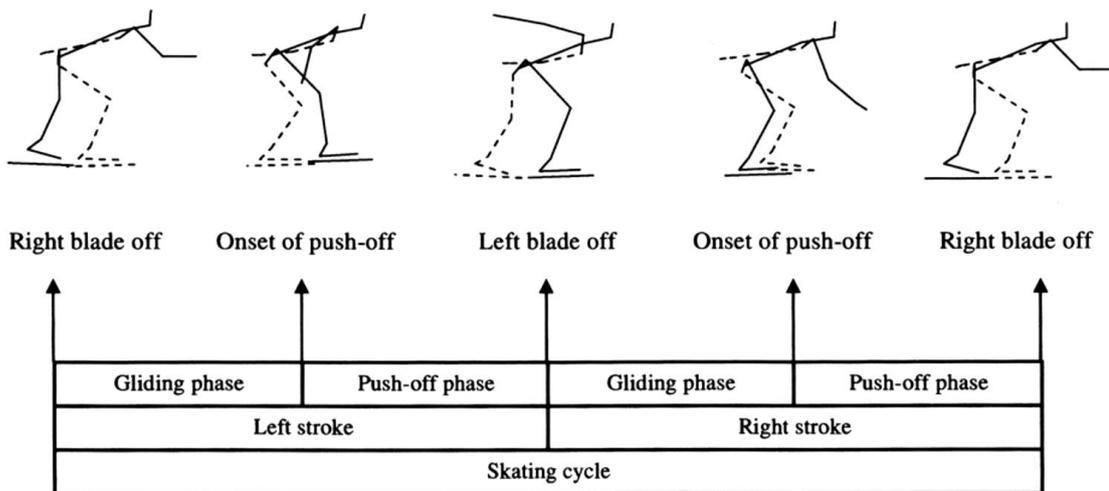


Fig. 1.2.3.2. Fases de un ciclo completo de curva. Extraído de Yuda, Yuki, Aoyanagi, Fujii, & Ae, (2007).

Las características del patinaje en curva explican por qué el rendimiento en el patinaje de velocidad correlaciona con la cantidad de trabajo por apoyo y con la frecuencia de los mismos (de Boer *et al.*, 1986; Van Ingen Schenau, *et al.*, 1987). La frecuencia de empuje en las curvas no es una variable independiente. Si un patinador utiliza una frecuencia de apoyos mayor o menor de lo obtenido por la ecuación $v_2 f = v_I^2 / R$, no seguirá el radio de curva y por tanto describirá una curvatura más corta o más larga.

Estudios recientes han evidenciado que la técnica de curva es uno de los parámetros biomecánicos que podrían tener un peso muy importante en el rendimiento del patinador de velocidad. La pérdida de ritmo en la segunda parte de las pruebas de 5000 y 10000m estaría asociada a un descenso en la frecuencia de apoyos en las curvas. Por otra parte, aquellos patinadores que pierden más ritmo en la segunda mitad de la prueba pasan a realizar más tiempo de deslizamiento que de empuje en cada apoyo (Yuda, *et al.*, 2007).

1.2.4. La Técnica Específica en el Patinaje de Velocidad sobre Ruedas.

Con anterioridad hemos presentado los fundamentos de la técnica del patinaje sobre hielo descritos en la literatura científica; como veremos, esta técnica es idéntica a la del patinaje de velocidad sobre ruedas, tanto respecto a su estructura general, como a los factores que la afectan.

No obstante, algunos estudios se han preocupado de comparar ambas técnicas y encontrar las diferencias mecánicas y energéticas resultantes de realizarla sobre una u otra superficie (de Boer, Vos, *et al.*, 1987; Rundell, 1996; Rundell *et al.*, 1997; Foster *et al.*, 1999).

No se han encontrado estudios en la literatura científica que realicen un análisis de la técnica desde un punto de vista cinemático o estructural en el patinaje de velocidad sobre ruedas. Sin embargo, algunos trabajos de entrenadores en publicaciones no científicas aportan un importante conocimiento al campo de estudio del patinaje sobre ruedas.

Según los estudios de de Boer, Vos, *et al.*, (1987), dónde se compararon ambas disciplinas mediante un test de idénticas características, se pueden establecer las siguientes diferencias destacables entre el patinaje de velocidad sobre ruedas y sobre hielo. Desde el punto de vista técnico y mecánico estas diferencias son las siguientes:

1. *El ángulo de la articulación de la rodilla en la fase de deslizamiento es menor patinando sobre hielo y, como consecuencia, la trayectoria de empuje también es mejor.*
2. *La velocidad de extensión de la articulación de la rodilla es mayor en el patinaje sobre hielo.*
3. *Los tiempos de deslizamiento son mayores para el patinaje sobre hielo.*
4. *Los apoyos son más cortos en el patinaje de velocidad sobre ruedas.*
5. *Las frecuencias de empuje por tanto son mayores en el patinaje sobre ruedas; en torno a 85-90 empujes por minutos para un 1500 m frente a los 80 del patinaje sobre hielo.*

- 6. Los ángulos de la articulación de la cadera son mayores en el patinaje sobre ruedas.*
- 7. La posición del tronco es más adelantada en el patinaje sobre ruedas.*
- 8. El centro de masas durante la técnica está más retrasado respecto al centro del patín en el patinaje sobre hielo.*
- 9. La resistencia al aire es menor en el patinaje sobre ruedas.*
- 10. La resistencia de la rodadura de las ruedas y la superficie es en torno al doble que con la cuchilla, y el hielo.*

1.3. Fisiología del Rendimiento en el Patinaje de Velocidad.

El patinaje de velocidad puede catalogarse como un deporte cíclico de resistencia cuyo rendimiento está condicionado por la ejecución técnica de un patrón de movimiento específico y estereotipado. Para que este movimiento se mantenga en el tiempo, requerirá unas demandas bioenergéticas y neuromusculares que constituyen la condición física del patinador y son determinantes para el rendimiento. Por consiguiente, antes del estudio práctico, será necesario conocer la situación actual derivada de la investigación sobre los parámetros fisiológicos que influyen en la resistencia y sobre el entrenamiento de la fuerza específica.

1.3.1. Morfología en el Patinaje de Velocidad.

Los aspectos y los factores morfológicos en el patinaje de velocidad han sido descritos de forma secundaria en numerosos estudios cuyo enfoque final estaba dirigido a la técnica o los aspectos fisiológicos cardiorrespiratorios o tradicionalmente más relacionados con el rendimiento en esta disciplina.

Las edades de los estudios que se pueden encontrar en la literatura científica van desde los 16 años (Van Ingen Schenau, Bakkwe, de Groot, & de Koning, 1992), 17-21 (de Koning, *et al.*, 1994), 18 (Rundell, 1996) 19,7 (Maksud, *et al.*, 1982) hasta estudios con muestras de 33 años de media (de Boer, Vos, *et al.*, 1987; Millet, *et al.*, 2003). Recientemente se han presentado estudios que han correlacionado la edad con el rendimiento en el patinaje de velocidad sobre ruedas (tiempo empleado en finalizar la carrera de mayor distancia disputada en Europa, OneEleven 111km) ($r = 0.30$, $P = 0.0056$) (Knechtle, Knechtle, Rüst, Senn, Rosemann, & Lepers, 2011; Teutsch, *et al.*, 2013).

Los trabajos que han estudiado la talla y el peso de los sujetos lo han hecho desde una perspectiva descriptiva sin buscar su relación con el rendimiento. Además las diferencias de talla en función de la raza (Cavelaars, 1998; Cavelaars, *et al.*, 2000) provocan unos rangos muy amplios y diferencias entre estudios según las procedencias de los patinadores incluidos en las muestras.

Los países nórdicos presentan una mayor talla (175-180 cm vs 170-175 cm) (Cavelaars, 1998; Cavelaars, *et al.*, 2000); mientras, los países latinoamericanos o asiáticos experimentan el fenómeno contrario con tallas más bajas en sus estudios: como los de Nemoto, *et al.*, (1988), con patinadores del equipo nacional japonés (172,2 cm), o los de Lozano (2009; 2010) con patinadores de los equipos nacionales de Colombia (171,32 cm y 170,22 cm).

En lo que se refiere al peso en los trabajos realizados con patinadores de velocidad sobre ruedas de alto nivel encontramos valores similares y qué en muchos casos difieren en función de la raza o el origen de los sujetos evaluados: con patinadores holandeses 73,9 kg (Maksud, *et al.*, 1970); 73 kg (Geijsel, 1980); 69,8 kg (Maksud, *et al.*, 1982); japoneses 68,6 kg (Nemoto, *et al.*, 1988); americanos 66,4 kg (Rundell, 1996); 69,9 kg (Rundell, *et al.*, 1997); franceses 72,5 kg (Millet, *et al.*,

2003); 72 kg (Krieg, *et al.*, 2006); o colombianos 63,22 kg (Lozano, 2009); y 62,03 kg (Lozano, 2010).

Entre los trabajos que presentan valores de porcentaje de grasa corporal no todos indican la metodología empleada para la consecución de los mismos, por otro lado la raza y el momento de la temporada son factores que producirían variaciones en los valores encontrados en la literatura científica: 8,8 % (de Boer, Vos, *et al.*, 1987); 15,5 % (de Boer, Ettema, *et al.*, 1987); 10,3 % (Kandou, *et al.*, 1987); 9,6 % (Nemoto, *et al.*, 1988); 11,7 % (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1988); 9,9 % (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1992); 10 % (de Koning, *et al.*, 1994); 7,3 % (Rundell & Pripstein, 1995); 8,2 % (Rundell, 1996); 6,9 % (Rundell, *et al.*, 1997); y 10,23 % (Lozano, 2010). El porcentaje de grasa corporal ha sido evaluado en numerosos trabajos con patinadores de diversos niveles de competición. Su relación con el rendimiento no ha sido un factor ampliamente estudiado aunque recientemente se encontró una estrecha correlación entre el porcentaje de grasa corporal y el tiempo empleado en finalizar la distancia de la carrera más larga disputada en Europa (OneEleven, 111km) por todos los participantes finalistas ($r = 0,45$; $P = 0,0001$) (Knechtle, *et al.*, 2011; Teutsch, *et al.*, 2013).

Aunque en los últimos años cada vez existen más trabajos que estudian los aspectos morfológicos el consumo máximo de oxígeno o el umbral anaeróbico siguen siendo los factores relacionados con el rendimiento más estudiados en el patinaje de velocidad; parámetros que veremos a continuación.

1.3.2. Consumo Máximo de Oxígeno.

1.3.2.1. Concepto y Aspectos Generales.

El Consumo de Oxígeno es el ritmo al que el metabolismo aeróbico suministra energía. La energía que hace posible los procesos de contracción en el músculo se deriva de la hidrólisis del ATP. El ATP está en el músculo en una concentración relativamente baja y, por tanto, debe ser regenerado a través de reacciones metabólicas al mismo ritmo que es consumido; de forma resumida, estas reacciones son: anaeróbica, metabolismo aláctico y láctico; y metabolismo aeróbico. En el metabolismo aeróbico, el ATP es sintetizado por medio de la oxidación de hidratos de carbono y triglicéridos, en agua y dióxido de carbono (Åstrand & Rodahl, 1980; Skinner & McLellan, 1980; Thoden, 1995).

A pesar de que los tres procesos de regeneración de ATP se llevan a cabo al mismo tiempo durante cualquier actividad, la contribución relativa de cada uno de ellos varía según la intensidad y la duración de la actividad (Baldwin, Snow & Febbraio, 2000). Por otra parte el VO_{2max} estará limitado por una serie de factores centrales y periféricos. De entre los factores centrales el de mayor importancia será el gasto cardíaco (*frecuencia cardíaca x volumen sistólico (fc x vs)*); mientras que entre los factores periféricos más importantes se encontrarán la capilarización, las enzimas oxidativas y el tipo de fibra muscular (Clausen, 1977; Wells & Pate, 1988; Coyle, 1995).

El consumo máximo de oxígeno es considerado uno de los mejores parámetros utilizables como indicador de la capacidad de rendimiento en deportistas (Taylor, Buskirk, & Henschel, 1955; Mitchell, Sproule, & Chapman, 1958; Weltman, Snead, Seip, Schurrer, Weltman, Ruttand, & Rogol, 1990).

El ritmo al que el metabolismo aeróbico puede suministrar energía depende de dos factores: la capacidad química de los tejidos a la hora de utilizar oxígeno para descomponer combustibles, y las capacidades combinadas de los mecanismos pulmonar, cardíaco, sanguíneo, vascular y celular para transportar oxígeno hasta la maquinaria aeróbica del músculo (Åstrand & Rodahl, 1980; Thoden, 1995).

La potencia aeróbica máxima, o consumo máximo de O_2 , equivale a la máxima cantidad de oxígeno que un organismo estimulado puede extraer de la

atmósfera y transportar hasta el tejido para allí ser utilizado. También se utilizan otros términos como *consumo máximo de oxígeno*, *capacidad de trabajo aeróbico* y *capacidad de resistencia* (Åstrand & Rodahl, 1980).

La potencia aeróbica máxima es cuantitativamente equivalente a la cantidad máxima de oxígeno que un individuo puede consumir por unidad de tiempo durante una actividad que aumenta de intensidad progresivamente, realizada con un grupo muscular importante, y hasta el agotamiento. Cuando es expresada en términos de oxígeno, suele escribirse cómo máximo (max) volumen (V) de oxígeno (O_2) por minuto y se abrevia en VO_{2max} . Mientras que en deportes como el remo, en los que es importante la respuesta de trabajo total, suele expresarse como un volumen absoluto por minuto ($L \cdot min^{-1}$), en actividades como las carreras de fondo, en las que se soporta y transporta el peso del cuerpo durante la competición, se expresa como volumen por minuto en relación al peso corporal ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (Åstrand & Rodahl, 1980; Thoden, 1995).

Los buenos deportistas, que participan en deportes que requieren un esfuerzo prolongado durante más de dos minutos, suelen tener VO_{2max} más altos que los que participan en deportes de duración más breve o intermitente. Los valores relativos más altos suelen estar asociados con deportes como el ski nórdico y las carreras de media distancia. Los valores absolutos más altos suelen observarse en deportistas de constituciones grandes y bien entrenados, como los remeros, que emplean una masa muscular importante para mantener ritmos de trabajo elevados durante períodos largos, pero no tienen que soportar ni transportar el peso de su cuerpo durante la competición. En ocasiones, un remero, esquiador de fondo, ciclista o patinador de gran constitución pueden tener valores absolutos y relativos que se acerquen a los límites superiores en ambas escalas (Åstrand & Rodahl, 1980; Thoden, 1995).

El sistema de energía aeróbica es el que suministra casi completamente la energía para entrenamientos de varios minutos a ritmo constante. Más aún, la relación entre VO_2 y potencia desarrollada es casi lineal sobre el rango de intensidad desde el descanso hasta el máximo *steady-state* (Åstrand & Rodahl, 1980). El VO_2 es, por tanto, una buena medida de la intensidad de entrenamiento en *steady-state*. La intensidad de series de corta duración no pueden medirse directamente como VO_2 , ya

que la respuesta del sistema aeróbico es demasiado lenta y dichas tareas son, a menudo, supramáximas (Navarro, 1998).

Es útil representar el VO_2 relativo como un % del máximo VO_2 , ya que permite mejores comparaciones de las intensidades de entrenamiento en deportistas que difieren en masa corporal, capacidad de ejecución o eficiencia del ejercicio.

Los mecanismos fisiológicos de la resistencia han sido explicados, casi exclusivamente, a través de la función respiratoria y del VO_{2max} . No obstante, existen datos que nos permiten concluir que el VO_{2max} no es una garantía de un buen resultado deportivo (Navarro, 1991).

No se sabe ciertamente en qué grado los valores de VO_{2max} pueden atribuirse al entrenamiento o a la dotación genética (Sundet, Magnus & Tambbs, 1994). Existen opiniones de que con el entrenamiento se puede mejorar hasta un 15 - 30 %, dependiendo de los niveles previos de los que parta el deportista, y que dichos incrementos son debidos a cambios producidos en los componentes centrales (transporte cardiopulmonar) y periféricos (vascularización y química tisular) del sistema aeróbico, (Rowell, 1974; Saltin, 1986).

1.3.2.2. El Consumo Máximo de Oxígeno en el Patinaje de Velocidad.

Desde 1967 se vienen realizando valoraciones del VO_{2max} en el patinaje de velocidad (Saltin & Astrand, 1967). Éstas han sido realizadas en laboratorio: carrera a pie sobre tapiz rodante, pedaleando en ciloergómetro y patinando sobre tapiz rodante específico; y en el campo deportivo. En los últimos años han aparecido estudios donde ya se realizan valoraciones en el campo deportivo con patinadores de velocidad sobre ruedas.

A continuación se analizará la literatura científica revisada referente a la determinación del VO_{2max} en el patinaje de velocidad.

➤ Determinación del VO_{2max} en patinadores mediante la carrera sobre tapiz rodante.

Los primeros valores de VO_{2max} en patinadores surgen de un estudio pionero con deportistas de múltiples disciplinas (Saltin & Astrand, 1967). 3 patinadoras y 6 patinadores fueron sometidos a una valoración de su VO_{2max} en tapiz rodante

mostrando valores absolutos de 3,1 y 5,8 L·min⁻¹ de O₂ respectivamente. Más tarde, Maksud (1970) estudió a un grupo de 13 patinadoras y 10 patinadores olímpicos recogiendo los gases en balón de Douglas para su posterior análisis por técnica Haldane; el protocolo incrementaba un 2,5 % la pendiente del tapiz cada minuto, siendo la velocidad de 7 millas·h⁻¹.

En otro estudio (Maksud, *et al.*, 1982) 19 candidatos olímpicos, de los cuales 8 fueron finalmente participantes en los juegos; fueron sometidos a un test máximo de laboratorio registrando unos valores de VO_{2max} 4,37 ± 0,45 L·min⁻¹ y de 62,7± 3,21 mL·kg⁻¹·min⁻¹ en valor relativo.

Estos trabajos suponen los inicios en la investigación científica en el patinaje de velocidad en un momento donde los protocolos de evaluación del consumo máximo de oxígeno mediante la carrera en tapiz rodante eran utilizados con frecuencia en diferentes disciplinas deportivas por los investigadores. En cuanto a los valores no siempre son reportados en valor absoluto y relativo y de ahí que no siempre presentemos ambas cifras.

➤ *Determinación del VO_{2max} en patinadores pedaleando en cicloergómetro.*

Otro de los medios utilizados en laboratorio para la evaluación de patinadores es el cicloergómetro; este ha tenido mayor protagonismo por ser muy utilizado por los patinadores en su entrenamiento. Geijsel (1980) apuntó la idea de que los mejores patinadores no son aquellos que tienen un VO_{2max} mayor. Para ello realizó un estudio con dos grupos: un primer grupo con los 10 primeros clasificados de la Liga Holandesa de Marathones de patinaje sobre hielo, y un segundo grupo con los 10 últimos de la misma clasificación. A partir de un test en cicloergómetro en laboratorio, a intensidades submáximas, realizó una estimación del VO_{2max} comenzando a 200 watt en un calentamiento de 5 min y posteriormente hasta el agotamiento con incrementos 5 watt·kg⁻¹ (Pc), sin indicar frecuencia entre los mismos. Los resultados fueron de 66 y 62 mL·kg⁻¹·min⁻¹ para cada grupo respectivamente.

Más tarde un estudio (Geisel, Bomhoff, Van Velzen, de Groot, & Van Ingen Schenau, 1984) con 25 patinadores correlacionó rendimiento en ciclismo y patinaje, realizando dos test patinando (de 500 y 1500 m, respectivamente) con dos test cicloergómetro (un primeo de 30 s: tiempo aproximado que tardaban los patinadores

en cubrir 500 m; y un segundo de 2 min 30 s: tiempo aproximado que tardaban los patinadores en cubrir la distancia de 1500). Los test cortos (de 500 m patinando y 30 s en cicloergómetro) correlacionaron positivamente entre sí; de igual manera los test largos (de 1500 m patinando y 2 min 30 s en cicloergómetro) también correlacionaron entre sí. En el test en cicloergómetro de 2 min 30 realizó una valoración del VO_{2max} obteniendo unos valores de $4,76 \pm 0,45 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

Siguiendo con los trabajos de laboratorio en cicloergómetro de Groot, de Boer, & Van Ingen Schenau, (1985) encontraron valores de $4,76 \pm 0,25 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ de O_2 en una muestra de 25 patinadores bien entrenados de (23 ± 5) años reproduciendo el protocolo propuesto por Åstrand & Rodahl (1980).

Nemoto, Iwaoka, Funato, Yoshioka, & Miyashita, (1988) evaluaron el VO_{2max} en cicloergómetro sobre una muestra de 25 patinadores del equipo nacional japonés. Para ello, emplearon un analizador de O_2 paramagnético y CO_2 infrarrojos (Sanei Co.) con un protocolo que seguía incrementos de $12,5 \text{ watt}\cdot 3 \text{ min}^{-1}$ hasta el agotamiento mostrando los siguientes resultados $4,06 \pm 0,42 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ y $59,2 \pm 2,80 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

Un estudio con el equipo nacional holandés mostró los siguientes datos de VO_{2max} , $5,10 \pm 0,30 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ y $65,5 \pm 4,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en valores absoluto y relativo respectivamente (Van Ingen Schenau, de Boer, Geijsel, & de Groot, 1988). En este caso los patinadores fueron evaluados con un test en cicloergómetro de 2 min 30 s de duración (tiempo aproximado que empleaban los patinadores en cubrir la distancia de 1500 m); se utilizó el método de recogida con Balón de Douglas para posterior análisis con analizador de O_2 paramagnético y de CO_2 de infrarrojos Mijnhardt.

Siguiendo esta línea y con el mismo protocolo de evaluación del VO_{2max} , Van Ingen Schenau, Bakkwe, de Groot, & de Koning (1992) presentan datos relativos al equipo nacional holandés en las temporadas 88/89 y 89/90 con el objetivo de observar la utilidad práctica de los test supramáximos en cicloergómetro para detectar el estado de forma. En los resultados demostraron que estos test no servían para conocer el estado real de la forma, registrando valores peores en el test conforme avanzaban los meses de temporada y, por el contrario, un aumento del VO_{2max} en esos meses. En otro estudio longitudinal, el mismo grupo de investigación presenta los valores del equipo holandés dividido en 2 grupos de 6 patinadores. El

primero de ellos correspondiente a los más exitosos y el segundo de los mismos a los patinadores menos exitosos (de Koning, *et al.*, 1994). Los resultados en estos estudios siempre se situaron entre los 60 y los 65 mL·kg⁻¹·min⁻¹ (Tab. 1.4.1.1.).

Finalmente, y en un trabajo más reciente, Foster *et al.*, (2003) desarrollaron una prueba de 1500 m en cicloergómetro evaluando a 7 patinadores del equipo nacional americano de patinaje de velocidad. El VO₂ fue analizado por medio de un ergoespirómetro portable K4 b² de Cosmed recogiendo un valor absoluto medio de 4,34 ± 3,14 L·min⁻¹.

Desde la década de los 80 las valoraciones de VO_{2max} en patinadores resultan más accesibles y fácilmente realizables en el laboratorio, pedaleando sobre un cicloergómetro. La ausencia de tecnologías portables, por aquel entonces, para la valoración en el campo deportivo y el aumento del volumen de entrenamiento sobre bicicleta en las planificaciones de los patinadores incrementaron los estudios de valoración realizados en este medio.

➤ *Determinación del VO_{2max} en patinadores patinando sobre tapiz rodante específico.*

En este apartado incluiremos también los estudios comparativos debido a que los autores consideran, lógicamente, los protocolos en tapiz rodante patinando más específicos que aquellos empleados en el cicloergómetro o tapiz rodante. Un tapiz rodante específico para el patinaje es un ergómetro convencional que permite, por sus dimensiones, potencia y velocidad, patinar en él.

En un estudio con 8 patinadores del equipo olímpico americano se compara la *marcha baja* con el esfuerzo en cicloergómetro. La *marcha baja* es un ejercicio de técnica sin patines muy utilizado en el entrenamiento del patinaje de velocidad. Si bien los sujetos en el protocolo de este estudio no patinaban, la *marcha baja* es uno de los ejercicios más próximos a la técnica y por ello decidimos incluirlo en este apartado. El protocolo para valorar el VO_{2max} durante la *marcha baja* consistió en un esfuerzo en tapiz rodante a 3,5 millas·h⁻¹ con una pendiente de un 2,5 % que aumentaba en 2,5 % cada 3 min; aproximadamente seguían una frecuencia de 80 - 90 apoyos·min⁻¹, que es equivalente a la utilizada en una carrera de 1500 m. Por otro lado el test en cicloergómetro constó de dos partes: una primera parte en la que se inicia en 78,5 w, con incrementos de 40 w en los primeros 3 estadios, seguidos de

aumentos de 20 w hasta el umbral anaeróbico; en segundo término, y después de un descanso de 20 min, los patinadores empezaron pedaleando a 118 w con incrementos de $40 \text{ w} \cdot \text{min}^{-1}$ hasta el agotamiento. Los resultados fueron de $4,43 \pm 0,35$ para el test en cicloergómetro, y de $4,13 \pm 0,34 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ para el test de *marcha baja*. El instrumento de determinación fue un ergoespirómetro de Sensor Medics 2900 (Rundell & Pripstein, 1995). En definitiva, el ejercicio de *marcha baja* en un tapiz rodante es un ergómetro específico provisional que subestima una parte del trabajo realizado en el patinaje relacionado con la fase de empuje donde los abductores y aductores gozan de un importante protagonismo y podrían elevar los consumos. No obstante el mismo problema podemos atribuírselo al cicloergómetro si bien es cierto que la cantidad de entrenamiento aeróbico realizado en bicicleta por un patinador es mayor que aquella realizada mediante el ejercicio de *marcha baja*.

Otro trabajo (Rundell, 1996) tuvo como objetivo encontrar y estudiar la razón que explique por qué se alcanzan niveles más altos de $\text{VO}_{2\text{max}}$ en actividades como la carrera o el ciclismo respecto a los encontrados en el patinaje de velocidad. Plantea la hipótesis de la existencia de un flujo de sangre comprometido en la musculatura implicada durante la ejecución técnica. Para ello realizan 3 test máximos sobre 7 Patinadores del equipo Olímpico de los Estados Unidos, en un tapiz rodante que permitía patinar en él. Los tres test siguieron el mismo protocolo pero con las siguientes diferencias: el primero se realizó corriendo, el segundo patinando con una posición del centro de gravedad elevada, y el tercero patinando con una posición baja del centro de gravedad. El protocolo presentaba 2 partes: una primera parte con estadíos de 4 min comenzando a $5 \text{ milla} \cdot \text{h}^{-1}$ y con una inclinación de un 5 % e incrementos de $1 \text{ milla} \cdot \text{h}^{-1}$ cada estadío; y una segunda parte, después de 10 min de recuperación en la que, se comenzaba con un 5% a $9 \text{ milla} \cdot \text{h}^{-1}$, incrementando la elevación en 1 % cada minuto hasta el agotamiento. Los resultados se muestran en la Tab. 1.4.1.1. Más tarde otros trabajos sobre el equipo americano replicaron estas pruebas con análisis de gases y un protocolo de dos test en tapiz rodante con posición elevada del centro de gravedad y posición baja del mismo al 4 % de inclinación de pendiente de tapiz y a dos velocidades de desplazamiento diferentes para cada uno de los dos test, $2,7$ y $3,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Los resultados se presentan en la Tab. 1.4.1.1. (Rundell *et al.*, 1997). Estos trabajos no llegaron a conclusiones rotundas, de hecho, en los trabajos de Rundell (1996) donde los test fueron incrementales hasta el

agotamiento, el VO_{2max} fue superior cuando los patinadores patinaron libremente frente a la posición baja del centro de gravedad. Sin embargo, los estudios de Rundell *et al.*, (1997) donde se comparan ambas posiciones a dos intensidades no máximas, los resultados fueron más elevados para la posición del centro de gravedad más bajo.

Foster, *et al.*, (1999) replican estos estudios para fortalecer la hipótesis de que un flujo de sangre comprometido en la musculatura implicada durante la ejecución de la técnica de deslizamiento en el patinaje de velocidad provocaría unos valores de VO_{2max} menores. En este caso el trabajo se desarrolló sobre 10 patinadores del equipo olímpico americano de *Long Track*. Los resultados registraron valores más altos de lactacidemia y un VO_{2max} menor para el test patinando en posición baja frente el test en ciclismo y patinando con el centro de gravedad alto: $3,83 \pm 0,75$ vs $4,28 \pm 0,77$ y $4,26 \pm 0,70$ $L \cdot min^{-1}$.

En la actualidad numerosos laboratorios de investigación cuentan con tapices rodantes específicos que permiten por sus características patinar en ellos. Esto supone un nivel de especificidad mayor para la evaluación del VO_{2max} y otros parámetros fisiológicos con patinadores en laboratorio.

➤ *Determinación del VO_{2max} en patinadores, en test de campo.*

Ferguson, Marcotte, & Montpetit (1969) fueron los primeros en realizar un estudio de valoración de VO_{2max} , con patinadores, aunque en este caso eran jugadores de Hockey sobre hielo. Para ello en un oval de 140 m realizaron un test de bloques de 3 minutos a 24, 22, 21, 20 y 19 s la vuelta; el último estadio fue hasta la extenuación. El rango de valores obtenidos fue de 44 a 68 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. La metodología utilizada fue recogida de gases en balón de Douglas para posterior análisis de los mismos. Este trabajo tendría una replicación (Green, 1978) obteniendo unos valores de $4,04 \pm 0,2$ y $4,26 \pm 0,1$ $L \cdot min^{-1}$ para dos grupos de jugadores de hockey de $22 \pm 0,4$ y $21 \pm 0,8$ años de edad respectivamente.

Léger, Seliger, & Brassard (1979), realizaron un estudio con 10 jugadores de hockey de $21,2 \pm 1,8$ años de edad. Realizaron 4 test: 1 de laboratorio en tapiz rodante y 3 de campo, 2 de los cuales consistían en test de ida y vuelta patinando, con y sin el equipamiento del jugador, y un tercero que seguía el protocolo de Ferguson, *et al.*, (1969). En este último se consiguieron los valores más altos. Del

mismo modo se compararon esos resultados con los obtenidos por corredores con el protocolo de laboratorio en tapiz rodante y patinando con el protocolo de Ferguson, *et al.*, (1969). Los resultados para los jugadores de hockey obtuvieron valores más elevados para el protocolo de Ferguson, *et al.*, (1969) $62,1$ vs $61,4$ $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; sin embargo para los corredores ocurrió justamente el efecto opuesto $86,6$ vs $65,6$ $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

En trabajos más recientes Nobes, Montgomery, Pearsall, Turcotte, Lefebvre, & Whittom, (2003) analizaron la economía de patinaje en un tapiz rodante específico en 15 jugadores de hockey comparándola con la economía de patinaje en el propio hielo. El $\text{VO}_{2\text{max}}$ fue una de las variables analizadas mediante un protocolo que se iniciaba a 24 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ con incrementos de 1 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto hasta el agotamiento. Los resultados fueron mayores para el test sobre hielo, $54,7 \pm 3,6$ frente a los $53,4 \pm 2,3$ $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, obtenidos en el tapiz rodante.

Zapalo III (1999) analizó el $\text{VO}_{2\text{max}}$ en una muestra de 25 patinadoras de los equipos nacionales americano y canadiense de patinaje artístico. Para ello creó un protocolo propio incremental hasta el agotamiento que veremos con mayor detenimiento más adelante (Apartado 1.4.2.). El protocolo fue específico y para el análisis se utilizó un ergoespirómetro portable K4b² de Cosmed obteniendo $2,40 \pm 0,72$ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ de O_2 de media para la muestra (sin aportar los valores relativos).

Centrándonos en el patinaje de velocidad, Maksud, *et al.*, (1970) realizaron las que serían las primeras mediciones de VO_2 en campo con patinadores de velocidad. Lo hicieron en un oval Olímpico de 400 m recogiendo los gases metabólicos de los últimos 15 s de varios Sprints de 500 m en un balón de Douglas. El trabajo se hizo sobre un patinador únicamente obteniendo valores de $41,1$ $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

Van Ingen Schenau, *et al.*, (1983) realizaron una valoración en pista con patinadores de Elite ($n = 5$) y patinadores entrenados ($n = 14$). El protocolo que siguieron fue un test de 2000 m recogiendo los gases en balón de Douglas de 70 L específicamente fabricado para este estudio. Los resultados obtenidos fueron de $4,4$ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ y $59,4$ $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para el grupo elite y $3,8$ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ y $53,3$ $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para el grupo de entrenados. También realizaron otros test a las 4 horas en cicloergómetro con freno mecánico y siguiendo el protocolo de Anstrand & Rodahl

(1980) obteniendo valores superiores $4,8 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ y $64,4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para el grupo élite, y $4,2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ y $57,7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para el grupo entrenados.

Siguiendo con los estudios de campo, de Boer, Etterna, Faessen, Krekels, Hollander, de Groot, & Van Ingen Schenau (1987) compararon la respuesta fisiológica de un test de 2000 m con un trabajo equivalente en dos ejercicios realizados sin patines muy utilizados en el entrenamiento del patinaje de velocidad, la *marcha baja* y el *patinaje en seco*. En todos ellos realizaron la valoración del $\text{VO}_{2\text{max}}$ por el método de recogida de gases del balón de Douglas, y su posterior análisis mediante analizador de O_2 paramagnético y de CO_2 de infrarrojos, Mijnhardt. Los resultados obtenidos fueron de $62,1 \pm 6,9$; $60 \pm 5,8$; y $48,4 \pm 5,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para cada uno de los 3 tipos de esfuerzo respectivamente.

Continuando con esta línea, Kandou, *et al.*, (1987) realizó un estudio donde comparó la respuesta fisiológica y mecánica entre el patinaje de velocidad y el ciclismo, y entre el patinaje de velocidad y el patinaje en seco en tabla deslizante. El test de campo patinando consistió en 2300 m al máximo; el trabajo en tabla se realizó sobre el tiempo medio que emplearon los patinadores en cubrir el test de 2300 m y manteniendo una frecuencia de ejecución de $80 \text{ apoyos}\cdot\text{min}^{-1}$. Finalmente, el test en cicloergómetro siguió un protocolo que se desarrolló a $40 \text{ rev}\cdot\text{min}^{-1}$, comenzando a 150 w y aumentando $10 \text{ w}\cdot\text{min}^{-1}$. Realizaron la valoración del $\text{VO}_{2\text{max}}$ en todos los test por el método de recogida de gases del balón de Douglas y su posterior análisis mediante analizador de O_2 paramagnético y de CO_2 de infrarrojos, Mijnhardt. Los resultados encontrados fueron $53,9 \pm 4,2$; $55,1 \pm 5,5$; y $57,2 \pm 4,9 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, para el test patinando, en tabla deslizante y en cicloergómetro, respectivamente. En este estudio, igual que en los trabajos de Van Ingen Schenau, *et al.*, (1983), se obtienen valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$ superiores en el esfuerzo en cicloergómetro respecto al test que realizan patinando en cada estudio. Las limitaciones del balón de Douglas al patinar con él en la espalda sumado a que los protocolos de estos test son rectangulares máximos y breves en duración de tiempo pueden suponer algunas de las posibles razones a las diferencias en los resultados.

La aparición de *los patines Klap* (un sistema que permite mantener la cuchilla en el hielo hasta el final de la fase de empuje con la extensión de la articulación del tobillo) promovió la aparición de estudios de campo donde se comparaban la eficacia

y eficiencia de los nuevos materiales respecto a los patines convencionales. Houdijk, Heijnsdijk, *et al.*, (2000) y Houdijk, de Koning, *et al.*, (2000) estudiaron las diferencias entre los dos tipos de patines sobre una muestra de 6 patinadores del equipo nacional holandés realizando dos test máximos de 1600 m (1 test para cada tipo de patín y por cada patinador). Los resultados fueron concluyentes demostrando que el *patín Klap* es más eficaz permitiendo desarrollar más potencia y más eficiente recorriendo más metros con un mismo gasto energético. de Koning, *et al.*, (2005) continuaron con la línea de investigación sobre los patrones energéticos en el patinaje de velocidad y su relación con el rendimiento; para ello, en un estudio sobre 6 patinadores, evaluaron el VO_{2max} patinando en un test de 1500 m maximal, con un ergoespirómetro portable K4b² de Cosmed, obteniendo unos valores de $4,75 \pm 0,4$ L·min⁻¹.

Hasta la última década las valoraciones de VO_{2max} fuera de laboratorio, en el campo deportivo, en el patinaje resultaban complejas por los materiales disponibles para la realización de las mismas. Los balones de Douglas muy utilizados hasta finales de la década de los 90 empeoraban la mecánica y no permitía una recolección de datos durante tiempos extensos por las capacidades de recolección; por contra los analizadores de gases portables se presentan como una alternativa utilizada los últimos 15 años que permite establecer protocolos más ajustados a las necesidades y permitiendo patinar sin grandes modificaciones de la técnica.

➤ *Determinación del VO_{2max} en patinadores de velocidad sobre ruedas, mediante test de campo.*

Centrándonos en el ámbito del patinaje de velocidad sobre ruedas, de Boer, Vos, *et al.*, (1987), fueron los pioneros en realizar estudios de campo con patinadores de velocidad sobre ruedas. Para ello contaron con un grupo de 8 patinadores de la liga holandesa de maratones sobre hielo, que competían en carreras de patinaje de velocidad sobre ruedas durante los meses de verano. Inicialmente se realizó un test máximo patinando sobre hielo en un oval de distancia olímpica de 400 m, hasta completar 7 vueltas. A continuación, y en función del tiempo empleado por vuelta, se balizó un oval sobre asfalto, cuya distancia se correspondía con el tiempo empleado por vuelta, en el test sobre hielo. Se concluyeron datos mecánicos y fisiológicos con el fin de diferenciar el desarrollo del patinaje sobre las distintas superficies. Los resultados de VO_{2max} fueron $50,5 \pm 8,0$ y $53,3 \pm 6,7$ mL·kg⁻¹·min⁻¹ para el test en

hielo y el test en ruedas respectivamente. Desde el punto de vista mecánico establecieron unas conclusiones generales de dicho trabajo, donde diferencian el desarrollo de la técnica en el patinaje de velocidad en ambas superficies (hielo y ruedas); estas han sido expuestas en el apartado 1.2.4.

Millet, *et al.*, (2003) estudiaron una muestra de 6 patinadores franceses en un oval de asfalto de 300 m, analizando el VO_2 mediante un ergoespirómetro portable (K4b² de Cosmed). En dicho estudio se realizan dos mediciones: 70 % y 90 % de la velocidad en el $\text{VO}_{2\text{max}}$. Y aunque se asegura que esta fue determinada por un test máximo de 5 min, no aporta el resultado de la misma, tan solo muestra los valores del $\text{VO}_{2\text{max}}$ para ambos porcentajes. El objeto del estudio era analizar el efecto del *Drafting* o *Rebufo* en el patinaje de velocidad sobre ruedas.

Krieg, *et al.*, (2006) realizó un estudio con la misma finalidad escogiendo nuevamente dos velocidades para valorar el efecto del *Drafting*. Previamente realizó una valoración del $\text{VO}_{2\text{max}}$ con ergoespirómetro portable (Metamax 2, de Cortex Biophysics) en un oval de asfalto de 300 m. El protocolo fue de desarrollo incremental, progresivo, y discontinuo comenzando a $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e incrementando $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 3 min con una pausa de 1 min entre cada estadio. El $\text{VO}_{2\text{max}}$ de los patinadores de alto nivel que tomaron parte en el estudio fue $4,85 \pm 0,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ de O_2 .

Los estudios de Lozano (2009) y Lozano (2010) son los únicos que hemos encontrado cuyo objetivo principal fue la determinación del $\text{VO}_{2\text{max}}$ en patinadores de velocidad. Durante años realizó valoraciones y evaluaciones fisiológicas en patinadores de velocidad colombianos, muchos de ellos del equipo nacional. Lozano (2010) realizó dos test en el campo deportivo, uno continuo donde no realizó la valoración del $\text{VO}_{2\text{max}}$, y uno discontinuo donde si la realizaba. Los valores de los resultados obtenidos se presentan al final de la Tab. 1.4.1.1. En dicha tabla se pueden observar resumidamente todos los estudios realizados sobre patinadores para evaluar el $\text{VO}_{2\text{max}}$, presentándose en ella de manera resumida la metodología y los resultados.

Como podemos observar, son pocos los estudios realizados hasta ahora en el campo deportivo con patinadores de velocidad sobre ruedas. Del mismo modo los protocolos y las muestras empleadas para los estudios son diversos lo que resulta en

datos heterogéneos en el $\text{VO}_{2\text{max}}$. Precisamente las limitaciones encontradas por los autores en estos estudios y los analizadores de gases portables (cada vez más accesibles, cómodos y precisos) están ayudando a la construcción de nuevas investigaciones en esta disciplina.

1.3.3. Umbral Anaeróbico.

1.3.3.1. Definición.

En la década de los 60, Wasserman & McIlroy (1964) introducen el término umbral aeróbico anaeróbico, el cual definía la carga de trabajo máxima que podía mantener un sujeto utilizando la fuente de energía obtenida por vía aeróbica.

Más adelante aumenta el interés por el estudio del umbral anaeróbico, sobre todo a raíz de los trabajos de Mader & Heck (1986), que indican que el umbral anaeróbico es la intensidad de trabajo más alta que el individuo puede soportar sin acumulo de lactato y que coincide con el instante en que se produce una concentración de lactato de $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ durante un test incremental. Este valor resulta alrededor de $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ por encima del umbral aeróbico-anaeróbico descrito por Wasserman. Mader & Heck (1986) quienes identifican dos umbrales: un umbral aeróbico (AE), situado alrededor de los $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, y un umbral anaeróbico situado en los $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (AT).

En definitiva actualmente se coincide en que la intensidad relativa más elevada que se puede mantener en un esfuerzo de resistencia aeróbica tiene una importante relación con el umbral de lactato en sangre o con el inicio de la hiperventilación, umbral ventilatorio; y aunque ambos han sido denominados umbral anaeróbico y están relacionados parece que no ocurren de manera simultánea en el tiempo (Pollack, 1977; Coyle, 1995).

➤ *El umbral anaeróbico y el rendimiento.*

El interés de un amplio grupo de investigadores ha sido identificar un parámetro que fuese predictivo de la capacidad de rendimiento en disciplinas de larga duración. Según un gran número de autores el umbral anaeróbico (AT) correlaciona mejor con la capacidad de rendimiento que con otros parámetros como el $\text{VO}_{2\text{max}}$, masa magra, % de fibras musculares, economía de carrera, etc, también relacionados con el metabolismo aeróbico.

Farrel, Wilmore, Coyle, Billings, & Costill, (1975) encontraron una correlación de $r = 0,98$, entre la velocidad de carrera en maratón y la velocidad en el

AT, y Powers, Dodd, & Garner, (1984) hallaron una elevada correlación entre velocidad umbral y velocidad de carreras en 10.000 m.

El segundo aspecto que acentúa la importancia del AT es la posibilidad de modificarse con el entrenamiento. Así, Davis, Frank, Whipp, & Wasserman, (1979) sólo encontraron aumentos en el VO_{2max} de un 25 % como máximo, sin embargo, en el AT hasta un 44 %, tras un período de 9 semanas de entrenamiento. Asimismo es de destacar que los valores porcentuales del AT respecto del VO_{2max} difieren sensiblemente en individuos entrenados y sedentarios; mientras en estos últimos se encuentra alrededor del 50 % del VO_{2max} , en los entrenados puede superar el 80 %.

➤ *Bases bioquímicas del AT*

Sobre las bases bioquímicas no existe el mismo consenso; incluso algunos autores consideran incorrecto el término, en tanto en cuanto se ha demostrado que el músculo produce ácido láctico, aún en condiciones de aerobiosis. Hay que tener en cuenta que el acúmulo de ácido láctico se producirá por modificaciones, tanto en el ritmo de producción como en el de eliminación durante el ejercicio.

Actualmente se enumeran 5 mecanismos que pudieran estar implicados:

- Una primera teoría sugiere que la base de la implicación del metabolismo láctico se debería a una deficiencia estructural de O_2 (existiría una falta de homogeneidad en la difusión intramuscular del O_2 encontrándose alguna fibra hiperfundida mientras otras estarían hipofundidas).
- Una segunda hipótesis sugiere que el límite en la utilización del piruvato se debe a los encimas mitocondriales que serían incapaces de metabolizar la masa de piruvato proveniente de la glucólisis anaeróbica.
- Una tercera sostiene que se debería a la intervención de las fibras tipo II.
- Una cuarta sugiere que se debe a una disminución de la eliminación, especialmente a nivel hepático.

- La última hipótesis hace referencia a la influencia que los sustratos energéticos tendrían en el aumento o disminución del AT.

1.3.3.2. Determinación por el Método Ventilatorio.

La aplicación de este método en la determinación del umbral anaeróbico se fundamenta en el control de la evolución de las variaciones que se producen en los gases espirados, necesario para compensar la producción aumentada de anhídrido carbónico en el ejercicio. La acidosis láctica que se produce en el ejercicio de alta intensidad sería un estímulo suplementario para la respiración (Beaver, Wasserman, & Whipp, 1986).

➤ *Material:*

Se precisará de un ergoespirómetro con analizador de gases (O₂ y CO₂), y neumotacómetro para el registro del volumen corriente y de la frecuencia respiratoria. Así mismo precisaremos de un electrocardiógrafo con registro continuo de la frecuencia cardíaca. Los ergoespirómetros modernos equipan todos estos sistemas en una sola unidad de hardware, adherida a un software informático controlador que se presenta como la solución más práctica para estas valoraciones.

➤ *Protocolo:*

Existen unas características comunes que deben seguir los protocolos aunque este tipo de pruebas (que dependerán del protocolo de la propia prueba de esfuerzo) también estarán determinadas en gran medida por la calidad del material disponible. Estas características serían las siguientes:

- Las pruebas deben ser progresivas, con un calentamiento previo y un inicio a intensidad de carga de trabajo baja.
- Los incrementos serán pequeños y frecuentes.
- Se procurará que las muestras de gases recogidas sean analizadas con la mayor frecuencia posible. Se recomienda que, como mínimo, se realice la toma de las muestras cada 30 s, si bien los nuevos ergoespirómetros *breath by breath* permiten una total flexibilidad en este aspecto.

➤ *Método:*

Para determinar el umbral anaeróbico ventilatorio por este método, necesitamos la representación gráfica de las distintas variables respiratorias, y analizar a continuación cada curva para determinar incrementos bruscos o cambios de dirección.

La base de todos estos análisis es la pérdida de la linealidad en el aumento de la ventilación pulmonar (VE) y del volumen de CO₂ en el aire espirado (VCO₂), que se produce a determinadas cargas, en función del individuo y de su nivel de preparación, sin un incremento paralelo del VO₂.

De esta manera se busca determinar en qué momento comienza la hiperventilación destinada a eliminar el CO₂ producido en exceso para la potencia aeróbica, como consecuencia del esfuerzo, precisando para ello del ajuste de las distintas variables respiratorias.

Según Skinner & McLellan (1980), los parámetros a analizar serían los siguientes:

1. El volumen respiratorio por minuto ($VE = \text{Volumen corriente} \cdot \text{frecuencia respiratoria}$)
2. El volumen de dióxido de carbono por minuto en el aire espirado (VCO₂)
3. La fracción espirada de CO₂ (F_ECO₂).
4. El equivalente respiratorio para el oxígeno ($EqO_2 = VE \cdot VO_2$)
5. El equivalente respiratorio para el dióxido de carbono ($EqCO_2 = VE \cdot VCO_2^{-1}$).
6. El cociente respiratorio ($RQ = VCO_2 \cdot VO_2^{-1}$).

1.3.3.3. El Umbral Anaeróbico en el Patinaje de Velocidad.

El estudio de los umbrales aeróbico (AE) y anaeróbico (AT) en el patinaje de velocidad no es un tema principal en la literatura científica.

Nemoto, *et al.*, (1988) será el único autor que presente resultados relativos al AE en patinadores de velocidad, habiendo sido determinado en cicloergómetro. En este estudio, el porcentaje de AT respecto al VO_{2max} fue de $61,1 \pm 7,16$ %, con valores de VO_2 en el AE de $2,48 \pm 0,36$ L·min⁻¹ de O₂. La frecuencia cardíaca en el AE de los sujetos fue $141,6 \pm 12,9$ ppm, y la ventilación en el AE fue de $59,3 \pm 8,8$ L·min⁻¹.

Krieg, *et al.*, (2006), en sus trabajos relativos al *drafting*, estudiaron el umbral anaeróbico en un test interválico incremental, diseñado específicamente. Los patinadores que tomaron parte en este estudio tenían su AT en el 81,85 % del VO_{2max} , que suponía una media de $3,97 \pm 0,40$ L·min⁻¹ de O₂. La frecuencia cardíaca en el AT fue de 173 ± 6 ppm que representó el 91,05 % de la frecuencia cardíaca máxima. Asimismo, la velocidad en el AT fue de $31,6 \pm 2,6$ km·h⁻¹, que supuso un 87,53 % de la velocidad máxima alcanzada en el test por los sujetos.

Los únicos estudios de campo fueron realizados por Lozano (2009) y Lozano (2010), y situaron el AT en el $77,34 \pm 1,33$ % VO_{2max} con $3255,33$ mL·min⁻¹ de O₂. Sus trabajos encontraron frecuencias cardíacas en el AT de $178,29 \pm 1,33$ ppm (Lozano, 2010), lo que representa unos porcentajes de la frecuencia cardíaca en el AT de $92,09 \pm 0,55$. La ventilación en el AT de los sujetos fue de $99,25 \pm 3,43$ L·min⁻¹, lo que representa unos porcentajes de $67,40 \pm 1,74$. Las velocidades en el AT fueron de $30,43 \pm 0,27$ km·h⁻¹ (Lozano, 2009) y de $30,50 \pm 0,28$ // $30,80 \pm 0,36$ km·h⁻¹ (Lozano, 2010).

En el trabajo más reciente que hemos hallado en el ámbito del patinaje de velocidad, Hecksteden, Heinze, Faude, Kindermann, & Meyer (2013), se reproduce el protocolo propuesto por Krieg, *et al.*, (2006) con el fin de validar una prueba que permita estimar el estado estable de lactato máximo, o *maximun lactate stady state* (MLSS), en patinadores de velocidad sobre ruedas y en el mismo patinódromo de asfalto de 300 m de longitud. Cuatro patinadoras y doce patinadores tomaron parte en ese estudio realizando un test máximo incremental e interválico hasta el agotamiento comenzando a 24 km·h⁻¹ y con incrementos de 2 km·h⁻¹ cada 3 min, recuperando 1 min entre cada estadio del test. Se determinó el umbral anaeróbico individual (IAT o *Individual Anaerobic Threshold*) y la carga o ritmo de trabajo correspondiente a 4 mmol·L⁻¹ (LT4). Del mismo modo, para determinar el MLSS

cada individuo realizó entre 2 y 5 test rectangulares de carga continua de hasta 30 min.

Los valores máximos encontrados en este test incremental fueron: $33,9 \pm 2,9$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ de velocidad máxima, 186 ± 9 ppm de frecuencia cardíaca y $10,7 \pm 1,8$ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido láctico. En los resultados se exponen las velocidades, frecuencias cardíacas y niveles de ácido láctico para las tres:

- MLSS: $29,5 \pm 2,5$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ de velocidad, 172 ± 11 ppm de frecuencia cardíaca y $4,6 \pm 1,4$ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido láctico.
- IAT: $29,2 \pm 2,0$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ de velocidad, 170 ± 9 ppm de frecuencia cardíaca y $3,6 \pm 0,8$ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido láctico.
- LT4: $29,6 \pm 2,3$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ de velocidad, 171 ± 7 ppm de frecuencia cardíaca y $4,0 \pm 0$ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido láctico como constante.

En virtud de los resultados obtenidos los autores concluyeron que el IAT y el LT4 son válidos para la estimación del MLSS en patinadores de velocidad sobre ruedas. No obstante aconsejan verificaciones periódicas por los posibles cambios producidos como consecuencia del entrenamiento.

En definitiva, no hemos encontrado más trabajos orientados a la determinación del umbral anaeróbico en patinadores de velocidad. En general se trata de un parámetro poco estudiado, por lo cual se hacen necesarios más estudios científicos que aporten mayor información acerca de su influencia sobre el rendimiento en el patinaje de velocidad.

1.3.4. Velocidad Aeróbica Máxima.

1.3.4.1. Definición.

Una vez revisada la literatura referida a la biomecánica y al VO_{2max} en el patinaje de velocidad podemos introducirnos en el estudio de la VAM que, como concepto, deriva de los dos primeros parámetros ya estudiados. La VAM es un concepto que no ha sido analizado en la literatura científica con respecto al patinaje de velocidad, si bien sí consta de una larga historia dentro de otras actividades como la carrera atlética.

En el estudio de la VAM Astrand & Rodahl (1980) serán los pioneros en investigar las relaciones existentes entre el máximo consumo de oxígeno y la capacidad para traducirlo en rendimiento mecánico.

En el ámbito de la carrera atética serán muchos los autores que investiguen sobre la VAM y su capacidad como pronosticador del rendimiento en pruebas de resistencia (Léger & Boucher, 1980; Cazorla, 1987; Lacour, *et al.*, 1989; 1991; Morgan, *et al.*, 1989; Noakes, Myburgh & Schall, 1990; Gaçon, 1991; Billat, Renoux, Bernard, Pinoteau, Petit & Koralsztejn, 1994a, 1994b, 1994c; Hill & Rowell, 1996; Tuimil & Rodríguez, 2000; Rodríguez, Iglesias & Tuimil, 2002).

La VAM es definida por numerosos autores como una velocidad superior a la del umbral anaeróbico y, por tanto, con participación del metabolismo anaeróbico:

- di Prampero (1986): *la velocidad de carrera en la que se obtiene el VO_{2max} .*
- Gaçon (1991): *la intensidad de trabajo que se desarrolla durante el transcurso de un esfuerzo cuyo dispendio energético corresponde al consumo máximo de O_2 o la velocidad de carrera suficiente para solicitar la potencia aeróbica máxima (VO_{2max}).*
- Lacour, *et al.*, (1991): *la velocidad correspondiente al VO_{2max} .*
- Billat, *et al.*, (1994a): *la velocidad mínima necesaria para obtener el VO_{2max} en una carrera progresiva en tapiz rodante.*
- Hill & Rowell (1996): *un producto integrado por el VO_{2max} y la economía de carrera.*

- Berthoin, Boquet, *et al.*, (1996): *la mínima velocidad de carrera en la que se da el VO_{2max}* .

La terminología propuesta para este parámetro difiere entre los distintos autores como vemos a continuación:

- ✓ Velocidad Aeróbica Máxima (VAM): Lacour, *et al.*, 1989; Billat, *et al.*, 1994a; Berthoin, *et al.*, 1995; Berthoin, Boquet, & Mantéca, 1996.
- ✓ Velocidad al VO_{2max} (vVO_{2max}): Daniels, 1985; Morgan, *et al.*, 1989; Hill & Rowel, 1996.

1.3.4.2. Determinación.

La VAM, en la carrera atlética, puede ser determinada de forma directa:

- En laboratorio: en tapiz rodante, y mediante analizador de gases (Billat, *et al.*, 1994a, 1994b).
- En el campo deportivo: mediante analizador de gases portátil (Rodríguez, *et al.*, 2002).

La VAM también puede determinarse de forma indirecta:

- Mediante estimación por cálculo matemático (di Prampero, *et al.*, 1986, Lacour, *et al.*, 1989), por extrapolación (Morgan, *et al.*, 1989), o a través de pruebas de campo (Léger & Boucher, 1980; Brue, 1985; Lacour, *et al.*, 1991).

Hill & Rowell (1996), realizaron un estudio comparando los diversos protocolos propuestos de determinación de la VAM en base a las diferentes metodologías propuestas por cada autor. Las diferencias entre velocidades obtenidas fueron estadísticamente significativas. Por lo contrario, en otros estudios (Billat, Hill, Pinoteau, Petit, & Koralsztein, 1996; Berthoin, Pelayo, Lenseil-Corbeil, Robin, & Gerbeaux, 1996), en los que se aplicaron diferentes protocolos de determinación, no se observaron diferencias significativas.

En este sentido es importante controlar los factores que puedan afectar el rendimiento final como el calentamiento, el número, duración e intensidad de los

incrementos, las pausas, la pendiente del tapiz rodante y/o la duración total del test (Berthon & Fellmann, 2002).

A continuación se presentan las metodologías de determinación de la VAM más utilizadas:

- Billat, *et al.*, (1994a; 1994b): El protocolo se realiza en el tapiz rodante con una pendiente del 0 %, iniciándose a una velocidad de $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con incrementos de $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 3 min y de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 2 min a partir de una determinada velocidad individual ($12 - 15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).
- di Prampero, *et al.*, (1986): La VAM es calculada a partir de la ecuación: VO_{2max}/Cr ; $Cr = \text{economía de carrera}$.
- Lacour *et al.*, (1989): La VAM es calculada a partir de la ecuación: $VO_{2max} - VO_2/Cr$; $Cr = \text{economía de carrera}$, $VO_2 = VO_2 \text{ en reposo}$.
- Daniels (1985) y Morgan, *et al.*, (1989): La VAM se obtiene por un cálculo mediante regresión lineal.
- Noakes, *et al.*, (1990): la mayor velocidad sobre tapiz rodante que es sostenida durante, al menos, 1 minuto.
- Léger & Boucher (1980), Brue (1985), Monmayeur & Villaret (1990), Lacour, *et al.*, (1991) y Berthoin, Boquet, *et al.*, (1996): Estos autores proponen una estimación mediante un test de campo (carrera progresiva en pista).

Tuimil & Rodríguez (2003) sostienen que la determinación directa de la VAM no debería representar ningún problema, siempre y cuando los protocolos tengan la misma o parecida duración total, y los incrementos de velocidad sean similares; desde el punto de vista de una determinación indirecta debiera ocurrir lo mismo si se selecciona un método válido y fiable.

En este sentido numerosos autores proponen distintos protocolos para la determinación indirecta o estimación de la VAM (Léger & Boucher, 1980; Brue, 1985; Montmayeur & Villaret, 1990; Lacour, *et al.*, 1991) Todos ellos han sido desarrollados en el campo deportivo y han sido validados científicamente. La prueba

de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal (UMTT) (Léger & Boucher, 1980) se considera como uno de los protocolos más válidos y fiables, pudiendo ser realizado en el campo deportivo y simultáneamente a varios corredores, lo que lo convierte en un sistema de valoración práctico y fácilmente integrable en un programa de entrenamiento, resultando así más adecuado que las mediciones en la tapiz rodante. Además, presenta un nivel de correlación con los resultados de la VAM obtenidos mediante determinación directa en laboratorio de $r > 0,90$ (Lacour, *et al.*, 1989, 1991; Berthoin, Pelayo, *et al.*, 1996). El protocolo consiste en originar incrementos de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada dos minutos, partiendo a una velocidad de 7 u $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y hasta el agotamiento.

1.3.4.3. La VAM en el patinaje de velocidad.

En el patinaje de velocidad, la velocidad aeróbica máxima no es un parámetro estudiado ni analizado hasta el momento por los autores especialistas en esta disciplina. No obstante, sí encontramos algunos estudios que aportan datos de velocidad en el $\text{VO}_{2\text{max}}$ sin referirse a ellos como la VAM y/o $v\text{VO}_{2\text{max}}$.

Krieg, *et al.*, (2006), por ejemplo, aportan valores en una muestra de patinadores sobre ruedas con $36,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de valor medio de la VAM. El protocolo se iniciaba a $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con 3 minutos de duración en cada estadio, incrementos de $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ por estadio y 1 minuto de pausa entre estadios hasta el agotamiento.

En estudios más recientes, Lozano (2009) realizó un test interválico incremental a un grupo de 30 patinadores con resultados inferiores $34,31 \pm 0,31 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Más tarde para estudiar los efectos de un entrenamiento aeróbico específico de 10 semanas, se compararon los resultados en 15 patinadores que desarrollaron un test al inicio y otro a la finalización del mismo con los siguientes resultados: $34,16 \pm 0,31$ y $34,96 \pm 0,41 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en el pre-test y post-test respectivamente (Lozano, 2010). Los protocolos propuestos por este autor se iniciaban a $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con 800 m de duración por cada estadio, incrementos de $0,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ por estadio y 45 segundos de pausa entre los estadios hasta la finalización con el agotamiento de los patinadores.

Hecksteden, *et al.*, (2013) realizaron un test incremental interválico y sin analizador de gases (indirecto) obteniendo $33,9 \pm 2,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en un grupo de 4 patinadoras y 12 patinadores sin hacer distinción de sexos en la estadística. El

protocolo propuesto se iniciaba a $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con 3 minutos de duración en cada estadio, incrementos de $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ por estadio y 1 minuto de pausa entre estadios hasta el agotamiento.

En la mayoría de estos estudios, los patinadores portaban un analizador de gases portátil lo que provoca una ligera modificación sobre la mecánica habitual de patinaje. Asimismo, la diferencia en las cifras obtenidas en estos estudios podría depender de diversos factores: pistas de diferente longitud, muestras de diferente nivel, valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$ distintos entre otros y/o, por supuesto, que los protocolos eran muy distintos (Tab. 1.3.4.1.). En este sentido también son importantes las diferencias en factores que puedan afectar el rendimiento final como el calentamiento, el número, duración e intensidad de los incrementos, las pausas y/o la duración total del test como ya propusieron en la carrera Berthon & Fellmann (2002).

Aunque no hay estudios realizados sobre la VAM en el patinaje de velocidad podemos predecir la utilidad práctica de este parámetro gracias a la literatura científica desarrollada en base a otras especialidades deportivas.

Tab. 1.3.4.1. Revisión de estudios de valoración de la VAM_p y/o $v\text{VO}_{2\text{max}}$

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Protocolo del Test</i>	<i>Analizador de Gases</i>	<i>VAM_p o Vel Max en el test km·h⁻¹</i>
<i>Krieg, et al.</i>	2006	Directo $24\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ $\Delta 3\text{km/h} \cdot 3\text{min}^{-1}$ 1min Pausa	Sí	$36,1 \pm 1,0$
<i>Lozano</i>	2009	Directo $24\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ $\Delta 0,8\text{km}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 800\text{m}$ 45sec Pausa	Sí	$34,31 \pm 0,31$
<i>Lozano</i>	2010	Directo $24\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ $\Delta 0,8\text{km}\cdot\text{h}^{-1} \cdot 800\text{m}$ 45sec Pausa	Sí	$34,16 \pm 0,31$ $34,96 \pm 0,41$
<i>Hecksteden, et al.</i>	2013	Indirecto $24\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ $\Delta 2\text{km/h} \cdot 3\text{min}^{-1}$ 1min Pausa	No	$33,9 \pm 2,4$

➤ *VAM y rendimiento humano.*

Si nos centramos en otras disciplinas de resistencia, en el ámbito de la carrera atlética donde la VAM sí ha sido ampliamente estudiada, la utilidad práctica de la velocidad aeróbica máxima es indiscutible (Tuimil & Rodríguez, 2003). Numerosos autores coinciden en la importancia que supone la VAM o $v\text{VO}_{2\text{max}}$ para la predicción de los resultados en las pruebas de medio fondo y fondo, integrando en un solo parámetro, la potencia aeróbica y la economía de carrera (Léger & Boucher,

1980; Hill & Rowell, 1996); además numerosos estudios encontraron correlaciones de la VAM con el rendimiento en carreras de maratón y media maratón (di Prampero, *et al.*, 1986), de 10.000 m (Morgan, *et al.*, 1989) y de 1 500 m al 5.000 m (Lacour *et al.*, 1991; Padilla, Bourdin, Barthélémy, & Lacour, 1992; Babineau & Léger, 1996).

En este sentido también se ha demostrado que la VAM resultante de desarrollar un test indirecto como el UMTT es un método práctico muy fiable para determinar las posibilidades de un deportista en disciplinas de potencia aeróbica, además de representar una referencia muy útil para la programación y planificación individual del entrenamiento (Cazorla, 1988; Lacour, *et al.*, 1989 & 1991; Montmayeur & Villaret, 1990; Mora Vicente, 1992; Berthoin, *et al.*, 1995; Léger, 1999; Tuimil & Rodríguez, 2000 & 2001).

La VAM es una buena alternativa a los parámetros de referencia tradicionalmente utilizados en la programación del entrenamiento (VO_{2max} , umbral anaeróbico, frecuencia cardíaca de reserva, velocidad de competición, etc.) como ha sido demostrado en numerosas investigaciones (Billat, Flechet, Petit, Muriaux, & Koralsztein, 1999; Tuimil, 1999; Tuimil & Rodríguez, 2000; Tuimil & Rodríguez, 2001).

1.3.5. La Fuerza Específica en el Patinaje de Velocidad.

Como ya ha sido expuesto en el apartado dedicado a la técnica, el patrón de movimiento referido a la fase de empuje implica a los extensores de la rodilla y de la cadera (sin participación de los extensores del tobillo), y en la fase de deslizamiento son las contracciones isométricas de la rodilla y de la cadera, los responsables del mantenimiento de la posición básica.

Recordamos también que para reducir la resistencia al aire, el tronco tiene que mantener una posición tan horizontal como sea posible. La musculatura del tronco puede ser parcialmente descargada y relajada, dando lugar a la llamada *cat's back* (espalda felina), pero la posición de la espalda y de la pelvis ha de ser mantenida por los extensores de la cadera. Un ángulo bajo de la rodilla también reduce la resistencia al aire y es un pre-requisito para una óptima técnica de empuje. Esto requiere contracciones isométricas de los extensores de la rodilla durante la fase relativamente larga de deslizamiento que supone aproximadamente un 80% del total de la fase de apoyo. Cuánto más bajo sea el ángulo de la rodilla, mayores serán las fuerzas para el mantenimiento de la posición básica de la técnica.

Así, y en base a la mecánica específica del patinaje de velocidad (Van Ingen Schenau, de Boer, Geijsel, & de Groot, 1988) y las mediciones electromiográficas (principalmente de flexores y extensores de la rodilla y la cadera) realizadas durante la ejecución de los movimientos (de Boer, Vos, *et al.*, 1987; de Boer, Cabri, *et al.*, 1987) podremos aproximarnos a las demandas específicas de la fuerza en el patinaje de velocidad.

De acuerdo a los máximos valores de fuerza obtenidos en voluntarios del equipo sueco de patinaje de velocidad (Ekblom, Hermansen, & Saltin, *et al.*, 1967), la fuerza de los extensores de la cadera y de las rodillas en la posición de patinaje supone alrededor del 25 al 35% de sus valores máximos. En estos niveles de fuerza, el flujo sanguíneo puede verse comprometido, desencadenando una mayor participación del metabolismo anaeróbico y pudiendo provocar fatiga local rápidamente (Foster, *et al.*, 1999). Esto hace que la fase de recuperación de la técnica sea fundamental, con el objetivo de relajar la musculatura y provocar un flujo sanguíneo en la musculatura implicada. Desde un punto de vista mecánico es fácil comprender que durante la fase de deslizamiento el centro de masas debe estar

posicionado sobre la articulación del tobillo. En esta posición los flexores plantares y dorsales no necesitan ser activados más allá de los posibles desequilibrios no previstos que sufra el patinador. Un desplazamiento del centro de gravedad hacia delante causará la activación de la musculatura de la parte posterior de la pierna; esto puede causar una flexión involuntaria, con la consiguiente presión en la parte delantera del patín, aumentando la fricción con la superficie sobre la que se patine en la fase final del empuje. Sin embargo cuando esto ocurre también se produce una descarga en la musculatura extensora en las articulaciones de la rodilla y de la cadera; siendo muy habitual al final de las carreras.

Desde la perspectiva de los patrones de activación muscular (de Boer, Cabri, *et al.*, 1987; de Koning, de Groot, & Van Ingen Schenau, 1991; Houdijk, Heijnsdijk, *et al.*, 2000), se puede deducir que el empuje puede ser considerado una acción de catapulta. Durante la fase anterior de deslizamiento los extensores y flexores de rodilla están activados. El resultado es una fijación y estabilización de la articulación de la rodilla. Al inicio de la fase de empuje, la actividad electromiográfica de los flexores de la rodilla, los cuales impedían la extensión, desaparece, resultando en una corta y explosiva extensión de la articulación de la rodilla. La ventaja de este patrón es que los extensores de la rodilla están semi-extendidos, por lo cual estos músculos pueden comenzar su actividad concéntrica con altos niveles de fuerza. La fase de empuje comienza con la activación del gluteus maximus seguida de los extensores de rodilla y ambos generan la potencia de la fase de empuje.

El efecto de la potencia generada durante el empuje es el incremento de la energía cinética, la cual depende del producto del componente horizontal de la fuerza de empuje y de la diferencia de velocidad entre el centro de masas corporal y el patín. Esta diferencia respecto a los valores de la velocidad, y de los tiempos empleados, depende y es proporcional a la fuerza de empuje, cuya resultante es una elevada magnitud de trabajo provocada por los apoyos, los cuales implican principalmente, a la musculatura de la cadera y de la rodilla. Así de este modo esta diferencia en los valores de velocidad y tiempos es derivativa y proporcional a la fuerza de empuje, y resulta en altas cantidades de trabajo por apoyo que son principalmente desarrolladas por los extensores de la cadera y de la rodilla. Los rendimientos de un empuje explosivo y corto alcanzan valores instantáneos de 2000 w (de Groot, Hollander, Sargeant, Van Ingen Schenau, & de Boer, 1985), y la

duración de la curva efectiva de potencia es alrededor de 0,15 s. Estos niveles de fuerza, así como las velocidades de contracción muscular resultan elevadas, si las comparamos con otras actividades cómo el ciclismo (Kandou, *et al.*, 1987).

En la década de los años 80, numerosos autores se esforzaron por construir un modelo que permitiera calcular el trabajo (W) y/o la potencia (P) desarrollados por un patinador en distintas distancias y/o fases de la técnica. El más utilizado ha sido el de Van Ingen Schenau (1982), a partir del cual muchos estudios han determinado W y/o P. A grandes rasgos, estos modelos calculan la potencia generada haciendo un transporte de los datos obtenidos en cicloergómetro para tiempos similares a los cubiertos en las distancias oficiales en el patinaje de velocidad.

A partir de esta perspectiva, el análisis del patinaje de velocidad se podría reducir, al análisis de las fuerzas que provocan el avance, es decir, el consumo máximo de O₂, y su aprovechamiento (y/o pérdida) en función de la aplicación de la aplicación angular de las fuerzas, por un lado, y por otro lado, al análisis de las resistencias que se oponen al avance, es decir, la resistencia al aire, y la resistencia por rozamiento en función de la superficie donde se patina.

A continuación y cerrando este epígrafe se presenta una tabla resumen con los estudios que han valorado la fuerza y el trabajo a partir de las fórmulas resultantes desarrolladas a partir de los modelos de estimación de potencia. de Boer, *et al.*, (1987) es el único autor que realizó mediciones de fuerza o potencia específicas en el patinaje de velocidad sobre ruedas:

Tab. 1.3.5.1. Estudios con mediciones específicas de fuerza en patinadores.

Autor	Año	Sujetos	Modelo	Valoración	Protocolo	Velocidad	Trabajo W	Potencia P	
					y/o Distancia	km·h ⁻¹ // m·s ⁻¹	J // J·kg ⁻¹	w // w·kg ⁻¹	
Van Ingen Schenau	1982	6 Patinadores de Velocidad Equipo Holandés	P_0	-	k_n	500 m	-- // 13,50	-- // --	410 // --
						1500m	-- // 12,82	-- // --	355 // --
						5000m	-- // 11,77	-- // --	298 // --
						10000m	-- // 11,27	-- // --	275 // --
de Boer, Vos, et al.	1987a	8 Patinadores de Velocidad Equipo Holandés	$P_f = k_1 \cdot v^3 + k_2 \cdot v$		Hielo 7 x 400m	-- // 9,78 ± 0,39	-- // 2,30 ± 0,18	-- // 3,33 ± 0,44	
					Ruedas 7 x 260m	-- // 8,04 ± 0,30	-- // 2,36 ± 0,25	-- // 3,31 ± 0,26	
Van Ingen Schenau, et al.	1988	6 Patinadores de Velocidad Equipo Holandés			Cicloergómetro sprint 30 s	-- // --	-- // --	1348 ± 138 // 17,3 ± 1,7 (Pico)	
						-- // --	-- // --	1103 ± 93 // 14,2 ± 1,0 (Media)	
de Koning, et al.	1991a	5 Patinadores de Velocidad Equipo Holandés			1500m	Cadera	-- // --	-- // 6,30 ± 1,52	
						Rodilla	-- // --	-- // 5,59 ± 1,59	
						Tobillo	-- // --	-- // 4,80 ± 1,54	
de Koning, et al.	1992	13 Patinadores de Velocidad Olímpicos	$P_a(t) - P_{air}(v) - P_{ice}(v) = d \cdot (1/2mv^2) / dt$		500m sprint	-- // --	492,6 // --	-- // --	
Houdijk, Heijnsdijk, et al.	2000	10 Patinadores de Velocidad Equipo Holandés	P_0	-	k_n	1600m	-- // 11,23 ± 0,23	173,1 ± 37,3 // -- (total)	261 // --
							-- // 9,96 ± 0,57	-- // --	219,9 ± 24 // --
Houdijk, de Koning, et al.	2000	10 Patinadores de Velocidad Equipo Holandés	P_0	-	k_n	1600m	-- // 9,96 ± 0,57	-- // --	219,9 ± 24 // --
de Koning, et al.	2005	7 Patinadores de Velocidad Equipo Holandés	$P_{an} = P_{an-con} + P_{an-max} \cdot e^{-\lambda t}$		100m	10,32 ± 0,29	-- // --	553,8 ± 115	
					300m	12,51 ± 0,54		487,7 ± 113	
					500m	12,28 ± 0,76		357,3 ± 86,4	
					700m	12,12 ± 0,84		343,8 ± 80,4	
					900m	11,76 ± 0,89		324,6 ± 63,4	
					1100m	11,64 ± 0,86		326,4 ± 75,6	
					1300m	11,40 ± 0,87		314,7 ± 61,5	
1500m	11,42 ± 0,79		333,3 ± 84,8						

1.4. Valoración Funcional en Patinaje de Velocidad.

Foster (1989) define las pruebas de valoración funcional aplicadas al deporte como la utilización de mediciones que se le realizan a un deportista con el objetivo de definir los componentes fisiológicos que contribuyen a su marca deportiva, predecir su rendimiento, prescribir intensidades de entrenamiento y controlar la evolución del mismo

Un programa de valoración funcional beneficiará al entrenador y al deportista en varios aspectos (MacDougall, Wenger, & Green, 1995):

- El programa de valoración indica los factores de un deportista en relación con el deporte que practica y proporciona datos de base para la planificación de un programa individual de entrenamiento.
- El programa de valoración proporciona feedback a lo largo de la carrera del deportista e inter-deportistas.
- El programa de valoración proporciona información acerca del estado de salud del deportista.
- El programa de valoración es un proceso educativo en el que el deportista adquiere un conocimiento más profundo sobre su cuerpo y sobre el deporte que practica.

A continuación se detallan las características que conforman una valoración efectiva (MacDougall, *et al.*, 1995):

- Las variables evaluadas son importantes en el deporte que pretendemos valorar.
- Las pruebas seleccionadas son válidas y fiables.

Una prueba es válida cuando mide lo que afirma medir.

Una prueba es fiable cuando los resultados son consistentes y pueden reproducirse.

- Los protocolos de las pruebas son específicos al deporte.

- La prueba debe ser administrada con absoluta rigidez.
- Hay que respetar los derechos humanos del deportista.
- La evaluación debe llevarse a cabo a intervalos regulares.
- El entrenador y el deportista deben recibir una interpretación directa de los resultados de las pruebas.

Las pruebas de valoración funcional se clasifican en pruebas de laboratorio, de campo o mixtas. En las pruebas de laboratorio existe un control de las variables medidas así como una alta reproductibilidad del proceso, sin embargo, la actividad que realiza el sujeto es simulada y pierde especificidad. Por el contrario, las pruebas de campo ganan especificidad perdiendo control y reproductibilidad de las variables medidas (Adams, 1990).

El nacimiento de las pruebas de valoración funcional en laboratorio tiene su origen en el ámbito de la salud, concretamente por la necesidad de valorar a personas con patologías a nivel cardíaco (Wasserman, Hansen, Sue, Casaburi, & Whipp, 1999). La clasificación de estas pruebas se realiza en dos grandes grupos:

- Pruebas progresivas sub-máximas o máximas.
- Pruebas de carga constante.

Actualmente encontramos taxonomías más específicas de los protocolos de valoración en el ámbito del rendimiento deportivo (Hopkins, Schabort, & Hawley, 2001):

- *Protocolos de carga constante:* Se trata de pruebas en las que el deportista realiza una cantidad de trabajo o distancias fijas (Jensen, & Johansen, 1998; Schabort, Hawley, Hopkins, Mujika, & Noakes, 1998; Perrey, Grappe, Girard, Bringard, Gros Lambert, Bertucci, & Rouillon, 2003).
- *Protocolos de duración fija:* Son pruebas en las que se debe realizar la máxima cantidad de trabajo o cubrir la mayor distancia posible en un tiempo establecido (Simoneau, Lortie, Boulay, & Bouchard, 1983; Coggan, & Costill, 1984; Williams, Barnes, & Signorile, 1988; Jeukendrup, Saris, Brouns, & Kester, 1996).

- *Protocolos de potencia constante:* Son test en los cuales los sujetos mantienen constante la producción de potencia hasta la fatiga, definida como la incapacidad para mantener la potencia, velocidad o frecuencia; midiendo el tiempo de mantenimiento de dicha potencia (Coggan, & Costill, 1984; Coyle, Coggan, Hemmert, & Ivy, 1986; Graham, & McLellan, 1989; McLellan, Cheung, & Jacobs, 1995; Jeukendrup, *et al.*, 1996).
- *Protocolos para evaluar la potencia crítica:* Se trata de realizar series con una carga constante aunque cada una de las cuales a distintas intensidades. La potencia y duración de cada serie se combinan en una ecuación matemática que estima la potencia crítica y la capacidad de trabajo anaeróbica (Nebelsick-Gullet, Housh, Johnson, & Bauge, 1988; Bulbulian, Jeong, & Murphy, 1996; Smith, Dangelmaier, & Hill, 1999; Bull, Housh, Johnson, & Perry, 2000; Pringle, & Andrew, 2002).
- *Protocolos incrementales para determinar el umbral anaeróbico:* Son series progresivas, cada una de las cuales se realiza a intensidad constante. Es habitual el registro de ácido láctico y de las variables cardiorrespiratorias en estas pruebas (Caiozzo, Davis, Ellis, Azus, Vandagriff, Prietto, & McMaster, 1982; Cheng, Kuipers, Snyder, Keizer, Jeukendrup, & Hesselink, 1992; McLellan, & Jacobs, 1993; Zhou, & Weston, 1997; Jensen, & Johansen, 1998; Padilla, Mujika, Orbañanos, & Angulo, 2000).
- *Protocolos incrementales para determinar la potencia aeróbica máxima:* Se trata de una prueba progresiva hasta la fatiga, son protocolos que tienen una duración de entre 10 y 20 minutos y dónde el rendimiento es medido como la potencia alcanzada en el punto de fatiga, o el VO₂ más elevado medido durante el test (Davies, Tuxworth, & Joung, 1970; Lindsay, Hawley, Myburgh, Schomer, Noakes, & Dennis, 1996; Zhou, & Weston, 1997; Jensen, & Johansen, 1998).

Al elaborar un protocolo de evaluación de la potencia aeróbica máxima hay que tener en cuenta los siguientes criterios (Thoden, 1995):

1. Los ritmos de trabajo iniciales deben ser de una intensidad suficientemente baja como para que sirvan de calentamiento.

2. Los incrementos de trabajo progresivos deben ser lo suficientemente pequeños como para evitar incrementos excesivos de lactato y fatiga muscular local, pero lo suficientemente grandes como para que la duración total de la prueba no se prolongue hasta un punto en que la depleción de substratos, temperatura corporal, ansiedad, malestar físico o aburrimiento fueren al deportista a abandonar sin progresión hacia el VO_{2max} .
3. Es muy importante que el modo de ejercicio con respecto al ritmo, resistencia, masa muscular utilizada y amplitud de movimiento, sea representativo de la actividad competitiva del deportista.
4. También es esencial que los incrementos de la carga de trabajo no sean inducidos de forma que cambien el modo de ejercicio durante el transcurso de la prueba, hasta el punto de alterar significativamente su eficiencia o los grupos musculares implicados.
5. Las pruebas que vayan a ser utilizadas como base para la comparación de deportistas deben emplear un modo de ejercicio que todos los participantes puedan realizar con niveles similares de eficiencia mecánica.

El elemento común en los criterios precedentes es la necesidad de llegar a una respuesta de potencia que genere una estabilización del VO_2 . Esta respuesta de energía se puede alcanzar por métodos de trabajos continuos o discontinuos, y cada uno de ellos tiene sus ventajas e inconvenientes.

1.4.1. Test Fisiológicos de Campo para el control del entrenamiento: aspectos metodológicos.

Los *test de campo* son de gran utilidad para el entrenador y para el atleta aportando información aplicable y cuantificable, y requieren una baja inversión en tiempo y equipamiento especializado. Los test de estimación han sido desarrollados para medir parámetros fisiológicos específicos como la fuerza, potencia anaeróbica (Margaria, Aguemo, & Rovelli, 1996; Kalamen, 1968) y potencia aeróbica (Astrand & Ryhming, 1954). Los test de estimación aeróbica más populares utilizan actividades generales como caminar, correr o pedalear para estimar el consumo de oxígeno, basado en una carga externa conocida de velocidad o potencia. El uso de actividades conocidas para testar a los sujetos minimiza la posibilidad de aparición de errores (por efecto del aprendizaje) o de la fatiga localizada, debido al uso de grupos musculares atípicos para un atleta en particular.

La correlación con la medición directa y la reproductibilidad test - retest toman particular interés en los test de campo. Test de estimación, como los de carrera en pista de la Universidad de Montreal (UMTT) de Léger & Boucher (1980), el de carrera de ida y vuelta de 20m de Léger & Lambert (1982) de ciclismo de Astrand (Astrand & Ryhming, 1954), de carrera de Cooper (Cooper, 1968) y el de los 12 min (Balke, 1963) han sido ya validados y ampliamente discutidos en la literatura.

La idea de una prueba de estimación ha de pensarse en función de la adecuación del test, la aplicabilidad a la actividad de interés, y la población hacia la que será destinada (Ward, Milledge, & West, 1995). Por tanto, cuando evaluamos poblaciones en un deporte específico, como el patinaje de velocidad, las demandas fisiológicas del deporte deben ser conocidas.

En numerosas ocasiones evaluar en laboratorio es poco accesible para el entrenador de patinaje por numerosas razones. En el alto nivel competitivo, los fondos económicos públicos o privados podrían permitir este tipo de evaluaciones pero en niveles inferiores, los recursos económicos son habitualmente insuficientes, y los entrenadores y atletas necesitan la información que este tipo de pruebas podrían aportar.

Las mediciones directas del consumo de oxígeno durante el ejercicio requieren equipamientos técnicos específicos y de coste, por tanto, las mediciones indirectas y de predicción son una buena alternativa para medir el VO_{2max} .

Numerosos estudios han examinado la validez y la fiabilidad de los métodos de predicción del VO_{2max} . Grant, Corbett, Amjad, Wilson, & Aitchison (1995) compararon los resultados del test de Cooper, con un test incremental progresivo de ida y vuelta, con un test de ciclismo submáximo, y con una medición directa del VO_2 en un tapiz rodante calculado mediante el Gold Standar. El test de Cooper obtuvo la correlación más alta con la medición directa mientras que el test de ida y vuelta subestimó el VO_{2max} .

El test de carrera de ida y vuelta de 20 m (Léger & Lambert, 1982) es un test extensamente utilizado con un protocolo máximo que estima el VO_{2max} basado en el coste de oxígeno de la carrera. Los sujetos corren entre dos líneas situadas a 20 m al ritmo marcado por las señales sonoras emitidas por un reproductor calibrado. La velocidad de carrera está estandarizada en cada estadio. El test incrementa su dificultad conforme la velocidad de carrera se incrementa para que los sujetos cubran la misma distancia en cada estadio. La prueba finaliza cuando el sujeto llega tarde (fuera de tiempo con los *beeps*) en dos largos consecutivos. El VO_{2max} es entonces estimado por la edad cronológica y el estadio alcanzado por una regresión desarrollada por Léger & Gadoury (1989). Léger, *et al.*, (1980) utilizaron una retroextrapolación del VO_{2max} desde los valores de la curva de recuperación de O_2 como método de estimación del VO_{2max} a la conclusión del test máximo de estimación. Para validar este método los valores de VO_{2max} obtenidos por retroextrapolación de la curva de recuperación del O_2 en el tiempo cero de la recuperación, fueron comparados con el VO_{2max} medido directamente al final de un test continuo incremental. Los autores destacaron que este protocolo era útil frente a otras pruebas donde portar una bolsa de aire espirado se puede hacer voluminosa empeorando la resistencia al aire. Estos mismos autores también afirmaron que portar una máscara de recolección de gases puede ser molesto y podría afectar en evaluaciones de carrera y aplicaciones al patinaje.

La comparación de los valores obtenidos, usando la retroextrapolación de los valores de O_{2max} en la curva de recuperación respecto a los valores de medición

directa del VO_{2max} , no mostraron diferencias significativas con aquellos recogidos al inicio del post-ejercicio, y ocurridos en los primeros segundos posteriores a completar el ejercicio. Se concluyó que la retroextrapolación de la curva de recuperación de O_2 fue un método válido para medir el VO_{2max} , y que este método era particularmente útil cuando se obtenían gases espirados durante un test, que pudieran afectar a los resultados.

Léger & Lambert (1982) utilizaron este método de retroextrapolación para validar la prueba incremental progresiva maximal de carrera de ida y vuelta de 20 metros (20 MST) para predecir el VO_{2max} . El 20 MST empezaba a $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e incrementaba $0.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada dos minutos extendiéndose hasta el agotamiento del sujeto. El VO_{2max} de 91 sujetos fue calculado en el punto de agotamiento utilizando retroextrapolación.

Existen protocolos que han sido adaptados y validados específicamente para el uso en poblaciones pediátricas. Mechelen, Hlobil, & Kemper (1986) estudiaron a 82 niños de edades comprendidas entre 12 y 14 años que completaron el Léger 20 MST y compararon los valores estimados de VO_{2max} con mediciones directas calculadas en tapiz rodante. Los valores obtenidos por el test de campo no fueron significativamente diferentes a aquellos procedentes de la medición directa de VO_{2max} , demostrando la utilidad del test 20 MST en poblaciones juveniles.

Léger & Boucher (1980) validaron el test de pista de Universidad de Montreal (UMTT) comparando los resultados de test de campo con los de un protocolo idéntico en el laboratorio. Este test es similar al test progresivo de Léger de ida y vuelta de 20 m. El test fue diseñado para ser continuo, indirecto y maximal, y está basado en el coste energético de la marcha y de la carrera. El coste energético calculado es igual a la potencia aeróbica necesaria para correr a una velocidad dada expresada en $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ de oxígeno consumido por el sujeto. La validación del UMTT se realizó en una pista cubierta de 166,7 m de cuerda con curvas peraltadas. La pista se balizó con conos rojos y los sujetos corrieron a ritmo de los tonos de audio previamente grabados en una cinta de audio. La velocidad inicial del test es $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, equivalente a 5 METs y donde 1 MET es definido como la cantidad de oxígeno standard, por kg de masa corporal, necesaria para mantener la vida en un estado de reposo y (ACSM, 2013). Los incrementos de velocidad son de 2 METs

cada 2 minutos, hasta 9 METs, y por 1 MET cada 2 minutos, en los siguientes estadios hasta el final.

Para establecer la validez del UMTT, el VO_{2max} estimado obtenido del grupo de sujetos testados en campo fue comparado con 1) el VO_{2max} calculado directamente en laboratorio mediante un protocolo de carrera en tapiz rodante con idénticos aumentos al test de campo, y 2) con un test de Balke modificado. El protocolo empezaba al 0% de inclinación y $4.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ la pendiente se incrementó cada 2 minutos con un 2.5% hasta un máximo de un 20 %. Después de esto, la velocidad se incrementó en un $0.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 2 minutos. El VO_{2max} para los test en tapiz rodante fue calculado con analizador de gases previamente calibrado. Adicionalmente, el VO_{2max} fue estimado por retroextrapolación de la curva de recuperación.

El VO_{2max} estimado por el UMTT fue similar al VO_{2max} medido en el tapiz rodante utilizando el protocolo del UMTT. El VO_{2max} estimado por retroextrapolación fue también similar al VO_{2max} estimado por el UMTT. Las diferencias entre los valores directos y los estimados no fueron significativas.

Ante la ausencia de pruebas de valoración de la condición aeróbica en el patinaje de velocidad se analizaron los trabajos realizados en otros ámbitos, como la carrera atlética, con la intención de aportar nuevas ideas a este deporte

A continuación, y de acuerdo con la revisión realizada se presenta una tabla donde se exponen cronológicamente y de manera esquematizada los estudios que han valorado el VO_{2max} en patinadores velocidad, todos ellos ya han sido revisados y analizados a lo largo del apartado 1.3.1.:

Tab. 1.4.1.1. Revisión de estudios de valoración del VO_{2max} sobre patinadores.

1 Introducción y Marco Teórico

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Muestra</i>	<i>Tipo Test</i>	<i>Protocolo</i>	<i>Método</i>	<i>VO_{2max}</i> (mL·min ⁻¹)/(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	<i>HR</i> (ppm)	<i>VE</i> (L·min ⁻¹)	<i>RQ</i>
<i>Saltin & Anstrand</i>	<i>1967</i>	3 Patinadores Velocidad	Laboratorio Treadmill	W 15 km·h ⁻¹ 4,5° Inclinación Δ 15°/3min	Balón de Douglas Técnica Haldane	5,8/--	--	--	--
<i>Ferguson, et al.</i>	<i>1969</i>	17 Jugadores de Hockey	Campo Patinando Oval 140m	W de 3 min Vueltas 24/22/21/20/19 s.	Balón de Douglas	4,08 /54,7	193±7	139,7±19,2	--
<i>Maksud, et al.</i>	<i>1970</i>	10 patinadores	Laboratorio Treadmill	7 km·h ⁻¹ Δ 2,5%/min	Balón de Douglas Técnica Haldane	4,14/--	188	128	--
<i>Maksud, et al.</i>	<i>1971</i>	1 Patinador Velocidad Sprinter	Laboratorio Treadmill Campo Oval 400m	Balke Sprint 500 m recolección de gases últimos 200m	Balón de Douglas Godart Analizador Infrarojos	--/43,8 --/41,4	196 189	125 126,8	--
<i>Green</i>	<i>1978</i>	8 (2 grupos de 4) Jugadores de Hockey	Campo Patinando Oval 140m	W de 3 min Vueltas 24/22/21/20/19 s.	Balón de Douglas	4,04 ± 0,2/ 53,2±1,0 4,26 ± 0,1/ 52,4±1,4	190 ± 3,8 199 ± 7,5	123,6±5,9 131,7±5,5	-- --
<i>Lèger, et al.</i>	<i>1979</i>	2 Grupos 10Jugadores de Hockey	Campo Patinando Oval 140m Laboratorio Treadmill	W de 3 min Vueltas 24/22/21/20/19 s.	Balón de Douglas	--/62,1 Patinando --/61,4 Treadmill	-- --	-- --	-- --
<i>Geijsel</i>	<i>1980</i>	2 Grupos 10 Patinadores Liga Holandesa: 10 Mejores vs 10 Peores	Laboratorio Cicloergometro	200w 5 min + 5w/kg(Pc) hasta el agotamiento	Estimación a partir de la frecuencia cardíaca	--/66 --/62	188 186	-- --	-- --
<i>Maksud, et al.</i>	<i>1982</i>	19 Candidatos Olímpicos	Laboratorio Treadmill	3miles·h ⁻¹ Protocolo de Davis <i>et al.</i> , 1976	AnalizadorBeckman Técnica Haldane	4,37 ± 0,45 / 62,7± 3,21	194,1±5,1	142,3±24,4	1,03±0,01
<i>Van Ingen</i>	<i>1983</i>	2 grupos: 5 Patinadores Elite vs	Campo Oval 400m Laboratorio	2000m Recolección 300 últimos m.	Balón de Douglas Técnica Anstrand & Rodahl Analizador	4,4 / 59,4 EliteCampo 3,8/53,3EntrenadosCampo	180 183	137,6 116,7	1,17 1,12
<i>Schenau, et al.</i>		14 Patinadores Entrenados		Cicloergómetro Mijnhardt Supramáximo	de O2 Paramagnético y CO2 Infrarojos Mijnhardt	4,8 /64,4 Elite Lab 4,2 / 57,7 Entrenados Lab	187 181	127,2 125,5	1,26 1,28
<i>Geijsel, et al.</i>	<i>1984</i>	25 Patinadores de Velocidad	Laboratorio	Cicloergómetro Mijnhardt Freno eléctrico constante. 2min30s Max	Balón de Douglas.	4,76 ± 0,45/--	--	--	--

1 Introducción y Marco Teórico

<i>de Groot, et al.</i>	1985	25 Patinadores de Velocidad	Laboratorio	Cicloergómetro Mijnhardt Supramáximo.	Balón de Douglas Técnica Anstrand & Rodahl	4,76 ± 0,25 / --	--	--	--
<i>de Boer, Ettema, et al.</i>	1987	14 Patinadores de Velocidad	Campo Oval 400m Laboratorio Tradmill	7 vueltas máximas Low Walk Treadmill a 80 apoyo·min ⁻¹ Patinaje Seco 80 apoyo·min ⁻¹	Balón de Douglas. Analizador de O ₂ Paramagnético y CO ₂ Infrarojos Mijnhardt	--/62,1 ± 6,9 --/60±5,8 --/48,4±5,5	185±9 193±9 183±10	128,3±13,8 117,3±13,8 91,9± 21,9	1,03±0,04 1,08±0,08 1,01±0,11
<i>de Boer, Vos, et al.</i>	1987	8 Patinadores de Velocidad	Campo Oval 400m Hielo Campo Oval 267m Ruedas	7 Vueltas Max 7 Vueltas Max	Balón de Douglas. Analizador de O ₂ Paramagnético y CO ₂ Infrarojos Mijnhardt	--/50,5 ± 8,0 --/53,3 ± 6,7	174±12,2 176±14,5	102,4±11,2 116,0±11,1	1,04± 0,1 1,16± 0,1
<i>Kandou, et al.</i>	1987	8 Patinadores de Velocidad	Campo Oval 400m vs Laboratorio Tabla Deslizante vs Cicloergómetro	2300m Max Tiempo Test Campo 80 apoyos·min ⁻¹ 40 rev·min ⁻¹ 150 watt inicial + 10w·min ⁻¹	Balón de Douglas. Analizador de O ₂ Paramagnético y CO ₂ Infrarojos Mijnhardt	--/53,9 ± 4,2 --/55,1 ± 5,5 --/57,2 ± 4,9	186±4 191±8 186±10	98,8± 7,3 110,0± 8,6 111,3±10,2	1,03±0,05 1,03±0,05 1,18±0,13
<i>Nemoto, et al.</i>	1988	25 Patinadores Japoneses	Laboratorio Cicloergómetro	50 rev·min ⁻¹ w inicial + 12,5w·3min ⁻¹	Analizador de O ₂ Paramagnético y CO ₂ Infrarojos. Sanei Co.	4,06 ± 0,42 / 59,2 ± 2,80	187,2±5,89	143,6± 18,1	1,13± 0,05
<i>Van Ingen Schenau, et al.</i>	1988	6 Patinadores de Velocidad Equipo Nacional Holandés	Laboratorio Cicloergómetro	Cicloergómetro Mijnhardt Freno eléctrico constante. 2min30s Max	Balón de Douglas. Analizador de O ₂ Paramagnético y CO ₂ Infrarojos Mijnhardt	5,10 ± 0,30 / 65,5±4,5	188±3	--	1,30±0,08
<i>Van Ingen Schenau, et al.</i>	1992	8 Patinadores de Velocidad Equipo Nacional Holandés	Laboratorio Cicloergómetro	Cicloergómetro Mijnhardt Freno eléctrico constante. 2min30s Max	Balón de Douglas. Analizador de O ₂ Paramagnético y CO ₂ Infrarojos Mijnhardt	--/63,1±2,8 --/62,2±1,9	189±4 188±5	--	1,31±0,03 1,26±0,07
<i>de Koning, et al.</i>	1994	12 Patinadores Equipo Nacional Holandés 6 Exitosos 6No Exitosos	Laboratorio Cicloergómetro	Cicloergómetro Mijnhardt Freno eléctrico constante. 2min30s Max	Balón de Douglas. Analizador de O ₂ Paramagnético y CO ₂ Infrarojos Mijnhardt	4,68±0,28 / 63,1±2,8 4,57 ± 0,62 / 62,0±2,6 5,10 ± 0,24 / 61,2±2,9 4,79 ± 0,45 / 60,2±3,4	-- -- -- --	-- -- -- --	-- -- -- --

1 Introducción y Marco Teórico

Rundell & Pripstein	1995	8 Patinadores Equipo Olímpico Americano	Laboratorio Treadmill Cicloergómetro	Low Walk W 3,5miles·h ⁻¹ 2,5% Δ 2,5%·3min ⁻¹ W 78,5w Δ 40 y 20 w·min ⁻¹ W118w Δ 40 w·min ⁻¹	Ergoespirómetro SensorMedics 2900	4,43±0,35/-- Ciclo 4,13±0,34/-- Treadmill	194,5±7,3 194±10	180±31 146±13	1,23±0,07 1,01±0,05
Rundell	1996	8 Patinadores Equipo Olímpico Americano Short Track	Laboratorio Treadmill	Corriendo Patinando Patiando Bajo	Ergoespirómetro SensorMedics 2900	4,22±0,55 / 64,3±1,6 4,04 ± 0,53 / 62,3±4,0 3,73± 0,52 / 57,2 ±2,7	202±8,5 200±7 197±10,8	133± 19,9 130± 28,2 126,2±16,3	1,05±0,03 1,07±0,05 1,07±0,06
Rundell, et al.	1997	8 Patinadores Equipo Olímpico Americano Short Track	Laboratorio Treadmill	Patin 2,7m·s ⁻¹ Patin Bajo 2,7 m·s ⁻¹ Patin 3,1 m·s ⁻¹ Patin Bajo 3,1 m·s ⁻¹	Ergoespirómetro SensorMedics 2900	--/38,9±2,91 --/42,5±2,40 --/44,9±2,79 --/45,6±3,52	158±13,6 169±8,3 172±11,0 179±9,7	66± 12,1 83± 15,4 78± 9,2 130±17,1	0,87±0,05 0,99±0,08 0,87±0,04 1,06±0,10
Foster, et al.	1999	10 Patinadores Equipo Olímpico Americano Long Track	Laboratorio Treadmill	Ciclismo Patinando Patinando Bajo	Ergoespirómetro SensorMedics 2900	4,28±0,77/-- 4,26±0,70/-- 3,83±0,75/--	197±7 193±7 192±6	151± 57 143± 26 152± 33	-- -- --
Zapalo III	1999	25 Patinadores artístico	Campo Laboratorio	Protocolo propio	K4B2, Cosmed	2,40±0,72/-- 2,49±0,67/--	203±5,0 --	-- --	-- --
Houdijk, Heijnsdijk, et al.	2000	6 Patinadores Equipo Olímpico Holandés Long Track	Campo Oval 400m	Patinando 1600m Max Patinando 1600m Max Klap	Balón de Douglas. 4sujetos K4B ² , Cosmed. 2 sujetos	3,50±1,03/-- Convencional 3,48±0,96 /--Klap	175,2±6,7 172,5±6,8	-- --	1,18±0,10 1,27±0,11
de Koning, et al.	2000	2 Grupos de 12 Patinadores de Nivel Nacional	Campo Oval 400m	Patiando 1600m Max Grupo Convencional Patiando 1600m Max Grupo Klap	Balón de Douglas	4,20±0,40/-- Convencional 4,03±0,33/-- Klap	185±11 189±8	-- --	-- --
Foster, et al	2003	7 Patinadores Equipo Olímpico Americano Long Track	Laboratorio Cicloergómetro	Ciclosimulador 1500m Máximo	K4B2, Cosmed	4,34±0,34/--	--	--	--

1 Introducción y Marco Teórico

<i>Millet, et al.</i>	2003	6 patinadores de Ruedas	Campo Oval 300m	Patinando 70%	K4B2, Cosmed	-/34,8 ± 4,1	--	--	--
				Patinando 90%		-/46,5 ± 5,4	--	--	--
<i>Nobes, et al.</i>	2003	15 Jugadores de Hockey	Treadmill	Patinando W 24km·h ⁻¹ Δ	Ergoespirómetro SensorMedics	-/53,4 ± 2,3	193,3 ± 6,6	--	--
			Campo	1km·h ⁻¹ /min		2900	-/54,7 ± 3,6	187,9 ± 5,8	--
					K4B2, Cosmed				
<i>de Koning, et. al</i>	2005	6 Patinadores de Velociad Equipo Nacional Holandés	Campo Oval 400m	Patiando 5600m Max	K4B2, Cosmed	4,75 ± 0,4 /--	--	--	--
<i>Krieg, et al.</i>	2006	8 patinadores de Ruedas	Campo Oval 300m	Patiando W 24km·h ⁻¹ Δ 3km·h ⁻¹ ·3min ⁻¹ 1min Pausa	Metamax 2, Cortex Biophysics	4,85 ± 0,5 /--	190 ± 6	--	1,16 ± 0,06
<i>Lozano</i>	2009	30 Patinadores de ruedas	Oval 200 m	Patiando W 24km·h ⁻¹ Δ 0,8km·h ⁻¹ ·800m 45sec Pausa	Metamax 2, Cortex Biophysics	-/55,52 ± 1,20	194,86± 0,99	--	--
<i>Lozano</i>	2010	26 Hombres	Oval 200 m	Patiando W 24km/h Δ 0,8km/h ·800m 45sec Pausa	Metamax 2, Cortex Biophysics	-/67,85±1,70	193,40±1,53	147,60±4,43	1,15±0,01
				Cicloergómetro W 100w Δ 20w·min ⁻¹ 70rev·min ⁻¹		-/64,43 ± 1,57	193,80±1,94	153,65±4,88	1,14±0,01
<i>Stangier, et. al.</i>	2014	8 patinadores de Ruedas Alto Nivel	Lab Cicloergómetro vs Campo Corriendo vs Oval 200m	--	--	65,4±6,3	187±9	--	--
				--	--	66,8±3,5	191±9	--	--
				--	--	66,4±6,5	190±9	--	--

1.4.2. Test de Campo en el Patinaje.

Numerosos autores, cómo ya ha sido expuesto, desarrollaron protocolos propios con el fin de llevar a cabo las determinaciones del consumo máximo de oxígeno, en el campo deportivo, de la manera más específica posible y acorde con el gesto deportivo de los patinadores. Seguidamente veremos algunos de los que consideramos más importantes.

Zapallo III (1999) diseñó y validó una prueba incremental progresiva con patinadores de alto nivel de competición en patinaje artístico. Su estudio consistió en 2 fases: 1. Diseño y validación del protocolo de valoración patinando y 2. Una investigación de la validez y la fiabilidad de del Analizador de Gases K4 de Cosmed en la recogida de datos durante los test en el hielo. Dos grupos de sujetos, uno en California (n = 20) y uno en Calgary (n = 7) completaron dos pruebas en hielo del Test Progresivo de Patinaje (PST) y un test en cicloergómetro. El estudio de validación se realizó con dos grupos adicionales (n = 9, n = 10, respectivamente) que completaron 4 pruebas máximas en cicloergómetro: 2 con el k4 y 2 con el Horizon MMC. Todos los test se realizaron hasta el agotamiento.

El Test Progresivo de Patinaje (PST) consta de un recorrido señalizado con siete conos en una pista de Hockey hielo con medidas standard de NHL (National Hockey League). Las pistas prototipo utilizadas para probar este diseño fueron las incluidas en el interior del Oval Olímpico de la Universidad de Calgary.

Los conos se situaron: 1 en el centro de la pista, en el punto rojo de fuera de juego; en cada uno de los bordes externos de los círculos de saque del fuera de juego se situó un cono en cada uno de ellos; y otros más centrado en cada una de las líneas de gol. Se escogieron conos de plástico de color naranja por la seguridad y la visibilidad.

Cada vuelta al recorrido del test constó de 88 metros y la mitad de vuelta 44 metros. El protocolo de test fue diseñado para que cada 90 s el número de mitades de vuelta se incrementase en cada estadio sucesivo. La distancia cubierta fue regulada dando indicaciones a los sujetos mediante *beeps* de audio reproducidos claramente por la megafonía de las pistas. Así, los sujetos patinaban realizando un circuito en

forma de 8, mitad del cual lo hacían desplazándose hacia delante y la otra mitad hacia atrás.

Se observó un incremento lineal en el VO_2 respecto la velocidad de patinaje y no existieron diferencias significativas entre las mediciones repetidas de test-retest del PST. Sin embargo no se pudo determinar un modelo de regresión porque hubo diferencias relativas a los valores determinados de VO_2 entre los sujetos del grupo de California y el grupo de Calgary. Las diferencias podrían deberse a una combinación de circunstancias como que el analizador de gases utilizado en California dio resultados altamente significativos respecto a los valores de los instrumentos utilizados en Calgary, las diferencias en la calidad del hielo, los patines utilizados por los sujetos, y las competencias individuales de los patinadores que causaron diferencias en la eficiencia del patinaje.

A pesar de las diferencias entre los grupos, dentro de cada grupo no existieron diferencias significativas entre los valores de VO_{2max} alcanzados utilizando el mismo instrumento de recogida para el PST y el test máximo en cicloergómetro. Estos hallazgos indican que el PST es una herramienta fiable para testar el VO_{2max} de manera específica en este deporte.

Lozano (2010) plantea el que será el único estudio científico de diseño de un test específico para el patinaje de velocidad sobre ruedas. El objetivo fue obtener valores fisiológicos y funcionales que identificaran lo que él definía como cualidad aeróbica: *capacidad aeróbica, umbrales aeróbico y anaeróbico como indicadores de resistencia aeróbica, capacidad de recuperación, resistencia a la velocidad*; a la vez que esto le permitiera establecer las cargas de entrenamiento y el control del mismo y predecir su rendimiento en competición. Para ello pretendía validar un test de campo de acuerdo a la metodología continua de Conconi, Ferrari, Ziglio, Droghetti, & Codega, (1982) y Conconi, *et al.*, (1996) y la interválica propuesta por Probst, Comminot & Rojas, (1989), pero adaptadas al patinaje sobre ruedas. Para identificar el umbral anaeróbico se basó en la pérdida de la relación entre la velocidad de carrera y la frecuencia cardíaca y en función del número de estadios completados estableció una correlación con pruebas directas para estimar el VO_{2max} .

El estudio lo dividió en dos fases experimentales. En una primera fase experimental realizó un test máximo incremental e interválico, determinándose los

valores máximos a través de la ergoespirometría (consumo de oxígeno máximo, frecuencia cardiaca máxima y valores en el umbral anaeróbico). Al cabo de 3 días realizó el test de campo, con ergoespirometría en el patinódromo, siguiendo la metodología de Probst, *et al.*, (1989) y la metodología de Conconi, *et al.*, (1982, 1996), adaptadas al patinaje. Fue un test máximo e interválico, y en él buscó conocer y adaptar las cargas ideales del test y poder conocer los valores máximos, al igual que en el umbral anaeróbico. Al cabo de 10 semanas, se volvieron a repetir estos mismos test para ver la reproducibilidad y mejoría de los mismos, y así poder asignar las adaptaciones que fueron necesarias para el buen desarrollo del test de campo, realizado en la fase decisiva.

En el desarrollo de la primera fase experimental realizaron un test de cargas progresivas (máximo y discontinuo) donde estandarizaron un calentamiento de 10 minutos para cada deportista con su indumentaria e implementación específica para su desarrollo sobre el patinódromo. Posteriormente se equipaba al patinador con el ergoespirómetro portátil Metamax II. Con el pulsómetro (polar S610) se registró la frecuencia cardiaca. El test se iniciaba con una velocidad de $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e iba aumentando la velocidad en $1,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ entre período y período, al realizar 6 vueltas completas al patinódromo (es decir 1200 m de distancia total por periodo). Durante el trayecto del patinódromo de 200 m se encontraba, cada 50 m, una señalización visual, marcada por un cono, donde el patinador controlaba su velocidad de carrera a través de la señal acústica emitida por el cronómetro. Después de rodar las 6 vueltas, entre período y período, se prosiguió con una recuperación de 30 s para luego dar inicio al otro período en el mismo punto de partida (con su respectivo aumento) y hasta llegar al agotamiento (el patinador no llegaba al punto señalado cuando sonaba la señal acústica). Después de rodar las 2 vueltas (400 metros), se aumentaba la velocidad en $0,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ pero sin dar ningún tipo de descanso o recuperación entre cambios de velocidad, de tal manera que era continuo hasta el agotamiento, o se veía que el patinador no llegaba con exactitud al punto de referencia.

En la segunda fase experimental realizaron un test de laboratorio continuo y máximo sobre el cicloergómetro (Cyclus 2). Se determinaron los parámetros fisiológicos, mediante el analizador de gases Metamax II: $\text{VO}_{2\text{max}}$, umbral anaeróbico y la frecuencia cardiaca máxima, que se controló con el pulsómetro Polar S610, durante todo el test. Previamente el autor estandarizó un calentamiento de 10 min,

con una resistencia de 60 W. Al cabo de 3 minutos, empezaron el test con una resistencia de 100 W, con incrementos de 20 W cada minuto, manteniendo en todo momento un ritmo de cadencia de 70 rpm como mínimo. El test finalizaba cuando el sujeto evaluado no podía mantener el ritmo, o por fatiga muscular (local o general). Con los datos obtenidos en el test de campo de la fase experimental, se ajustaron los ritmos y las fases de recuperación.

En este sentido se prosiguió con la fase decisiva con los ajustes realizados a la fase experimental en el test de campo. Se estandarizó un calentamiento de 10 minutos, sin portar ningún tipo de equipo o material. Al cabo de este tiempo se equipaba al patinador con el equipo Metamax II y el pulsómetro S610, para controlar las variables ventilatorias y cardíacas. El test daba inicio con una velocidad de 20,8 km·h⁻¹, siguiendo el mismo mecanismo del primer test, donde cada 50 m había una señal visual, referenciada por un cono, con la finalidad de llevar el ritmo de carrera por medio de la señal acústica enviada por el software TIVRE-Patín® v.1.0. rodando durante 4 vueltas completas al patinódromo (800 metros). En este caso, y de manera definitiva, el autor estableció, para la prueba de campo, unos incrementos de 0.8 km·h⁻¹ con descansos entre las fases de 45 s.

En definitiva, en la literatura científica encontramos una multitud de estudios que determinan el VO_{2max} en patinadores de velocidad de los cuales una minoría lo realizan en el campo deportivo y sobre patines. Por otra parte no hemos encontrado estudios cuyo objetivo principal sea conocer el VO_{2max} de los sujetos ni la velocidad a la que se obtiene el mismo (VAM) por lo que no pueden ser considerados test específicos cuyo fin sea la determinación de estos valores.

1.5. Resumen al Marco Teórico.

PRIMERO: *La literatura científica existente que estudia y analiza la técnica en el patinaje de velocidad se centra en el patinaje de velocidad sobre hielo.*

SEGUNDO: *Los trabajos de de Boer, Vos, et al., (1987) evidencian una similitud entre el patinaje de velocidad sobre ruedas y el patinaje de velocidad sobre hielo desde un punto de vista biomecánico y fisiológico; esto, nos permite apoyarnos en la bibliografía existente sobre la disciplina en hielo para basar muchos aspectos de este trabajo.*

TERCERO: *La VAM es un parámetro que no ha sido estudiado ni definido en el patinaje de velocidad, aunque algunos autores han identificado la velocidad en el VO_{2max} mediante otros protocolos (Krieg et al., 2006; Lozano, 2009; Lozano, 2010).*

CUARTO: *El VO_{2max} es un factor fisiológico ampliamente estudiado en el patinaje de velocidad sobre hielo con pruebas de valoración en campo y en laboratorio; no obstante, en el patinaje de velocidad sobre ruedas pocos estudios en la literatura científica se centran en el estudio y determinación del VO_{2max} en el campo deportivo.*

QUINTO: *Desde la perspectiva de la valoración funcional y a pesar de la amplitud de estudios en la literatura científica en base al VO_{2max} no se han validado pruebas de valoración específicas ni protocolos para el conocimiento de estos parámetros del rendimiento en el patinaje de velocidad.*

SEXO: La VAM ha sido demostrada como un parámetro que correlaciona fuertemente con el rendimiento y que permite el entrenamiento en base al mismo en otras disciplinas como la carrera atlética. Esto nos permite pensar que el conocimiento de este parámetro y la creación de un protocolo para su determinación por parte de los entrenadores ayudará en la mejora del rendimiento deportivo en esta disciplina.

2

Justificación y Objetivos

2. Justificación y Objetivos.

El Patinaje de Velocidad sobre ruedas es un deporte moderno, joven y en rápida evolución. Como tal es importante conocer los factores de rendimiento aún no descritos, caracterizar poblaciones y aportar herramientas que permitan conocer este deporte, entrenar a los patinadores y trabajar en futuros estudios.

Dentro de los factores fisiológicos del rendimiento, el VO_{2max} , los umbrales ventilatorios y, fundamentalmente, la velocidad aeróbica máxima (VAM), son los parámetros que pueden aportarnos mayor información para conseguir una mejora en el rendimiento en el patinaje de velocidad, como ha venido sucediendo en las carreras atléticas de resistencia (Lacour, *et al.*, 1991, Tuimil & Rodríguez, 2003). La escasez de información sobre los parámetros fisiológicos, sobre los que basar el entrenamiento, de los patinadores de velocidad de alto nivel hace necesario el planteamiento de estudios orientados a su determinación.

Por consiguiente, el presente estudio tiene como propósito principal la caracterización funcional de una muestra de patinadores de velocidad de alto nivel a través de una ergoespirometría máxima, realizada en el campo deportivo.

De igual modo el conocer la influencia de las variables morfológicas o el efecto que supone transportar el analizador de gases, son otros de los objetivos que persigue la siguiente investigación. En este sentido se ha reportado información de la influencia en el rendimiento, tanto de los aspectos morfológicos en patinadores (Knechtle, *et al.*, 2011; Teutsch, *et al.*, 2013), como del analizador de gases, en valoraciones específicas realizadas con jugadores de tenis (Baiget, *et al.*, 2006; Baiget, 2008).

Los objetivos de este estudio serán:

1. *Determinar los valores de las variables morfológicas en patinadores de alto nivel y analizar su influencia en el rendimiento del patinaje de velocidad.*
2. *Determinar los valores de las principales variables funcionales: VO_{2max} (absoluto y relativo), Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).*
3. *Describir y analizar los valores incrementales medios de VO_2 , VO_2 relativo, Frecuencia Cardíaca y Ventilación a lo largo de una prueba, incremental, continua, escalonada y maximal.*
4. *Determinar el valor de la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p), mediante una prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal.*
5. *Comprobar si la misma prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal, realizada sin analizador de gases provoca diferencias respecto a la velocidad final alcanzada.*
6. *Valorar el nivel de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y el Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}).*
7. *Determinar los niveles de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y los Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).*

2 Justificación y Objetivos

2 Justificación y Objetivos

3

Material y Método

3.1. Sujetos.

12 Patinadores de Velocidad sobre ruedas, varones, de alto nivel, y sumando un total de más de 200 participaciones en Competiciones Oficiales Internacionales, tomaron parte de manera voluntaria en este estudio.

El principal criterio de inclusión era conseguir un grupo homogéneo, respecto al rendimiento en el patinaje de velocidad de alto nivel y motivado para el desarrollo de varios test de gran estrés físico y psicológico. El nivel de los participantes en este estudio era de alto nivel. Todos los patinadores de la muestra tenían en su haber múltiples participaciones en competiciones de nivel internacional reconocidas por la F.I.R.S. y habían sido medallistas en Campeonatos Nacionales en alguna ocasión dentro de las categorías Juvenil, Junior y/o Senior. Todos ellos, en el momento de realización de los test, habían participado en alguna Competición Internacional Oficial con el equipo nacional, y en muchos de los casos resultando medallistas (Campeonatos de Europa, Campeonatos del Mundo, Copas de Europa, Copas del Mundo y/o World Games).

Los patinadores que conformaron la muestra estaban habituados a competir en distancias entre los 5.000m y los 20.000m de manera habitual. No obstante, todos ellos también realizaban distancias más cortas o más largas debido a que en el patinaje de alto nivel se suelen simultanear distancias de manera habitual.

De los 18 sujetos iniciales se descartaron 3 por incompatibilidad de fechas y localización geográfica, y 3 más por lesión en entrenamientos a lo largo del transcurso del estudio. Todos los patinadores entrenaban en el Centro de Tecnificación de Patinaje de Velocidad del Principado de Asturias en calidad de patinadores y técnicos.

El estudio tuvo lugar en el inicio del segundo periodo preparatorio general de la temporada en el cual los deportistas todavía no habían comenzado a participar en competiciones de carácter internacional.

Así, el grupo de estudio lo constituyeron finalmente 12 patinadores de velocidad de nivel internacional, con las características de edad, talla, peso y VO_2 que se describen en la Tab. 3.1.

El grupo entrenaba con regularidad durante la realización del estudio y todos aceptaron el compromiso de contar, al menos, con 8 horas de entrenamiento sobre los patines dentro de sus rutinas semanales e individualizadas de entrenamiento. Una vez realizada la selección definitiva, se informó al grupo detalladamente del protocolo experimental. Todos los integrantes del grupo firmaron una declaración de consentimiento informado, en la cual asumían su participación voluntaria, así como todas las consecuencias que de ella pudiera derivarse, después de ser informados sobre las características y posibles ventajas, inconvenientes o riesgos derivados de su participación en el estudio. Por otra parte todos los patinadores estaban asegurados con la mutualidad general deportiva ante cualquier accidente que pudiera ocurrir durante la práctica del patinaje de velocidad.

El presente estudio contó con el informe positivo del Comité Ético de la Universidad de A Coruña.

Tab. 3.1. Caracterización de los sujetos.

	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Moda</i>	<i>O'</i>	<i>Varianza</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Edad (años)</i>	12	19,42	18,00	15	4,62	21,35	15	28
<i>Talla (cm)</i>	12	172,95	174,75	154,5 _a	8,78	77,21	154,5	184,0
<i>Peso (Kg)</i>	12	69,53	69,10	55 _a	8,79	77,25	55	82,6
<i>% Grasa (%Pc)^b</i>	12	12,90	12,55	11,6	1,55	2,42	11,1	15,6

a. Existen varias Modas.

b. Grasa relativa Ecuación Faulkner.

3.2. Material.

- Para la evaluación de la composición corporal.
 - 1 Tallímetro (Año Sayol), de 1mm de precisión.
 - 1 balanza (Año Sayol), con una precisión de 100 g, previamente calibrada.
 - Adipómetro (Holtain, G.B.).
 - 1 Cinta métrica para la medición de los perímetros.
 - 1 Calibre (Holtain, G.B) para la medición de los diámetros.

- Para la evaluación de la frecuencia cardíaca.
 - Hardware: Electrocardiógrafo integrado en Analizador de gases de triple canal Einthoven, Wilson, Nehb, GoldbergerJ (Carefusion, USA).
 - Hardware: 2 Pulsómetros Polar RS800, tecnología *beat by beat* (Polar, Finland).



Fig. 3.2.1. Imagen Pulsómetro Polar RS800.

- Para la evaluación de la concentración de ácido láctico.
 - 1 Analizador de lactato en sangre capilar, Lactate PRO (Senslab, Germany).



Fig. 3.2.2. Imagen Analizador de lactato Lactate PRO.

- Para la evaluación del VO_2 , VO_{2max} , VCO_2 , la cinética del O_2 y la VAM.
 - Hardware: Analizador de gases portátil Jaeger Oxycon Mobile con tecnología *Breath by Breath* de Jaeger (Carefusion, USA).



Fig. 3.2.3. Imagen Ergoespirómetro Portátil Jaeger Oxycon Mobile.

Para conocer el VO_{2max} de los sujetos se utilizó un analizador de gases portátil. La empresa propietaria de la marca CareFusion, después de conocer el proyecto del presente estudio, decidió patrocinar este estudio con su analizador de gases portátil, Jaeger Oxycon Mobile y todo el apoyo logístico para el mismo. Se trata de un sistema inalámbrico portátil de pruebas cardiorespulmonares de registro cada respiración con alcance telemétrico de hasta 1000 m en visión directa y ECG integrado de 3 canales y ECG opcional de 12 derivaciones. El Jaeger Oxycon Mobile de CareFusion permite determinar la respuesta metabólica durante el ejercicio, el trabajo o en condiciones en que los sistemas metabólicos fijos tradicionales no pueden hacerlo. El dispositivo registra datos de cada respiración montado en un chaleco que queda en contacto con el cuerpo del sujeto y permite realizar pruebas en niños y adultos (pacientes y atletas) casi con total libertad de movimiento. Algunas de las características que justifican la elección de este equipo fueron las siguientes:

- Los datos se recogen a través de una máscara facial o boquilla y se envían a un sistema informático central por transmisión inalámbrica (telemetría), lo que hace que este aparato sea adecuado para su uso en entornos fuera del laboratorio
- El software del Jaeger Oxycon Mobile incluye funciones de espirometría, bucles de flujo y volumen durante el ejercicio, programa de registro en línea para la transmisión de datos, software de evaluación y sistema de generación de informes.
- El ECG opcional de 12 canales se transmite de forma inalámbrica para optimizar el control.
- Mediciones de volumen con un transductor de volumen digital (DVT) bidireccional, preciso y muy liviano que se puede colocar directamente en la boca; es insensible al vapor de agua y los gases de respiración; espacio muerto de 30 mL.
- Consta de 2 unidades que se ensamblan al chaleco que portará el sujeto con un peso total de 950 g (máscara y arnés incluidos):

- ✓ Sensorbox (SBx): contiene una célula electroquímica para medición de oxígeno de respuesta rápida (respuesta de 80 ms tras el filtrado digital) y un analizador muy veloz de dióxido de carbono de hilo caliente (respuesta inferior a 80 ms). La respuesta más rápida de los equipos disponibles en el mercado es de 120ms.
- ✓ Unidad de intercambio de datos (DEx): unidad que recoge datos del Sensorbox (ventilación, O₂, CO₂, SpO₂, ECG de 3 derivaciones y frecuencia cardíaca mediante una correa Polar) y los envía de forma telemétrica a una estación base conectada a un ordenador (cubre 1000 m en un área de espacio abierto).
- El software incluye cálculos automáticos o manuales como los tipos de umbral anaeróbico (AE, AT y RCP), muestra parámetros codificados por color para los límites superior e inferior de macros normales y de subprogramas para controles definibles por el usuario como el registro automático de la presión arterial, entre otros.
- ECG inalámbrico de 12 derivaciones. Además el ECG integrado de triple canal que permite un registro electrocardiográfico a tiempo real y de total comodidad para el deportista.
- El guardado de datos se produce instantáneamente de dos formas simultáneas. La primera es en la propia unidad DEx en una tarjeta de memoria rápida CompacFlash. La segunda forma es el propio registro telemétrico recibido en el ordenador con el software que permite ver los datos en tiempo, e incluso si se perdiera algún dato o existiera algún problema. Esta característica tampoco la permitían otros equipos.

- Para la prescripción de la velocidad de desplazamiento durante los test.
 - Reproductor de CD audio (Sony, Japan).
 - CD con audio desarrollado por D.Ruiz.
 - 24 Conos de balización.

- Patines para el desarrollo del test.
 - Todos los sujetos realizaron los test con patines específicos para la práctica del patinaje de velocidad. Todos ellos con botas de fibra de carbono y chasis de aluminio.
 - Las ruedas utilizadas fueron específicamente diseñadas por la casa Gyro Technology (Corea del Sur) con motivo de estos test y adecuado al pavimento de la pista. Gyro Mild Marble Violet 86 A (Gyro, Corea).



Fig. 3.2.4. Imagen Patín de velocidad con Ruedas GYRO específicas para el Test.

➤ Software para el análisis de datos:

- JLab 5.30.0 CareFusion (USA): Control y Análisis de datos del Jaeger Oxycon Mobile y del Electrocardiógrafo Einthoven, Wilson.
- Polar Pro Trainer 5.0 (Finland): Análisis de los datos de frecuencia cardíaca del test sin analizador de gases recogidos con el Polar RS800.
- FirstBeat Sport V.2.1.0.1., FirstBeat Technologies LTD (Finland): Determinación R-R y análisis y filtrado del ruido en las gráficas.
- SPSS para Windows: Análisis Estadístico de los datos.

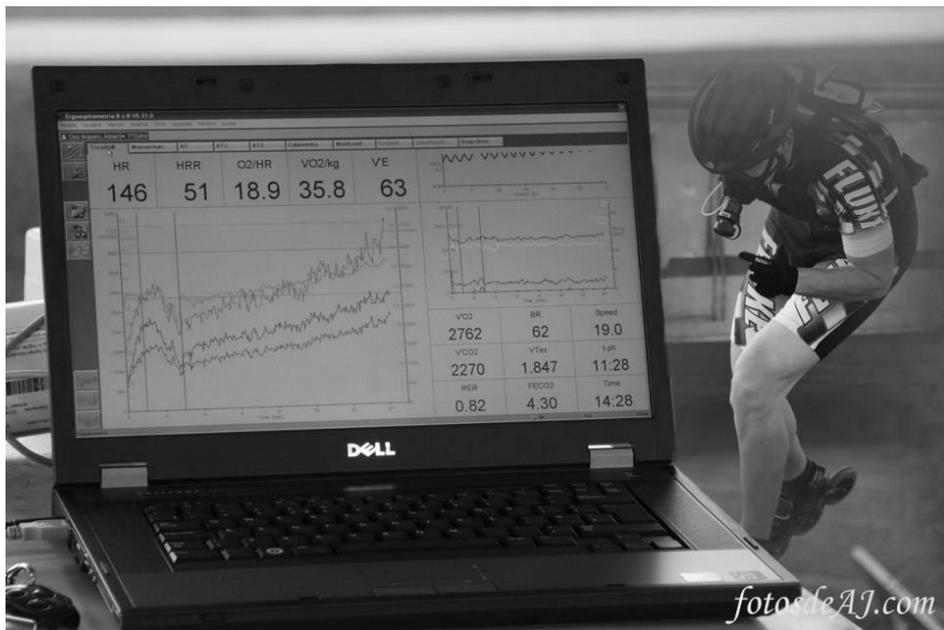


Fig. 3.2.5. Imagen del software JLAB 5.0 controlador del Hardware Jaeger Oxycon Mobile.

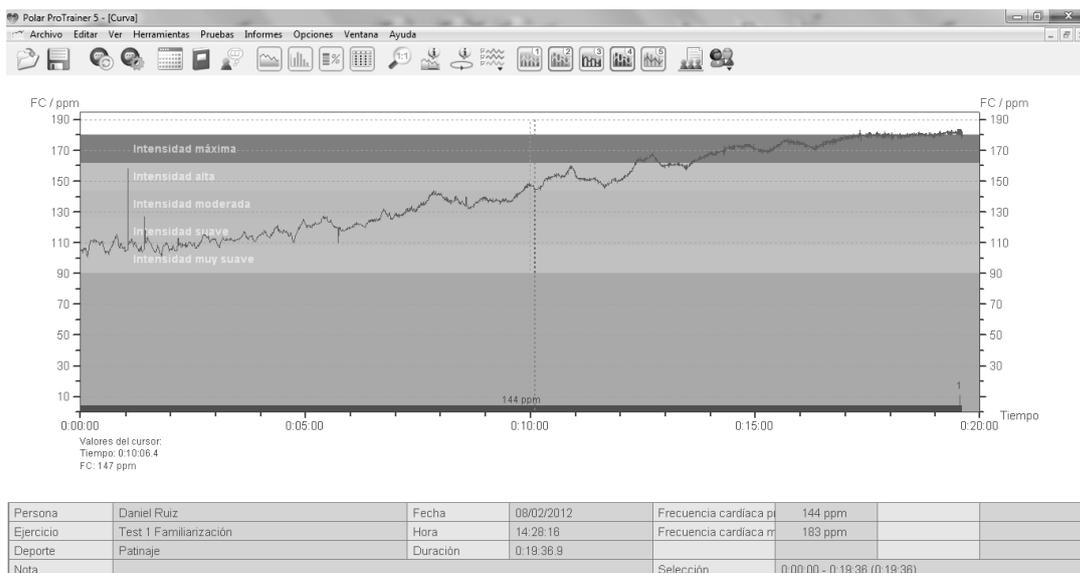


Fig. 3.2.6. Imagen de software Polar Pro Trainer 5.0 conexo al hardware Polar RS800.

➤ El emplazamiento:

- Los test se desarrollaron en Patinódromo del Complejo Deportivo de Moreda, Gijón, única pista homologada por la F.I.R.S. en España en el momento del estudio. La pista cuenta con un pavimento Dureflex SP 101 Sport Professional desarrollado por la empresa italiana Vesmaco.

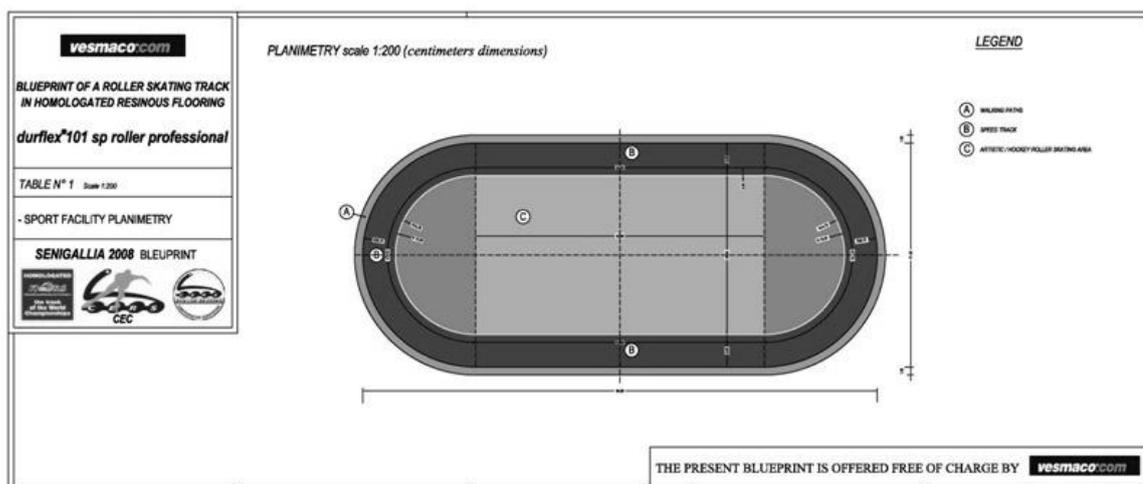


Fig. 3.2.7. Planimetría Patinódromo Homologado por la F.I.R.S.

- Los estándares de acuerdo a la F.I.R.S. y al Comité Internacional de Course (CIC) que cumplía el patinódromo que albergó la investigación y los Campeonatos del Mundo en 2008 son:
 - 200 m de longitud de cuerda.
 - 6 m de anchura en toda su longitud.
 - 2 rectas paralelas de 57,84 m.
 - 2 curvas simétricas peraltadas con un radio interior de 13,42 m y una longitud total de 42,16 m cada una.
 - 50 cm de espacio libre en el interior de la cuerda pintados en otro color y con superficie antideslizante.
 - El perfil de inclinación de las rectas ha de ser completamente plano en un 33% de su longitud; para el resto un 0,5% de inclinación es admitido.
 - El perfil de inclinación de las curvas se tolera hasta un 1% desde el borde exterior hasta el interior en toda su longitud.

- La localización seleccionada del estudio se debió a varios motivos:
 - La mayor parte del grupo investigado vive en Gijón lugar donde se encuentra el Complejo Deportivo Municipal de Moreda.
 - Todos los sujetos pertenecían al Centro de Perfeccionamiento de Patinaje de Velocidad de la Federación de Patinaje del Principado de Asturias.
 - Dos entrenos oficiales del Centro de Perfeccionamiento de Patinaje de Velocidad tenían lugar en el patinódromo del Complejo Deportivo Municipal de Moreda cada mes.
 - El patinódromo del Complejo Deportivo Municipal de Moreda cuenta con vestuarios, agua corriente, luz, y megafonía. Además es un lugar cerrado al público siendo así un lugar perfecto y estable para la investigación.
 - Con la idea de que futuras investigaciones puedan reproducir el protocolo y comparar resultados, un patinódromo homologado representa un emplazamiento con unas condiciones estables y reproducibles difíciles de encontrar en otros lugares. Estas condiciones son: medidas de longitud y anchura de recta y de curva, medidas de inclinación del peralte y del radio de curva, y la idéntica pavimentación del suelo con una pintura sobre asfalto de la marca Vesmaco (Italia).
 - El patinódromo del Complejo Deportivo Municipal de Moreda es cubierto y las condiciones de temperatura, humedad y viento eran estables y controladas.
 - El protocolo ha sido diseñado para que pueda aplicarse a cualquier pista o circuito balizado cada 50 m y sin necesidad de una megafonía; debido a que con un reproductor portátil de mp3 con unos audífonos se puede realizar el test.



Fig. 3.2.8. Imagen Patinódromo del Complejo Deportivo Municipal de Moreda en Gijón. Emplazamiento de los test.

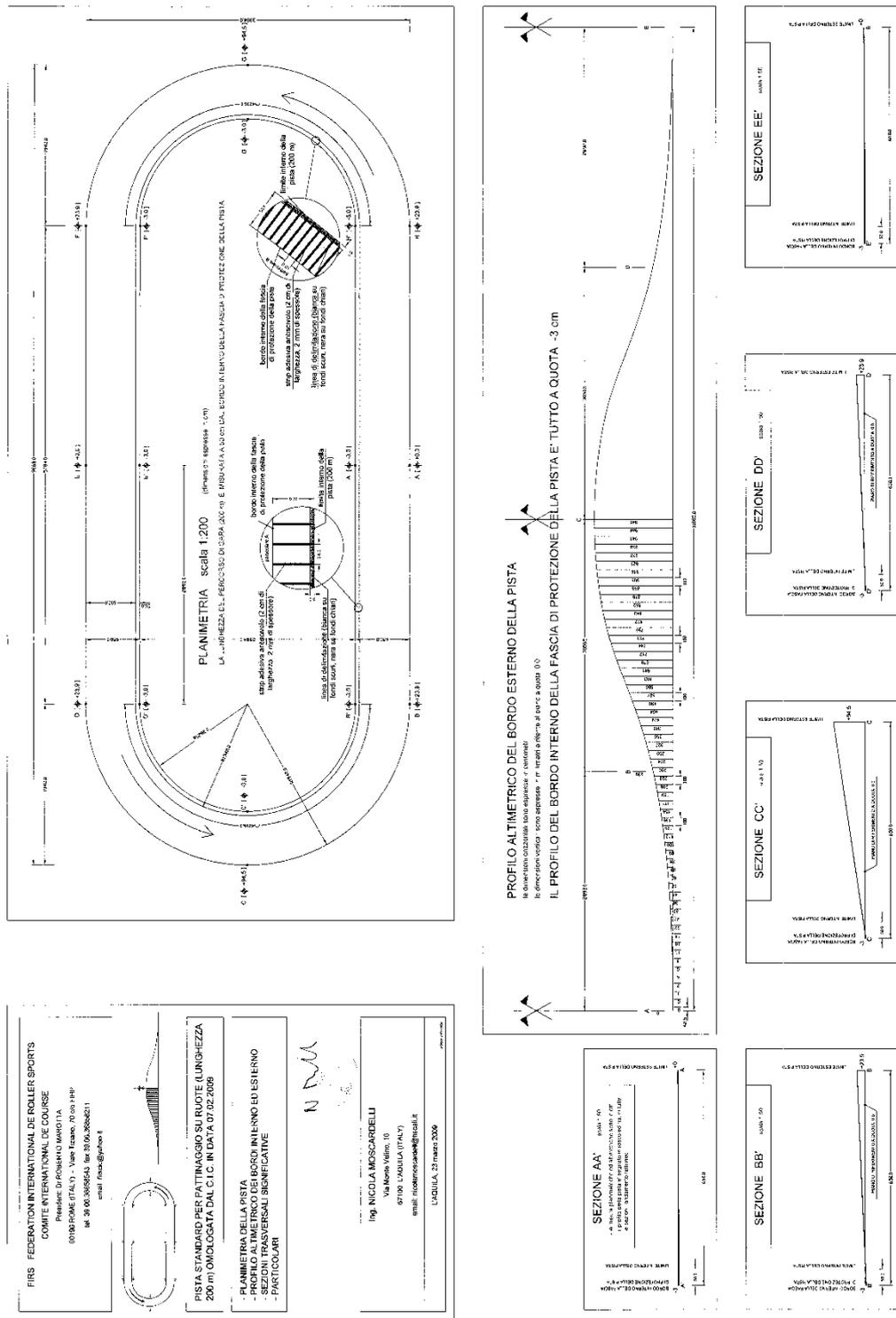


Fig. 3.2.9. Planimetría Patinódromo Homologado por la F.I.R.S. Extraído Reglamento C.I.C. (F.I.R.S.).

3.3. Procedimiento.

3.3.1. Determinación de la Composición Corporal.

La talla se midió con un tallímetro, colocando al sujeto en posición erecta, con la cabeza en el plano Francfort y el plano medio-sagital.

En la determinación del peso corporal se utilizó una balanza, previamente calibrada.

Para valorar la composición corporal de los sujetos se utilizó el *modelo de 4 componentes* de de Rose & Guimaraes (1980) basado en el modelo original de Matiejka (1921) y propuesto por el Grupo Español de Cineantropometría (1993).

El protocolo utilizado incluyó las siguientes mediciones:

- Talla.
- Peso.
- Pliegues cutáneos:
 - ✓ Subescapular.
 - ✓ Tricipital.
 - ✓ Suprailíaco.
 - ✓ Abdominal.
 - ✓ Muslo.
 - ✓ Pierna.
- Diámetros:
 - ✓ Diámetro biepicondileo del humero en cm.
 - ✓ Diámetro biestiloideo del radio en cm.
 - ✓ Diámetro bicondíleo de fémur en cm.
- Perímetros:
 - ✓ Perímetro del brazo flexionado y contraído en cm.
 - ✓ Perímetro de la pierna en cm.

El modelo de 4 componentes se sirve de las siguientes fórmulas:

1. Para la masa magra se utiliza la ecuación de Faulkner, derivada a su vez de Yuhasz (1962).

$$\% \text{ Grasa} = \sum 4 \text{ Pliegues Cutáneos (tricipital, subescapular, suprailíaco, abdominal.)} \times 0,153 + 5,783$$

2. Para el cálculo de la masa ósea, se sirven de la fórmula de Von Döbeln modificada por Rocha (1974).

$$\text{Peso Óseo (kg)} = 3,02 \times (\text{talla}^2 \times \text{diámetro estiloideo} \times \text{diámetro bicondileo femoral} \times 400)^{0,712}$$

3. El peso de la masa muscular, se deduce de la propuesta básica de Matiegka (1921):

$$\text{Peso Muscular (kg)} = \text{Peso Total} - (\text{Peso Graso} + \text{Peso Óseo} + \text{Peso Residual})$$

4. La masa residual (órganos, líquidos, etc.), se halla mediante las constantes propuestas por Würch (1974).

$$\text{Masa Residual (kg)} = \text{Peso Total} \times 24,1 / 100 \text{ (varones)}$$

$$\text{Masa Residual (kg)} = \text{Peso Total} \times 20,9 / 100 \text{ (mujeres)}$$

Para la determinación del somatotipo de los sujetos se utilizó la metodología Heath-Carter (Carter, 1975) propuesta por el Grupo Español de Cineantropometría (1993).

3.3.2. Diseño de un Protocolo de Valoración en Campo para la Determinación de la Velocidad Aeróbica Máxima patinando y el Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}) en el Patinaje de Velocidad.

Con el objetivo de poder determinar la VAM_p fue necesario diseñar un protocolo de determinación adecuado, puesto que ninguno de los protocolos utilizados hasta el momento en el patinaje de velocidad tenía como objetivo la determinación de dicho parámetro.

El test diseñado para la determinación de la VAM_p en patinadores de velocidad es una prueba incremental, continua, escalonada y hasta el agotamiento. Sigue un protocolo en rampa escalonada con incrementos de velocidad de $1\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada min, iniciándose en $15\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Tab.3.3.2.1.). Fue específicamente diseñado para pistas peraltadas homologadas por la F.I.R.S, pero puede ser adaptado a cualquier instalación, pista o circuito con posibilidad de ser balizada cada 50 metros.

Basándonos en el concepto de VAM de Billat, *et al.*, (1994), *velocidad mínima a la que se obtiene el VO_{2max}* , y los protocolos de laboratorio de Billat (1994) y de campo de Leger & Boucher (1980) para la carrera atlética, se intentó establecer un test para el patinaje de velocidad que supusiera la misma carga fisiológica. Heiden (2004) establece que el patinaje de velocidad será el doble de rápido que la carrera atlética para cubrir cualquier distancia a partir de los 500 m. Teniendo esto en cuenta, y los records del mundo actuales para ambos deportes (ver apartado 1.1.), se estableció un protocolo en campo continuo incremental y progresivo hasta el agotamiento.

La velocidad inicial, de acuerdo a lo establecido por Heiden (2004), fue establecida en el doble de velocidad inicial para el UMTT (Leger & Boucher, 1980). Del mismo modo los incrementos de velocidad fueron de $1\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto en vez de cada dos minutos como establecían Leger & Boucher (1980).

En el ámbito del ciclismo también se tuvieron en cuenta los trabajos de Leger, Thibault & Gode (1982) donde propusieron un protocolo de entre 8 y 25 minutos de duración comenzando a $35\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con incrementos de velocidad equivalentes un MET cada 2 min hasta la fatiga. Ricci & Leger (1983) proponen una velocidad inicial de $25\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con incrementos de velocidad de $2\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ hasta los $42\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, e

incrementos de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ desde ese punto hasta la fatiga. Finalmente también se estudió el protocolo propuesto por Conconi, Borsetto, Casoni, & Ferrari, (1988) en el cual tras 15-30 minutos de calentamiento se realiza una prueba incremental con una velocidad inicial de $28\text{-}30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e incrementos de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ hasta alcanzar la máxima velocidad posible.

Todo este protocolo, siguió un proceso de ensayo con dos patinadores, con 6 semanas de antelación al comienzo del estudio, para garantizar, la aplicabilidad de un protocolo completamente nuevo. En estos ensayos se cumplieron los criterios de maximalidad de un test de valoración del $\text{VO}_{2\text{max}}$ y por tanto de VAM.

El control de la velocidad del test se realiza del siguiente modo:

- Se baliza el patinódromo de 200 m de cuerda con conos balizadores cada 50 m, localizándolos en la mitad de las rectas y en la mitad de las curvas. De este modo, cada tramo balizado cuenta exactamente con los mismos metros de curva y de recta. En cada punto de balización se colocan 4 conos, dos por la cuerda a 2 m por delante de la marca de 50 m, y 2 m por detrás de la misma; además, se disponen dos conos balizadores adicionales en el exterior de la cuerda, a 6 m; de este modo se establece un cuadrado balizado cada 50 m. Adicionalmente se colocaron conos a 25 m entre cada baliza de los 50 m. Estos conos servirán para establecer la finalización del test como veremos más adelante.
- Se creó un archivo de audio en mp3 con el programa informático Windows Movie Maker (Windows, USA), y en el cual se reproducen unos *beep* coincidentes en las balizas de 50 m y establecidos según los tiempos necesarios para cubrir los intervalos en función de las diferentes velocidades de cada estadio del test (Anexos, Tab.9.1).
- El patinador ha de patinar a velocidad constante y por la cuerda del patinódromo haciendo coincidir las señales sonoras del archivo de audio con las zonas balizadas cada 50 m. Cada minuto, un doble *beep* señalará el cambio de estadio del test.

A continuación se describe la guía de uso del protocolo de test para la determinación de la VAM_p .

- Se baliza el patinódromo de 200 m de cuerda con conos balizadores como ya se ha explicado.
- Se configura el audio en soporte mp3 o CD en el cual se reproducen unos *beep* coincidentes en las balizas de 50 m y establecidos según los tiempos necesarios en cubrir los intervalos en función de las diferentes velocidades de cada estadio del test.
- El patinador ha de patinar a velocidad constante y por la cuerda del patinódromo haciendo coincidir las señales sonoras del archivo de audio con las zonas balizadas cada 50 m. Cada minuto un doble *beep* señalará el cambio de estadio del test. De este modo el patinador seguirá el ritmo establecido por las balizas visuales y los *beep* sonoros.

El protocolo fue el siguiente:

- El patinador llegará con 30 min de adelanto, se vestirá la ropa de competición, patines y casco; tiempo durante el cual se le explicaba el procedimiento.
- A continuación desde una de las balizas de mitad de recta se dará la salida con el primer doble *beep* patinando a $15\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ cubriendo los tramos de 50 m en 12 s.
- Cada minuto el patinador incrementará la velocidad de acuerdo a los ritmos marcados por los *beep* y las balizas siguiendo los tiempos de paso marcados en la Tab. 9.1. (Anexos).
- Finalmente, el patinador cesará el esfuerzo cuando su ritmo de patinaje sea inferior al ritmo marcado por los *beep* y las balizas; esto es, cuando el patinador no alcance la baliza siguiente a la anterior en el momento de la señal sonora, *beep*. En este momento el patinador ha de aguantar en esfuerzo máximo hasta que el *beep* coincida con el cono anterior intermedio, balizas de 25 m. En ese momento el test finalizará y pararemos al sujeto.

- La Velocidad Aeróbica Máxima Patinando (VAM_p) se obtiene realizando un cálculo de la velocidad media desarrollada en el último minuto de test, realizando un cálculo divisorio con los metros recorridos. Para esto nos ayudaremos de las tablas de tiempo, distancia y velocidad.
- La Velocidad Aeróbica Máxima Patinando Estadío (VAM_{ps}) se obtiene realizando un ajuste decimal de los datos de VAM_p a $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y cada 30 s.

Con posterioridad a la realización del estudio encontramos ciertos aspectos sobre el protocolo que es necesario comentar:

- a. Las bajas velocidades del test en los primeros 5 min del mismo, $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ - $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, exige excesivo control técnico para el mantenimiento de velocidades estables. Esto es algo que se intentó corregir de manera verbal y que, no obstante, pasados los 5 primeros minutos de test que servían como fase de calentamiento y a partir de los $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ya no planteaba ningún tipo de problema. Es por ello que en una evolución del protocolo este podría comenzar en $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- b. Otro aspecto a profundizar son los incrementos de velocidad. Desde el momento en que los sujetos alcanzan los $32 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ comprobamos que un aumento en $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ puede resultar excesivo. Los patinadores, en el momento de la prueba en que comienzan a no alcanzar la marca balizadora en el instante de la señal acústica del *beep* y hasta que finaliza el test pasan alrededor de 0,5-1 min patinando. Cabe pensar que un protocolo menos escalonado y más en rampa, con incrementos más suaves ($0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), elevaría la VAM sin sobreestimarla.

Tab. 3.3.2.1. Esquema del Test de Campo para la de determinación de la VAM_p.

<i>Período</i>	<i>Velocidad</i>	<i>Estadio</i>	<i>Tiempo Estadio</i>	<i>Tiempo Total</i>	<i>Distancia Total</i>
1	15 km·h ⁻¹	15	60 s	1 min	250 m
2	16 km·h ⁻¹	16	60 s	2 min	525 m
3	17 km·h ⁻¹	17	60 s	3 min	800 m
4	18 km·h ⁻¹	18	60 s	4 min	1100 m
5	19 km·h ⁻¹	19	60s	5 min	1425 m
6	20 km·h ⁻¹	20	60 s	6 min	1750 m
7	21 km·h ⁻¹	21	60 s	7 min	2100 m
8	22 km·h ⁻¹	22	60 s	8 min	2475 m
9	23 km·h ⁻¹	23	60 s	9 min	2850 m
10	24 km·h ⁻¹	24	60 s	10 min	3250 m
11	25 km·h ⁻¹	25	60 s	11 min	3675 m
12	26 km·h ⁻¹	26	60 s	12 min	4100 m
13	27 km·h ⁻¹	27	60 s	13 min	4550 m
14	28 km·h ⁻¹	28	60 s	14 min	5025 m
15	29 km·h ⁻¹	29	60 s	15 min	5500 m
16	30 km·h ⁻¹	30	60 s	16 min	6000 m
17	31 km·h ⁻¹	31	60 s	17 min	6525 m
18	32 km·h ⁻¹	32	60 s	18 min	7050 m
19	33 km·h ⁻¹	33	60 s	19 min	7600 m
20	34 km·h ⁻¹	34	60 s	20 min	8175 m
21	35 km·h ⁻¹	35	60 s	21 min	8750 m
22	36 km·h ⁻¹	36	60 s	22 min	9350 m
23	37 km·h ⁻¹	37	60 s	23 min	9975 m
24	38 km·h ⁻¹	38	60 s	24 min	10600 m
25	39 km·h ⁻¹	39	60 s	25 min	11250 m
26	40 km·h ⁻¹	40	60 s	26 min	11925 m

3.3.3. Familiarización Test de Campo.

Entre el mes de Enero y Febrero del 2012 se desarrolló un test de familiarización con cada uno de los sujetos de la muestra con el fin de verificar la idoneidad del mismo. Por otro lado se pretendía que los sujetos aprendieran el procedimiento del mismo para poder desarrollar los dos siguientes test sin inconvenientes.

El procedimiento seguido fue el explicado en el apartado 3.3.2. salvo la diferencia de que los sujetos fueron equipados con un pulsómetro Polar RS800 (Polar, Finland) para el registro de la frecuencia cardíaca durante el test.

3.3.4. Test de Campo con analizador de gases (CA) para la determinación del Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}) y la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p).

El test de campo de medición directa con el analizador de gases metabólicos (Test CA) siguió el mismo procedimiento que el test de familiarización descrito en el punto anterior. Las diferencias se detallan a continuación:

- El test consistió en una Ergoespirometría en campo siguiendo el protocolo ya descrito y dónde los sujetos portaban un analizador de gases Jaeger Oxycon Mobile, durante el calentamiento, el test y la recuperación.
- Los patinadores, llegaban a la pista con 30 minutos de antelación. En ese tiempo se vestían con el equipamiento de competición y se le entregaba un set de ruedas específico para el test y completamente nuevo y desconocido para los integrantes de la muestra.
- El patinador, a continuación, era provisto del arnés con el Jaeger Oxycon Mobile y se le conectaba al mismo para el registro de los parámetros de O_2 , CO_2 , VE, FC y sus derivados.
- El sujeto, a continuación, realizaba unas vueltas muy suaves durante 90 s para chequear el correcto funcionamiento de la telemetría; paraba otros 90 s en línea de salida y comenzaba el test. Los tres minutos previos constaban como calentamiento realizado, por lo cual también fueron registrados.
- Después del calentamiento, a la voz de *listo*, se activaba el audio y comenzaba el test hasta el agotamiento del sujeto.
- Tras la finalización del test, y en los minutos 1, 3, 5 y 7, se realizó una micro-extracción de sangre en los dedos anular y/o corazón de la mano con el fin de determinar los niveles de ácido láctico.
- Después de los primeros 5 minutos de recuperación, el sujeto se descalzaba los patines y cesaba el registro del proceso de recuperación. Las ruedas se extraían de los patines y se guardaban debidamente etiquetadas para el último test.

- El consumo máximo de oxígeno se determinó como el valor promedio de VO_2 de los últimos 30 s de esfuerzo cuando por lo menos se cumplieron dos de los criterios recomendados por la Asociación Británica de Ciencias del Deporte y el Ejercicio (British Association of Sport and Exercise Sciences, 1997) que podemos observar a continuación:
 - Meseta o Plateau en la relación VO_2 / Intensidad del ejercicio. Definido como un incremento en el VO_2 menor a $2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ó un 3% con un incremento en la intensidad del ejercicio. Si no se consigue la meseta se mide el VO_2 pico.
 - Un cociente respiratorio final igual o superior a 1,15.
 - Una diferencia en la frecuencia cardíaca máxima de 10 ppm respecto a la frecuencia cardíaca máxima estimada ($220-\text{edad}$).
 - Un registro de ácido láctico en sangre postesfuerzo (3 a 5 min) de $8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ o superior.
 - Fatiga subjetiva y agotamiento.
 - Percepción subjetiva del esfuerzo de 19 ó 20 en la escala de Borg (en la escala subjetiva del esfuerzo del 6 al 20) (Borg, 1982).

3.3.5. Test de Campo sin analizador de gases (SA) para la determinación de la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p).

El test de campo de medición directa sin analizador de gases portátil (Test SA) siguió exactamente el mismo procedimiento que el test de familiarización ya descrito. Las diferencias se detallan a continuación:

- Los sujetos, llegaban a la pista con 30 minutos de antelación. En ese tiempo se vestían con el equipamiento de competición y se le entregaba el set de ruedas específico para el test y que habían utilizado en el test de ergoespirometría de tal manera que todos tenían el desgaste de un test.
- El sujeto a continuación era provisto de un monitor de frecuencia cardíaca Polar RS800 con el fin de obtener un registro de la frecuencia cardíaca latido a latido.
- A continuación, el sujeto daba unas vueltas muy suaves durante 90 s; paraba otros 90 s en línea de salida y comenzaba el test. Los tres minutos previos constaban como calentamiento realizado.
- Después del calentamiento, a la voz de listo, se activaba el audio y comenzaba el test hasta el agotamiento del sujeto.
- Tras la finalización del test y en los minutos 1, 3, 5 y 7, se realizó una micro-extracción de sangre en los dedos anular y/o corazón de la mano con el fin de determinar los niveles de ácido láctico.
- Después de los primeros 5 minutos de calentamiento el sujeto se descalzaba los patines y cesaba el registro del proceso de recuperación.

3.4. Análisis Estadístico.

➤ Para el objetivo 1:

Determinar los valores de las variables morfológicas en patinadores de alto nivel y analizar su influencia en el rendimiento del patinaje de velocidad.

Se tomaron las siguientes variables de estudio:

Tab. 3.4.1. Variables de Estudio: Morfología.

Nombre	Naturaleza	Escala	Forma de medición
Edad	Cuantitativa	Escala de razón	Cuestionario Inicial
Talla	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría
Peso	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría
% Grasa	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría
% Muscular	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría
% Óseo	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría
% Residual	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría
Endomorfia	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría
Mesomorfia	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría
Ectomorfia	Cuantitativa	Escala de razón	Estudio Cineantropometría

Se realizaron los cálculos de la media, mediana, moda, varianza y desviación típica de las variables de estudio realizando un gráfico de barras para las variables morfológicas.

Para valorar el nivel de asociación con el rendimiento se utilizaron las correlaciones bivariadas de Pearson y Spearman en función de la normalidad de las distribuciones.

➤ Para el objetivo 2:

Determinar los valores de las principales variables funcionales: VO_{2max} (absoluto y relativo), Umbrales Ventilatorio Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).

Se tomaron las siguientes variables de estudio:

Tab. 3.4.2. Variables de Estudio: Funcional.

<i>Nombre</i>	<i>Naturaleza</i>	<i>Escala</i>	<i>Forma de medición</i>
VO_{2max}	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
VO_{2max} <i>Relativo</i>	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
VCO_2	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
<i>% AE</i>	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
<i>% AT</i>	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
<i>VE</i>	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
<i>HR</i>	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
O_2HR	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
<i>RQ</i>	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
<i>Lactato Máximo</i>	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis Sangre Capilar

Se realizaron los cálculos de la media, mediana, moda, varianza y desviación típica de las variables de estudio realizando un gráfico de barras para las variables funcionales.

➤ Para el objetivo 3:

Describir y analizar los valores incrementales medios de VO_2 , VO_2 relativo, Frecuencia Cardiaca y Ventilación a lo largo de una prueba incremental, continua, escalonada y maximal.

Se tomaron las siguientes variables de estudio:

Tab. 3.4.3. Variables de estudio para los incrementos de VO_2 en función de la Velocidad.

<i>Nombre</i>	<i>Naturaleza</i>	<i>Escala</i>	<i>Forma de medición</i>
<i>Incremento VO_{2max} 15 $km \cdot h^{-1}$ a Incremento VO_{2max} 38 $km \cdot h^{-1}$</i>	Cuantitativa	Escala de Razón	Medición directa con analizador de gases Jaeger.
<i>Incremento VO_{2max} Relativo 15 $km \cdot h^{-1}$ a Incremento VO_{2max} Relativo 38 $km \cdot h^{-1}$</i>	Cuantitativa	Escala de Razón	Medición directa con analizador de gases Jaeger.
<i>Incremento HR 15 $km \cdot h^{-1}$ a Incremento HR 38 $km \cdot h^{-1}$</i>	Cuantitativa	Escala de Razón	Medición directa con analizador de gases Jaeger.
<i>Incremento VE 15 $km \cdot h^{-1}$ a Incremento VE 38 $km \cdot h^{-1}$</i>	Cuantitativa	Escala de Razón	Medición directa con analizador de gases Jaeger.

Se realizó un graficado de la media de los incrementos estadío a estadío.

➤ Para el objetivo 4:

Determinar la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p), mediante una prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal.

Se tomaron las siguientes variables de estudio:

- Espacio.
- Tiempo.

Por medio de ellas podemos obtener datos de las siguientes variables derivadas:

- Velocidad Aeróbica Máxima Patinando (VAM_p)
- Velocidad Aeróbica Máxima Patinando Estadio (VAM_{ps})

Tab. 3.4.4. Variables de estudio para la VAM_p y VAM_{ps} .

<i>Nombre</i>	<i>Naturaleza</i>	<i>Escala</i>	<i>Forma de medición</i>
<i>Espacio</i>	Cuantitativa	Escala de Razón	Medición y balización de la pista en metros.
<i>Tiempo</i>	Cuantitativa	Escala de Razón	Registro cronográfico.
VAM_p	Cuantitativa	Escala de Razón	Tabla de resultados del test incremental progresivo.
VAM_{ps}	Cuantitativa	Escala de Razón	Tabla de resultados del test incremental progresivo.

Se realizaron los cálculos de la media, mediana, moda, varianza y desviación típica de las variables de estudio. Además se realizó un gráfico de barras de las mismas.

➤ Para el objetivo 5:

Comprobar si la misma prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal, realizada sin analizador de gases provoca diferencias respecto a la velocidad final alcanzada.

Para valorar el nivel de asociación de la prueba con analizador de gases (CA) con la prueba sin analizador de gases (SA) se tomaron las siguientes variables de estudio:

Tab. 3.4.5. Variables de Estudio: Test con Analizador.

Nombre	Naturaleza	Escala	Forma de medición
Tiempo Total	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
Distancia Total	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
VAM_p	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
VAM_{ps}	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
HR	Cuantitativa	Escala de razón	Electrocardiógrafo Jaeger
Lactato 1	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar
Lactato 3	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar
Lactato 5	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar
Lactato 7	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar
Lactato Max	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar

Tab. 3.4.6. Variables de Estudio: Test sin Analizador.

Nombre	Naturaleza	Escala	Forma de medición
Tiempo Total SA	Cuantitativa	Escala de razón	Test SA
Distancia Total SA	Cuantitativa	Escala de razón	Test SA
VAM_p SA	Cuantitativa	Escala de razón	Test SA
VAM_{ps} SA	Cuantitativa	Escala de razón	Test SA
HR SA	Cuantitativa	Escala de razón	Pulsómetro Polar RS800
Lactato 1 SA	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar
Lactato 3 SA	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar
Lactato 5 SA	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar
Lactato 7 SA	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar
Lactato Max SA	Cuantitativa	Escala de razón	Análisis de Sangre Capilar

Se realizaron los cálculos de la media, mediana, moda, varianza y desviación típica de las variables de estudio. Además se realizó un gráfico de barras de las mismas.

Para valorar el nivel de asociación se analizó la correlación lineal entre las mismas variables en ambos test. Además se realizaron Pruebas t para comparar las medias entre las mismas variables en los Test CA y Test SA.

➤ Para el objetivo 6:

Valorar el nivel de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y el Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}).

Se tomaron las siguientes variables de estudio para valorar el nivel de asociación entre la carga externa y la carga interna.

Tab. 3.4.7. Variables de estudio para la VAM_p y el VO_{2max}

<i>Nombre</i>	<i>Naturaleza</i>	<i>Escala</i>	<i>Forma de medición</i>
VO_{2max}	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
VO_{2max} <i>Relativo</i>	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
VAM_p	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
VAM_{ps}	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA

Se realizaron los cálculos de la media, mediana, moda, varianza y desviación típica de las variables de estudio. Además se realizó un gráfico de barras de las mismas.

Para el estudio de la relación entre estas dos variables se utilizó un análisis de correlación lineal.

- Para el objetivo 7:

Determinar los niveles de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y los Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).

Se tomaron las siguientes variables de estudio:

Tab. 3.4.8. Variables de estudio para la VAM_p , AE y AT.

<i>Nombre</i>	<i>Naturaleza</i>	<i>Escala</i>	<i>Forma de medición</i>
VAM_p	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
$AE\%$	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
$AT\%$	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
AE_{vel}	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA
AT_{vel}	Cuantitativa	Escala de razón	Test CA

Se realizaron los cálculos de la media, mediana, moda, varianza y desviación típica de las variables de estudio. Además se realizó un gráfico de barras de las mismas.

También se analizaron las variables buscando los niveles de significación resultantes a las pruebas estadísticas para correlaciones bivariadas.

4

Resultados

4.1. Determinación de los valores de las variables morfológicas en patinadores de alto nivel y análisis de su influencia con el rendimiento en patinadores de alto nivel.

A continuación se presentan los resultados relativos al primer objetivo.

➤ *La caracterización morfológica fue la siguiente:*

Tab. 4.1.1. Frecuencias Variables Morfológicas.

	N	Media	Mediana	Moda	Ö	Varianza	Mínimo	Máximo
Edad (años)	12	19,42	18,00	15	4,62	21,35	15	28
Talla (cm)	12	172,95	174,75	154,5 _a	8,78	77,21	154,5	184,0
Peso (kg)	12	69,53	69,10	55 _a	8,79	77,25	55	82,6
% Grasa (%Pc)^b	12	12,90	12,55	11,6	1,55	2,42	11,1	15,6
% Muscular (%Pc)^c	12	46,68	46,45	45,1	1,68	2,83	44,8	49,5
% Óseo (%Pc)^d	12	16,30	16,30	16,7	0,89	0,80	14,8	17,8
% Residual (%Pc)^e	12	24,1	24,1	24,1	0,0	0,0	24,1	24,1
Endomorfia	12	3,24	3,10	4,1	0,72	0,52	2,3	4,1
Mesomorfia	12	4,83	4,90	4,9	0,78	0,62	3,7	6,8
Hectomorfia	12	2,25	2,10	2,0 _a	0,62	0,38	1,2	3,5

- Existen varias modas.
- Grasa relativa. Ecuación Faulkner.
- % Muscular. Ecuación Matiegka.
- % Óseo. Ecuación Rocha.
- % Residual. Ecuación Würch.

- La talla de los sujetos fue de $172,95 \pm 8,78$ cms. Los sujetos oscilaron entre los 154,5 y los 184 cm de estatura.
- El peso de los sujetos fue de $69,53 \pm 8,79$ kgs. Los sujetos oscilaron entre los 55 y los 82,6 kgs. de peso.
- El porcentaje de grasa corporal de los sujetos fue de $12,90 \pm 1,55$. Los sujetos oscilaron entre el 11,1 y el 15,6 %.
- El porcentaje de masa muscular de los sujetos fue de $46,68 \pm 1,68$. Los sujetos oscilaron entre el 44,8 y el 49,5 %.

- El porcentaje óseo de los sujetos fue de $16,30 \pm 0,89$. Los sujetos oscilaron entre el 14,8 y el 17,8 %.
- El porcentaje residual fue de 24,1% por defecto debido al protocolo utilizado de evaluación morfológica.
- El coeficiente de Endomorfia de los sujetos fue $3,24 \pm 0,72$. Los sujetos oscilaron entre el 2,3 y el 4,1.
- El coeficiente de Mesomorfia de los sujetos fue $4,83 \pm 0,78$. Los sujetos oscilaron entre el 3,7 y el 6,8.
- El coeficiente de Ectomorfia de los sujetos fue $2,25 \pm 0,62$. Los sujetos oscilaron entre el 1,2 y el 3,5.
- No se han encontrado asociaciones estadísticamente significativas entre las variables morfológicas y el rendimiento en los test.

4.2. Determinación de los valores de las principales variables funcionales: VO_{2max} (absoluto y relativo), Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).

A continuación se presentan los resultados relativos al segundo objetivo.

➤ *La caracterización funcional fue la siguiente:*

Tab. 4.2.1. Frecuencias Variables Funcionales.

	N	Media	Mediana	Moda	Ö	Varianza	Mínimo	Máximo
VO_{2max} ($mL \cdot min^{-1}$)	12	4167,92	4073	3463 _a	456,54	208432,08	3463	5128
VO_{2max} Relativo								
($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	12	60,23	61,800	48,9 _a	7,62	58,10	48,9	70,8
VCO_2 ($mL \cdot min^{-1}$)	12	4720,58	4743,50	4039 _a	464,64	215891,7	4039	5714
Ventilación ($L \cdot min^{-1}$)	12	159,83	166	171	22,33	498,69	126	192
Cociente Respiratorio	12	1,14	1,14	1,19	0,05	0,003	1,05	1,23
Frecuencia Cardíaca								
(ppm)	12	195,16	196	197 _a	7,46	55,78	182	205
Pulso de Oxígeno								
($mL \cdot lat^{-1}$)	12	21,65	21,35	18,1 _a	2,35	5,53	18,1	26,4
% AE	12	56,08	56	52	6,97	48,62	44	67
% AT	12	78,16	79,50	76 _a	6,01	36,15	65	86
Lactato Máximo								
($mmol \cdot L^{-1}$)	12	12,91	11,85	17,8	2,93	8,64	9,1	17,8

a. Existen varias modas.

4 Resultados

- El VO_{2max} de los sujetos fue $4167,92 \pm 456,54 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los 3463 y los 5128 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$.

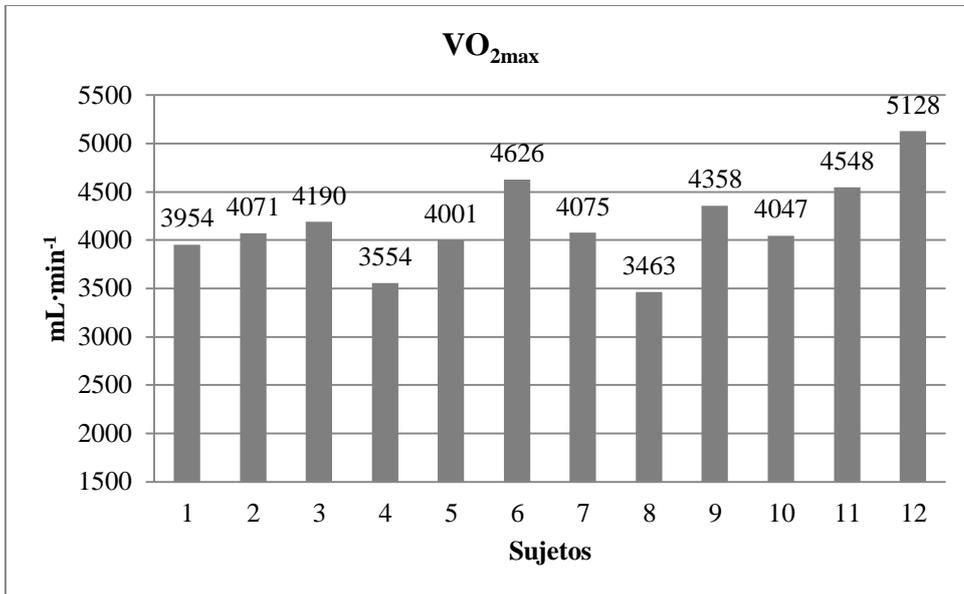


Fig. 4.2.1. Comportamiento del VO_{2max} en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El VO_{2max} relativo de los sujetos fue de $60,23 \pm 7,62 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los 48,9 y los 70,8 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ de O₂.

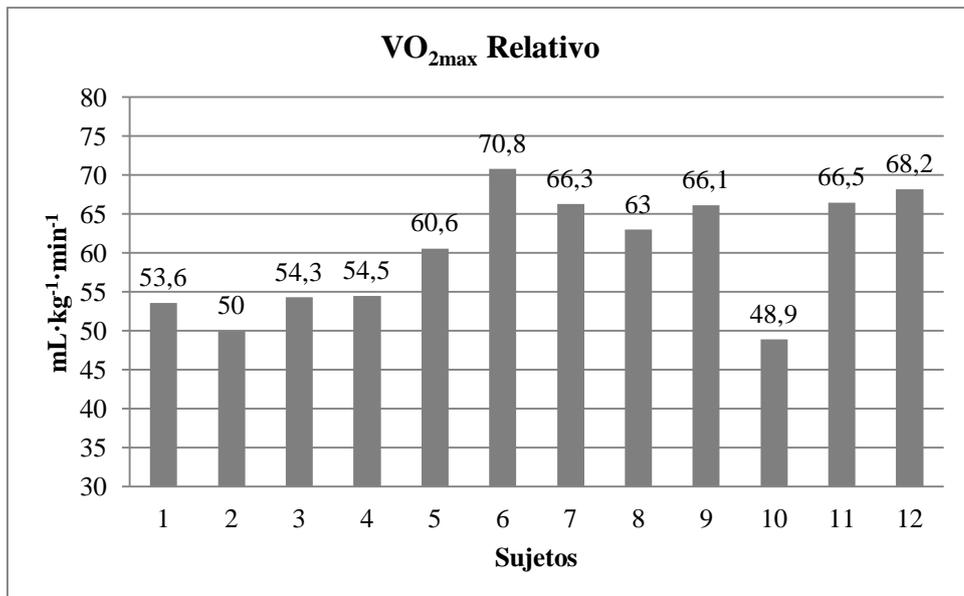


Fig. 4.2.2. Comportamiento del VO_{2max} Relativo en cada uno de los sujetos, Test CA.

4 Resultados

- La Producción de Dióxido de Carbono (VCO_2) de los sujetos fue $4720,58 \pm 464,64 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los 4039 y los $5714 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$.

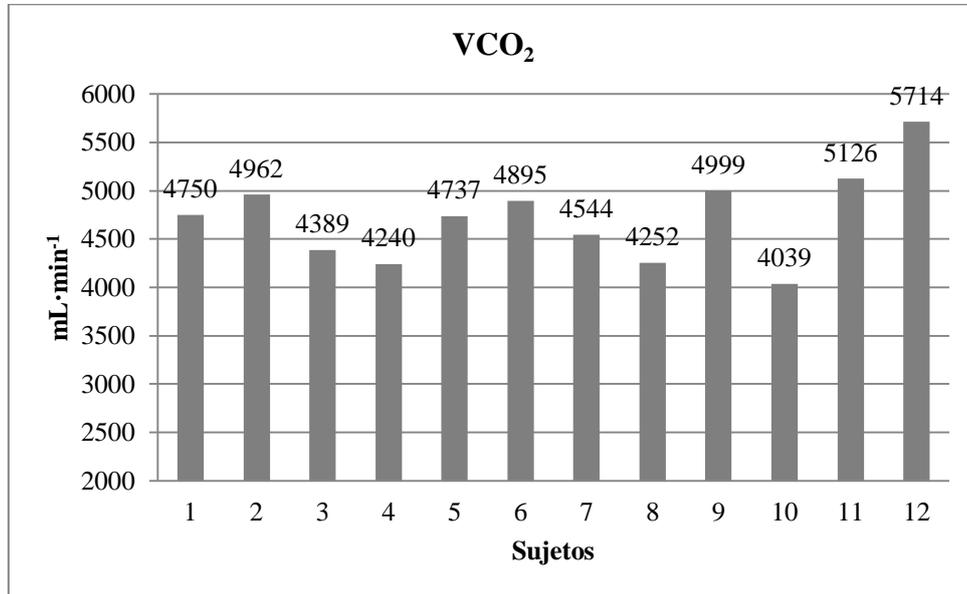


Fig. 4.2.3. Comportamiento del VCO_2 en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La Ventilación Máxima (VE) de los sujetos fue $159,83 \pm 22,33 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 126 y $192 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

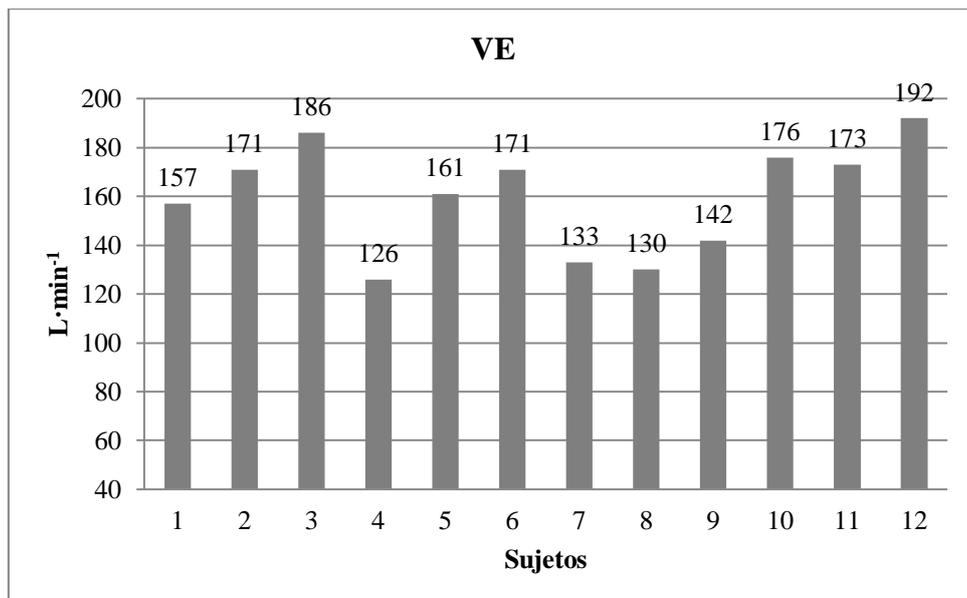


Fig. 4.2.4. Comportamiento de la VE en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El Cociente Respiratorio (RQ) de los sujetos fue $1,14 \pm 0,05$. Los sujetos oscilaron entre 1,05 y 1,23.

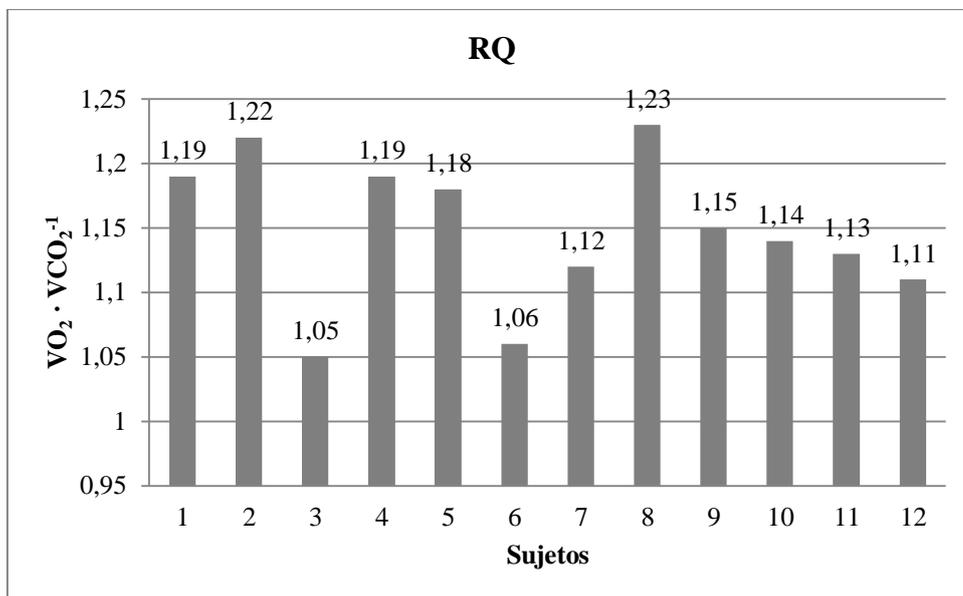


Fig. 4.2.5. Comportamiento del RQ en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La Frecuencia Cardíaca Máxima (HR) de los sujetos fue $195,16 \pm 7,46$ ppm. Los sujetos oscilaron entre las 182 y 205 ppm.



Fig. 4.2.6. Comportamiento de la HR en cada uno de los sujetos, Test CA.

4 Resultados

- El Pulso de Oxígeno (O_2HR) de los sujetos fue de $21,65 \pm 2,35$ $mL \cdot lat^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 18,1 y 26,4 $mL \cdot lat^{-1}$.

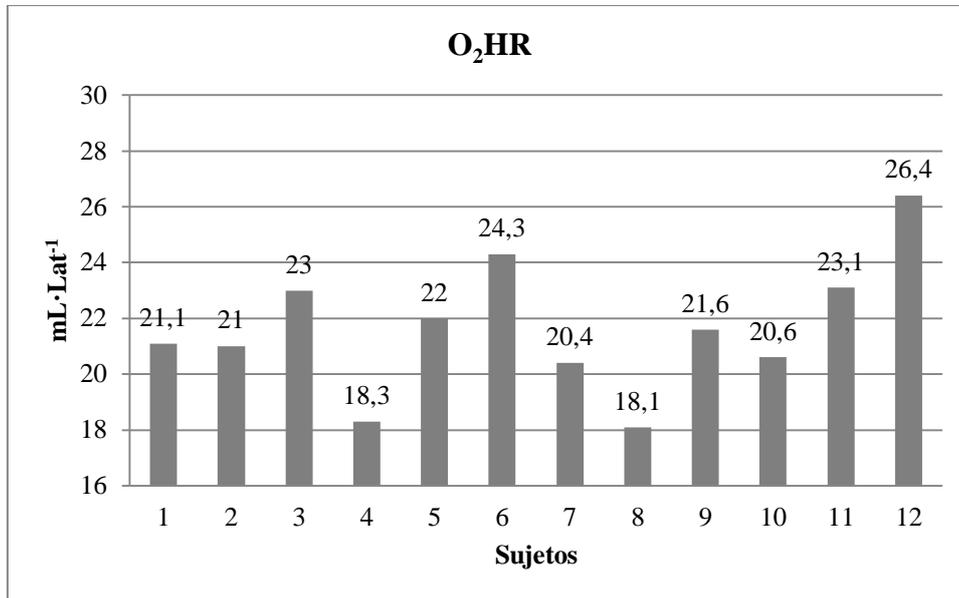


Fig. 4.2.7. Comportamiento del O_2HR en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El % en el Umbral Aeróbico (% AE) de los sujetos fue de $56,08 \pm 6,97$. Los sujetos oscilaron entre el 44 y el 67 %.

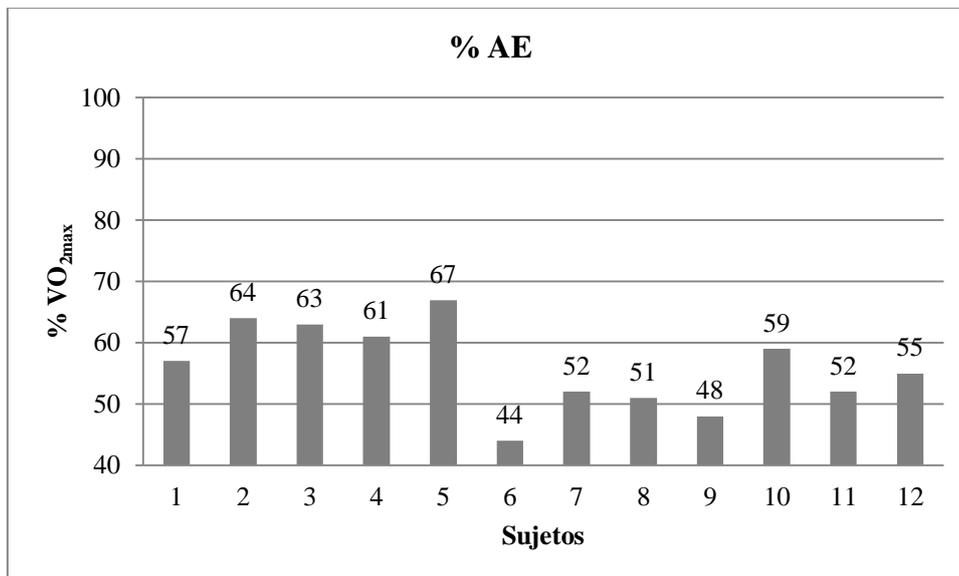


Fig. 4.2.8. Comportamiento del %AE en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El % en el Umbral Anaeróbico (% AT) de los sujetos fue de $78,16 \pm 6,01$. Los sujetos oscilaron entre el 65 y el 86 %.

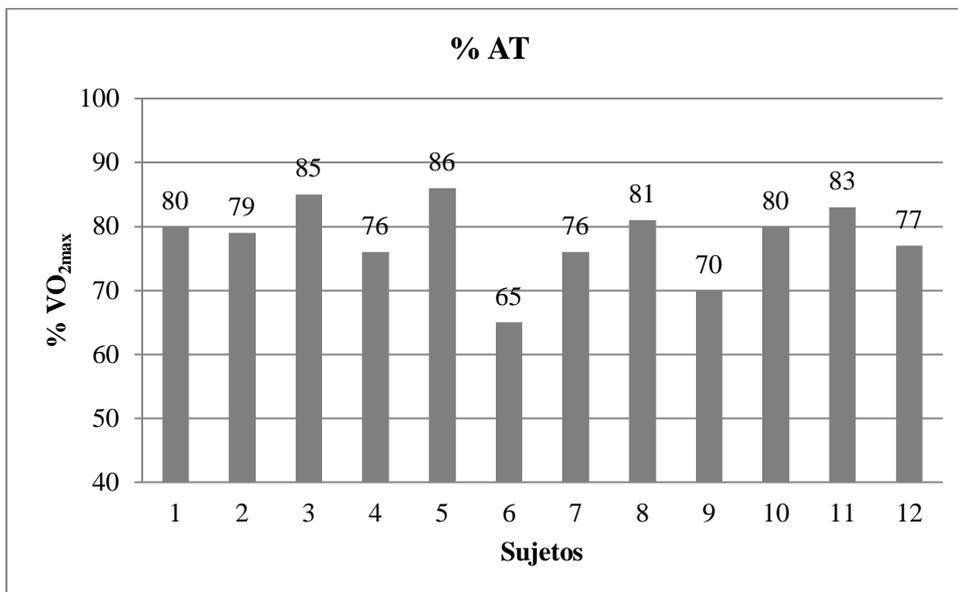


Fig. 4.2.9. Comportamiento del %AT en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El valor máximo de ácido láctico de los sujetos fue de $12,91 \pm 2,93$ mmol·L⁻¹. Los sujetos oscilaron entre 9,1 y 17,8 mmol·L⁻¹.

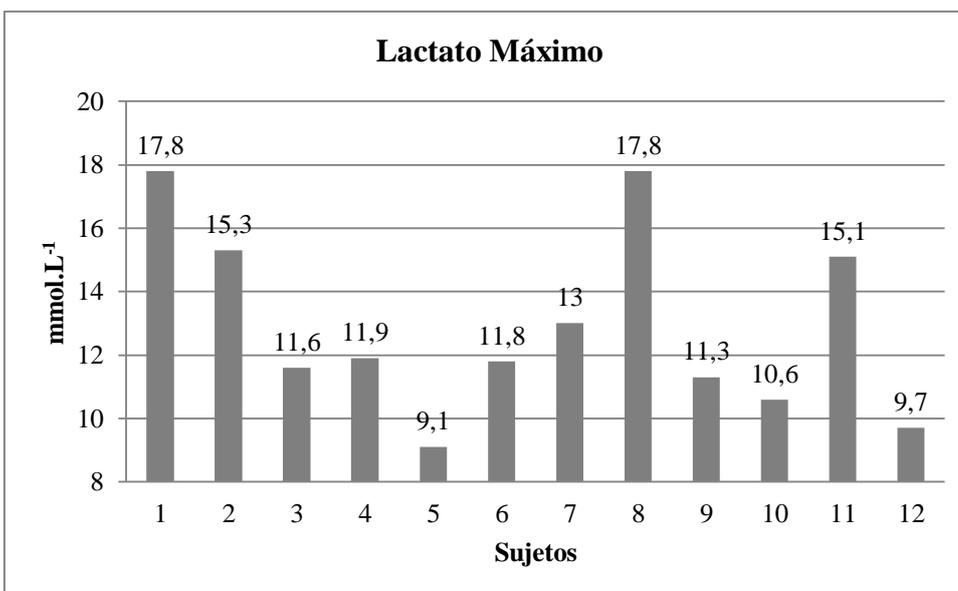


Fig. 4.2.10. Comportamiento del Lactato Máximo en cada uno de los sujetos, Test CA.

4.3. Descripción y análisis de los valores incrementales medios de VO_2 , VO_2 relativo, Frecuencia Cardíaca y Ventilación a lo largo de una prueba, incremental, continua, escalonada y maximal.

A continuación se presentan los resultados relativos al tercer objetivo.

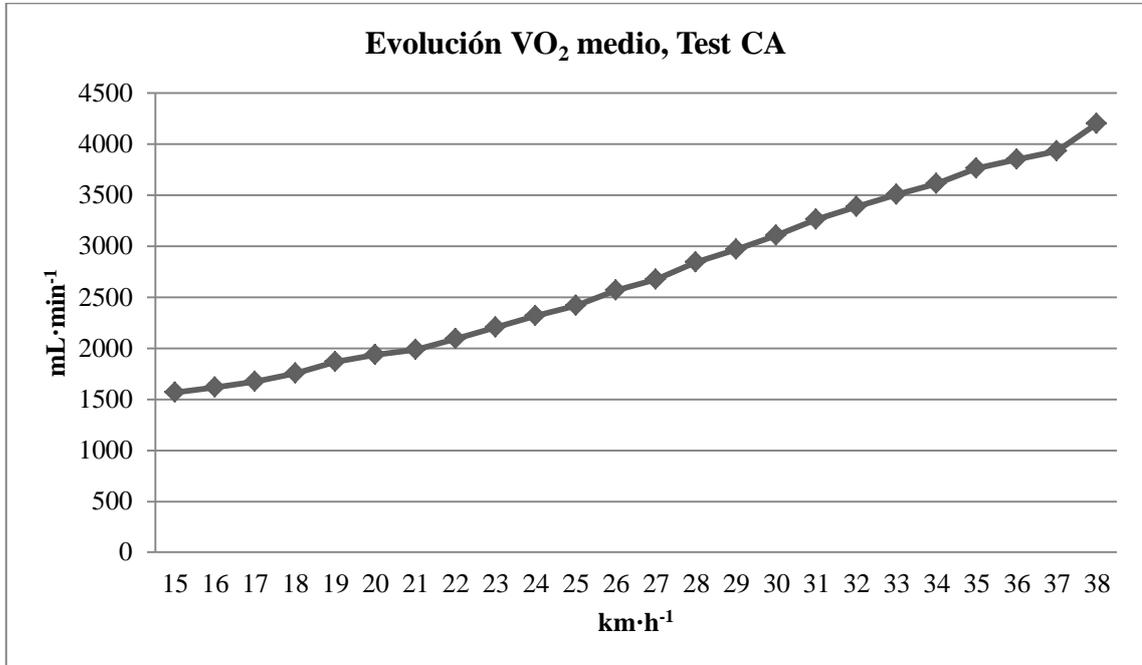


Fig. 4.3.1. Evolución del VO_2 medio, Test CA.

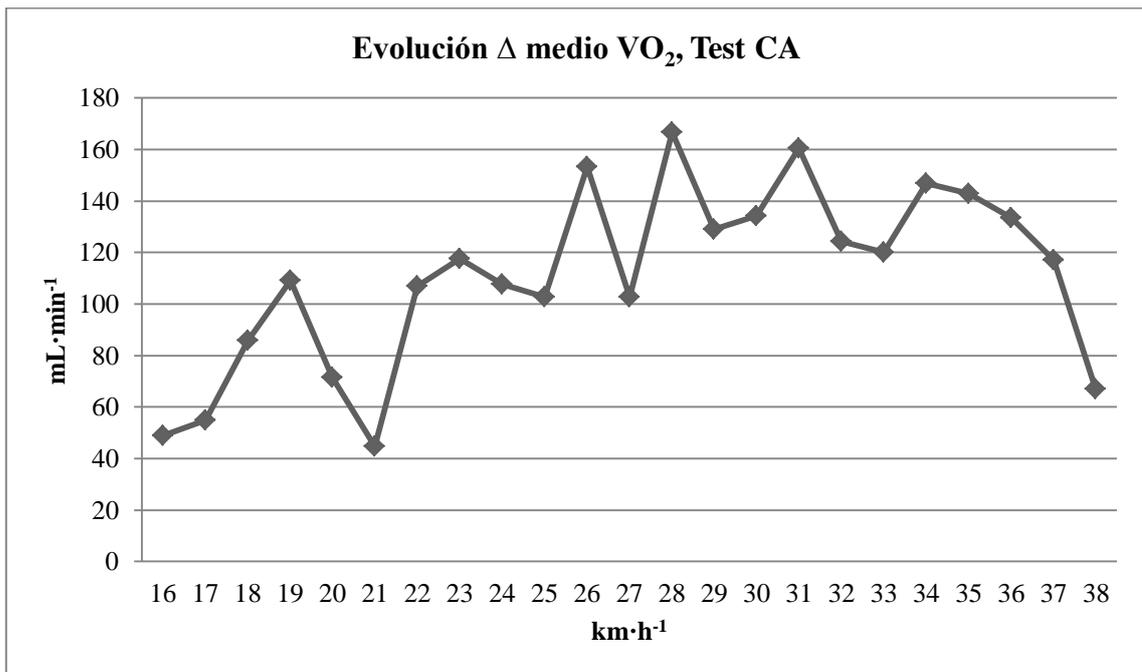


Fig. 4.3.2. Evolución del Δ medio de VO_2 , Test CA.

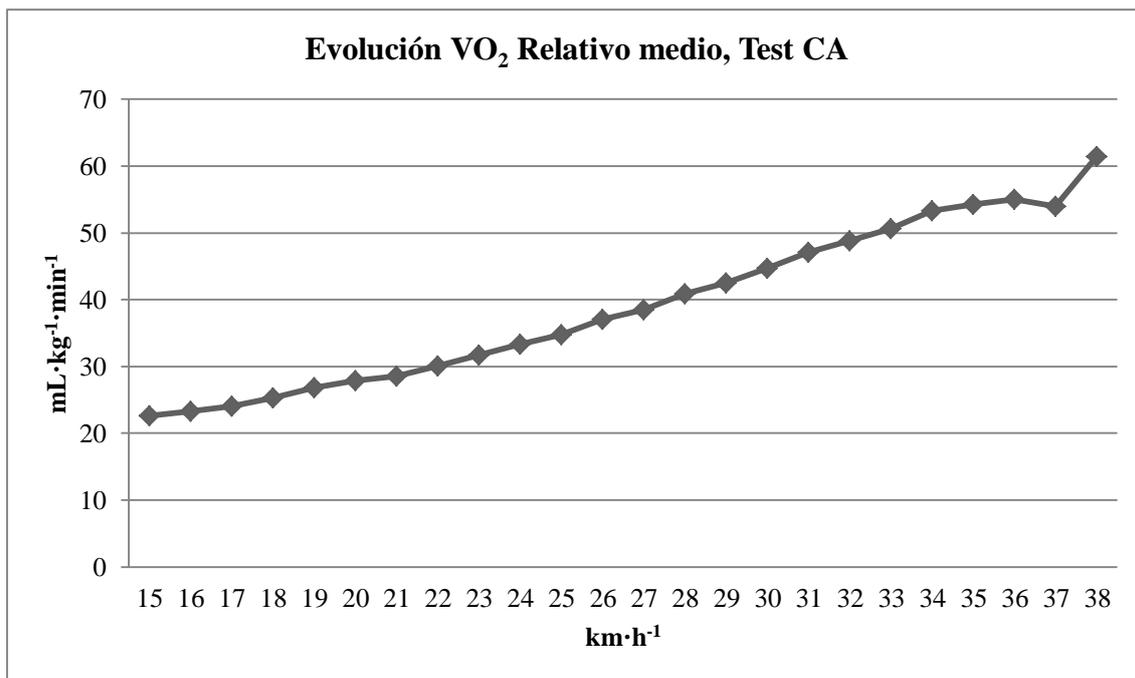


Fig. 4.3.3. Evolución del VO₂ Relativo medio, Test CA.

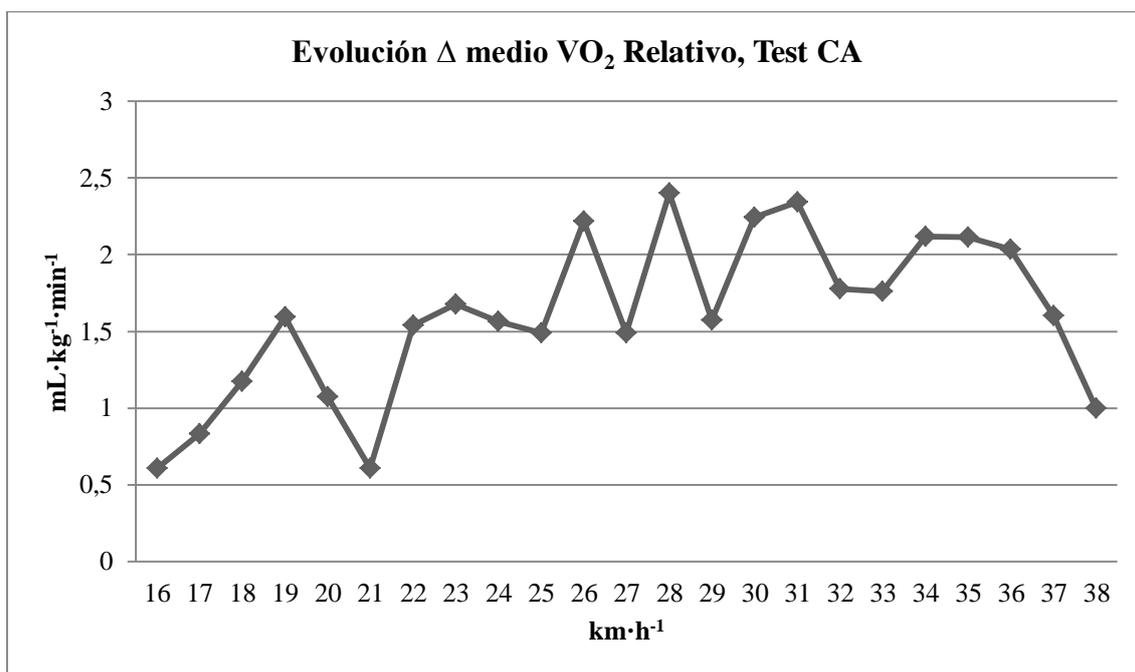


Fig. 4.3.4. Evolución del Δ medio de VO₂ Relativo, Test CA.

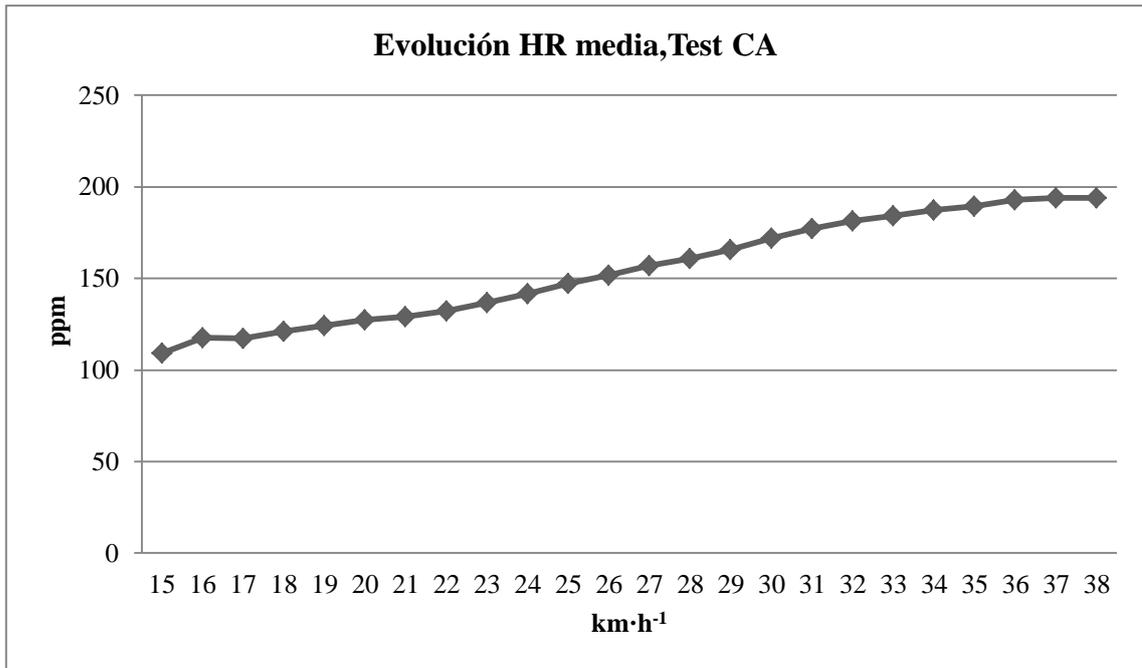


Fig. 4.3.5. Evolución de la Frecuencia Cardíaca media, Test CA.

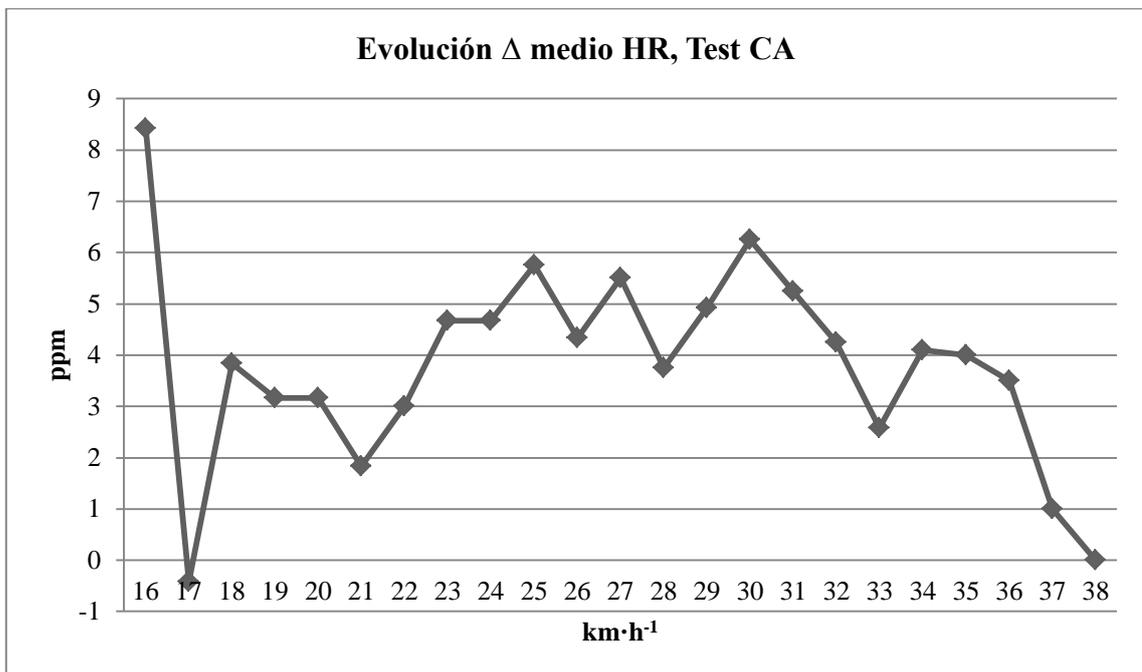


Fig. 4.3.6. Evolución del Δ medio de la Frecuencia Cardíaca, Test CA.

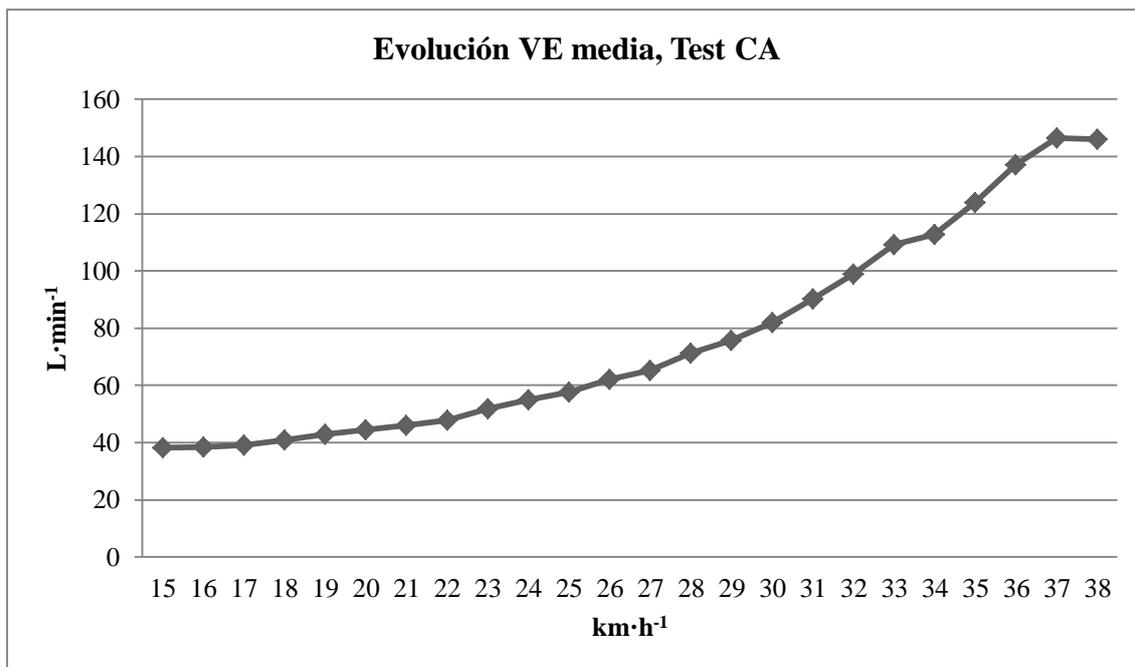


Fig. 4.3.7. Evolución de la Ventilación media, Test CA.

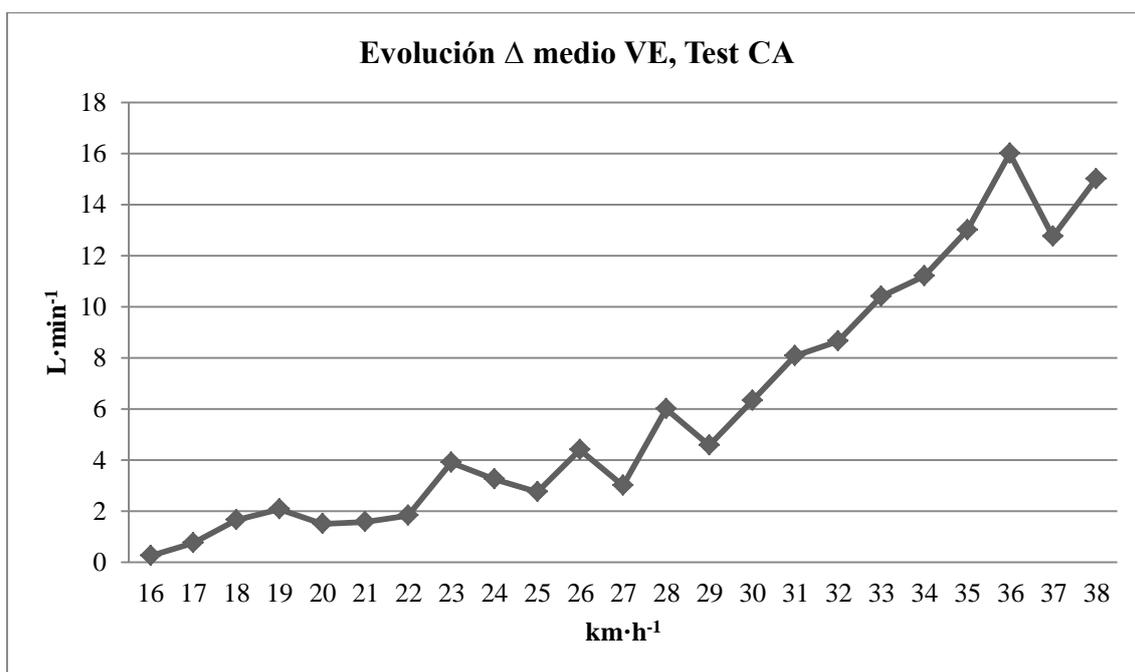


Fig. 4.3.8. Evolución del Δ medio de la Ventilación, Test CA.

4.4. Determinación de la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p), mediante una prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal.

A continuación se presentan los resultados relativos al cuarto objetivo.

➤ Test de Campo CA:

Tab. 4.4.1. Frecuencias Velocidad Aeróbica Máxima Patinando (VAM_p y VAM_{ps}), Test CA.

	N	Media	Mediana	Moda	Ö	Varianza	Mínimo	Máximo
VAM_p ($km \cdot h^{-1}$)	12	35,67	35,62	33,34 _a	1,55	2,43	33,34	38,34
VAM_{ps} ($km \cdot h^{-1}$)	12	35,58	35,50	37,00	1,62	2,26	33,50	38,00

a. Existen varias modas.

- La Velocidad Aeróbica Máxima Patinando de los sujetos en el test de campo CA presentó una media de $35,67 \pm 1,55 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los $33,34$ y $38,34 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

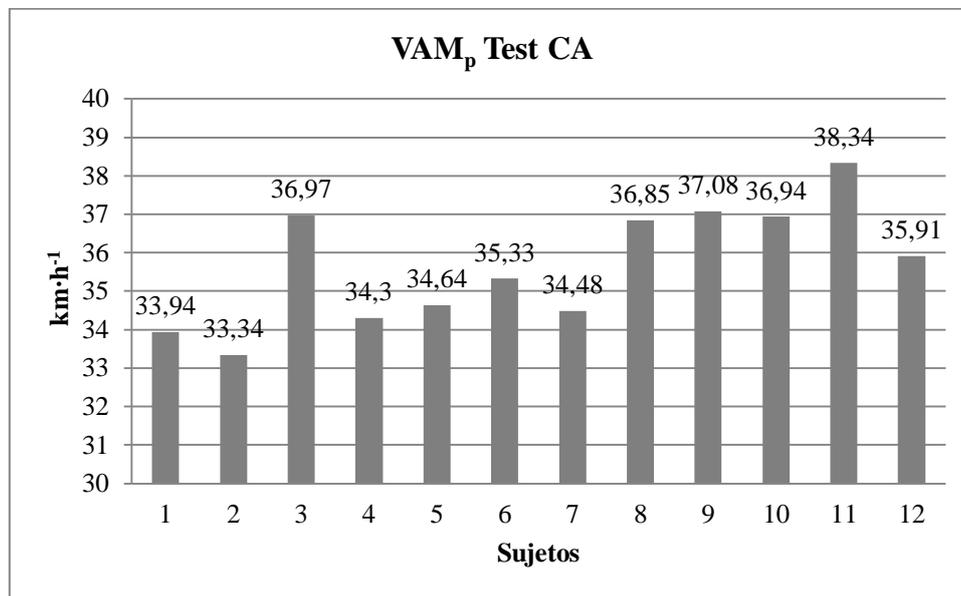


Fig. 4.4.1. Comportamiento de la VAM_p en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La Velocidad Aeróbica Máxima Patinando Estadío de los sujetos en el test de campo CA presentó una media de $35,50 \pm 1,62 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los $33,50$ y los $38 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

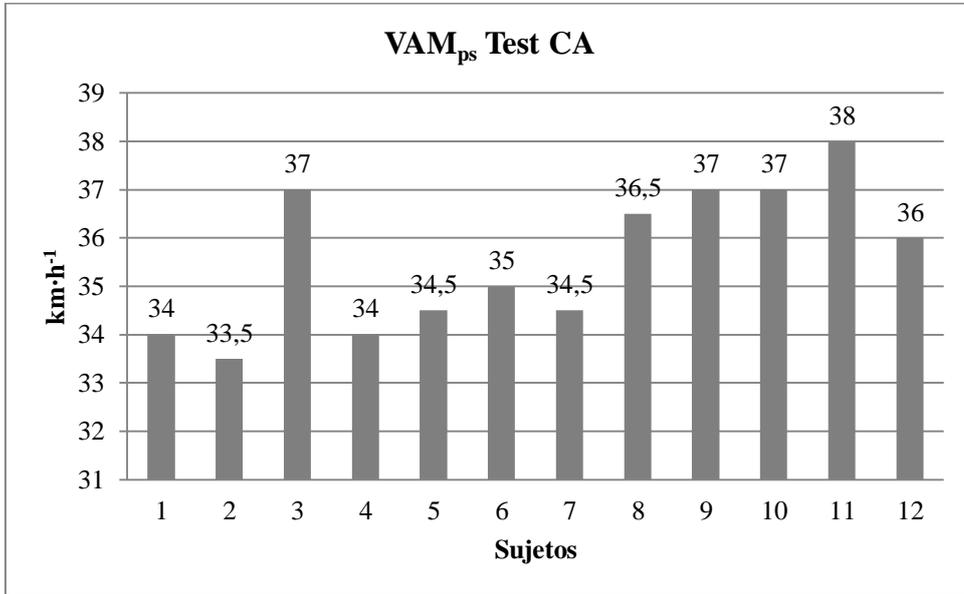


Fig. 4.4.2. Comportamiento de la VAM_{ps} en cada uno de los sujetos, Test CA.

4.5. Comprobación de que la misma prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal, realizada sin analizador de gases provoca diferencias respecto a la velocidad final alcanzada.

A continuación se presentan los resultados relativos al quinto objetivo.

➤ Test de Campo SA:

Tab. 4.5.1. Frecuencias Velocidad Aeróbica Máxima Patinando (VAM_p y VAM_{ps}), Test SA.

	N	Media	Mediana	Moda	Ö	Varianza	Mínimo	Máximo
VAM_p ($km \cdot h^{-1}$)	12	36,73	37,04	34,30 _a	1,64	2,69	34,30	39,37
VAM_{ps} ($km \cdot h^{-1}$)	12	36,45	36,75	38	1,63	2,65	34	39

a. Existen varias modas.

- La Velocidad Aeróbica Máxima patinando de los sujetos en el test de campo SA fue $36,73 \pm 1,64 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los $34,30$ y $39,37 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

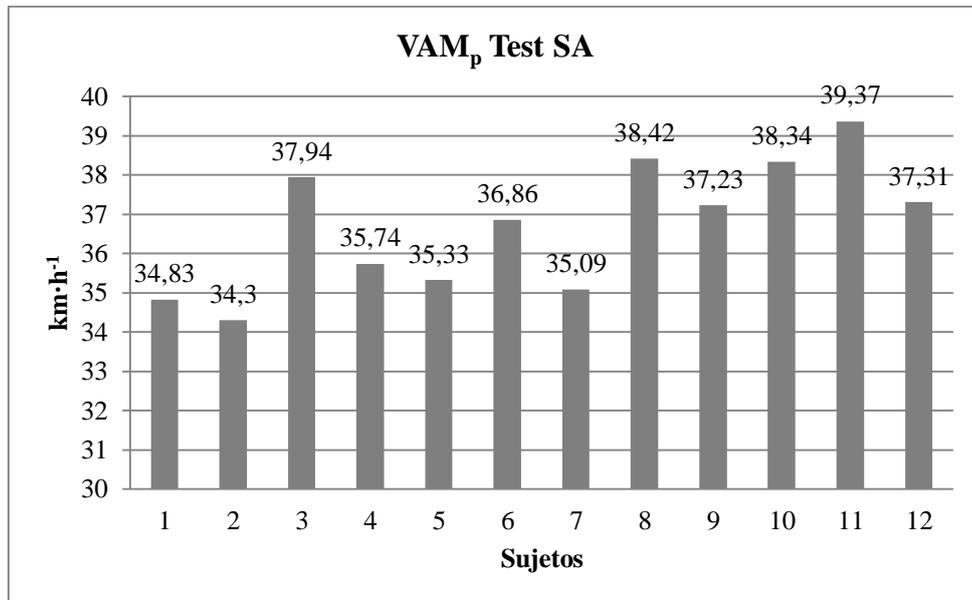


Fig. 4.5.1. Comportamiento de la VAM_p en cada uno de los sujetos, Test SA.

- La Velocidad Aeróbica Máxima patinando Estadio de los sujetos en el test de campo SA fue $36,45 \pm 1,63 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los 34 y 39 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

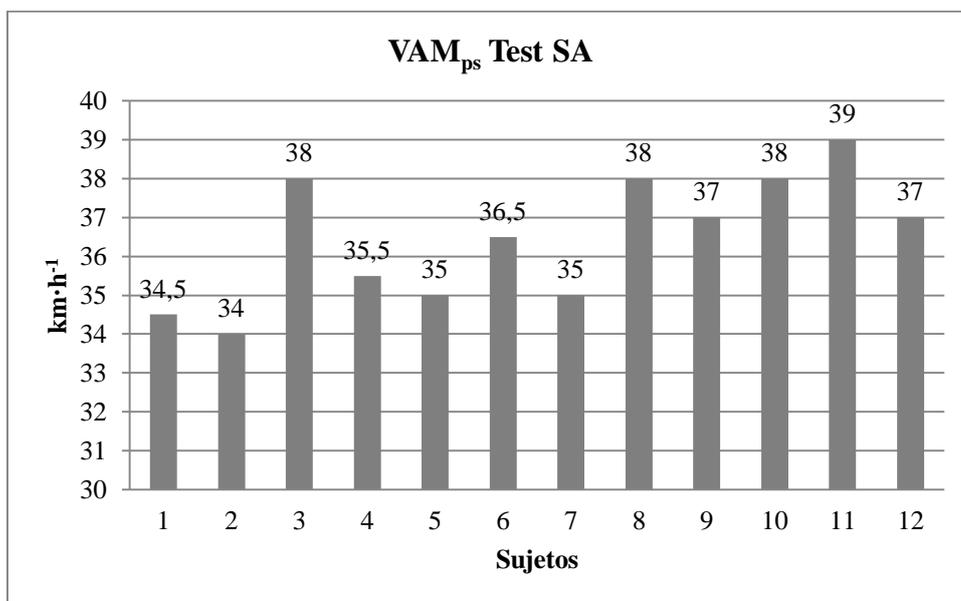


Fig. 4.5.2. Comportamiento de la VAM_{ps} en cada uno de los sujetos, Test SA.

Tab. 4.5.2. Resultados VAM_p y VAM_{ps}

	VAM _p	VAM _{ps}
Test CA	$35,67 \pm 1,55 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	$35,50 \pm 1,62 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
Test SA	$36,73 \pm 1,64 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	$36,45 \pm 1,63 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

➤ Diferencias entre los valores de VAM_p y VAM_{ps} Test de Campo CA:

Tab. 4.5.3. Asociación VAM_p vs VAM_{ps} ; Test CA.

		VAM_{ps} Test CA
VAM_p Test CA	Correlación	0,993
	Significación	0,000*
	N	12

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.5.4. Comparación VAM_p vs VAM_{ps} ; Test CA.

Variable	Tipo	$\mu \pm \bar{O}$	Normalidad ¹	Significación ²
VAM Test CA	Media Último	35,67 ± 1,55	0,775	0,118
	Minuto			
	Ajustada a 30 segundos	35,58 ± 1,26	0,827	

1 Sig. de la prueba K-S.

2 Sig. de la prueba T- 2 muestras relacionadas.

* Diferencia significativa $p < 0,05$.

➤ Diferencias entre los valores de VAM_p y VAM_{ps} Test de Campo SA:

Tab. 4.5.5. Asociación VAM_p vs VAM_{ps} ; Test SA.

		VAM_{ps} Test SA
VAM_p Test SA	Correlación	0,997
	Significación	0,000*
	N	12

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.5.6. Comparación VAM_p vs VAM_{ps} ; Test SA.

Variable	Tipo	$\mu \pm \bar{O}$	Normalidad ¹	Significación ²	Cohen's d
VAM Test SA	Media Último	36,73 ± 1,64	0,966	0,000*	2,474
	Minuto				
	Ajustada a 30 segundos	36,45 ± 1,63	0,914		

1 Sig. de la prueba K-S.

2 Sig. de la prueba T- 2 muestras relacionadas.

* Diferencia significativa $p < 0,05$.

Tab. 4.5.7. Resultados Individuales de los sujetos; Test CA vs Test SA.

Sujeto	Test	Tiempo Total	VAM_p	HR Max	Lac 1	Lac 3	Lac 5	Lac 7	Lac Max
1	CA	18,54	33,94	191	17,8	11,8	11,0	9,4	17,8
	SA	20,49	34,83	197	16,9	12,2	11,5	9,7	16,9
2	CA	19,20	33,34	195	14,8	15,3	14,1	15,1	15,3
	SA	20,18	34,30	189	15,1	13,4	13,2	13,2	15,1
3	CA	22,57	36,97	182	11,6	9,6	9,6	9,2	11,6
	SA	23,54	37,94	190	10,9	11,0	10,3	9,6	11
4	CA	20,18	34,30	200	11,9	11,0	10,4	10,3	11,9
	SA	21,44	35,74	199	12,6	11,9	11,6	11,5	12,6
5	CA	20,38	34,64	184	7,7	9,1	8,3	8,3	9,1
	SA	21,19	35,33	183	13,3	13,2	12,6	11,0	13,3
6	CA	21,19	35,33	190	11,8	11,0	10,2	9,2	11,8
	SA	22,53	36,86	183	13,9	13,3	12,9	13,3	13,9
7	CA	20,28	34,48	205	13,0	11,3	10,3	9,9	13
	SA	21,04	35,09	214	14,0	12,7	11,2	9,5	14
8	CA	22,48	36,85	202	17,8	13,2	13,7	11,9	17,8
	SA	24,22	38,42	208	13,0	13,4	13,2	12,0	13,4
9	CA	23,02	37,08	205	11,3	11,0	10,2	9,3	11,3
	SA	23,12	37,23	200	15,4	10,8	9,3	9,3	15,4
10	CA	22,57	36,94	197	10,6	10,1	9,4	8,4	10,6
	SA	24,17	38,34	196	15,3	10,4	10,0	8,7	15,3
11	CA	24,17	38,34	197	13,6	15,1	14,2	14,1	15,1
	SA	25,21	39,37	198	12,5	12,9	12,6	11,8	12,9
12	CA	21,24	35,91	194	9,1	9,7	8,3	7,2	9,7
	SA	23,16	37,31	198	12,8	9,2	8,3	7,7	12,8

A continuación se presentan los resultados individualizados para cada test.

➤ Test CA.

Los resultados de las variables VAM_p y VAM_{ps} fueron ya presentadas anteriormente.

Tab. 4.5.8. Frecuencias Variables Test CA.

	N	Media	Mediana	Moda	Ö	Varianza	Mínimo	Máximo
Tiempo								
Total (min)	12	21,52	21,35	22,95 _a	1,67	2,79	18,90	24,28
Frecuencia								
Cardíaca (ppm)	12	195,16	196	197 _a	7,46	55,78	182	205
Lactato 1 (mmol·L⁻¹)	12	12,58	11,85	17,8	3,07	9,46	7,7	17,8
Lactato 3 (mmol·L⁻¹)	12	11,51	11	11	2,03	4,15	9,1	15,3
Lactato 5 (mmol·L⁻¹)	12	10,80	10,25	8,3 _a	2,08	4,35	8,3	14,2
Lactato 7 (mmol·L⁻¹)	12	10,19	9,35	9,2	2,36	5,59	7,2	15,1
Lactato Máximo (mmol·L⁻¹)	12	12,91	11,85	17,8	2,93	8,64	9,1	17,8

a. Existen varias modas.

- El Tiempo Total de los sujetos en el test de campo CA fue $21,52 \pm 1,67$ min. Los sujetos oscilaron entre los 18,90 y 24,28 min.

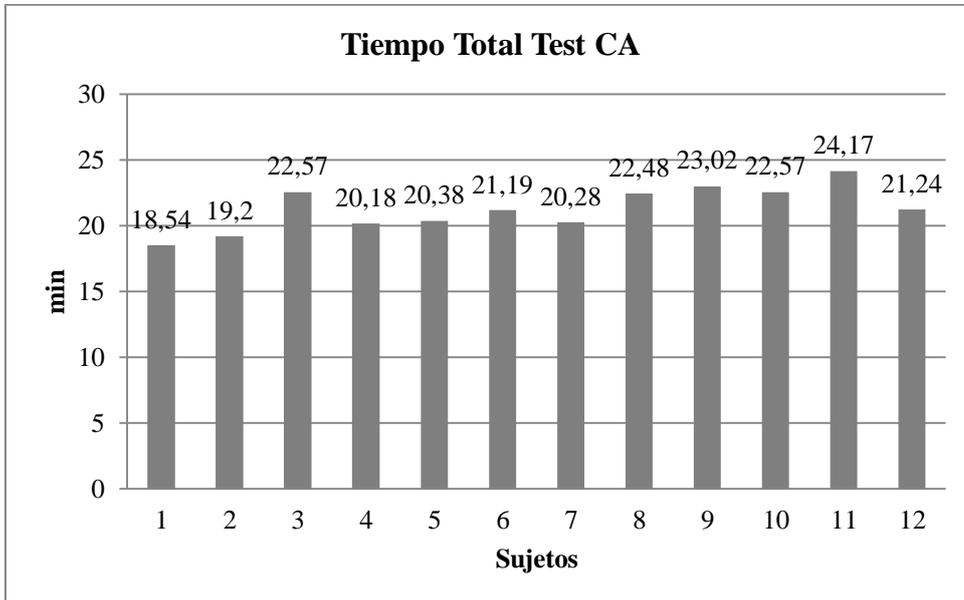


Fig. 4.5.3. Comportamiento de Tiempo Total en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La Frecuencia Cardíaca Máxima (HR) de los sujetos en el test de campo CA fue $195,16 \pm 7,46$ ppm. Los sujetos oscilaron entre las 182 y 205 ppm.

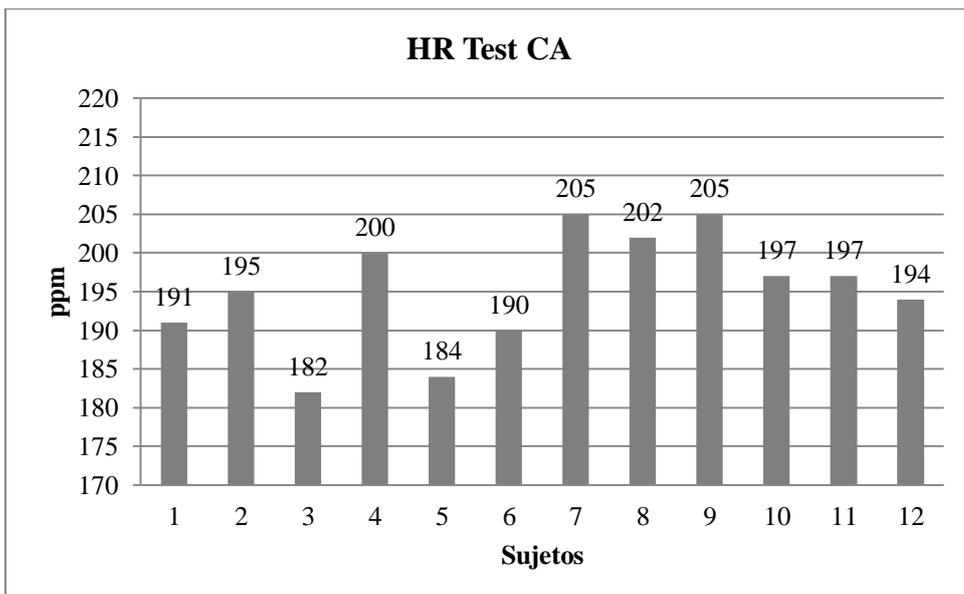


Fig. 4.5.4. Comportamiento de la HR en cada uno de los sujetos, Test CA.

4 Resultados

- El valor de ácido láctico min. 1 de los sujetos en el test de campo CA fue $12,58 \pm 3,07 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 7,7 y 17,8 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

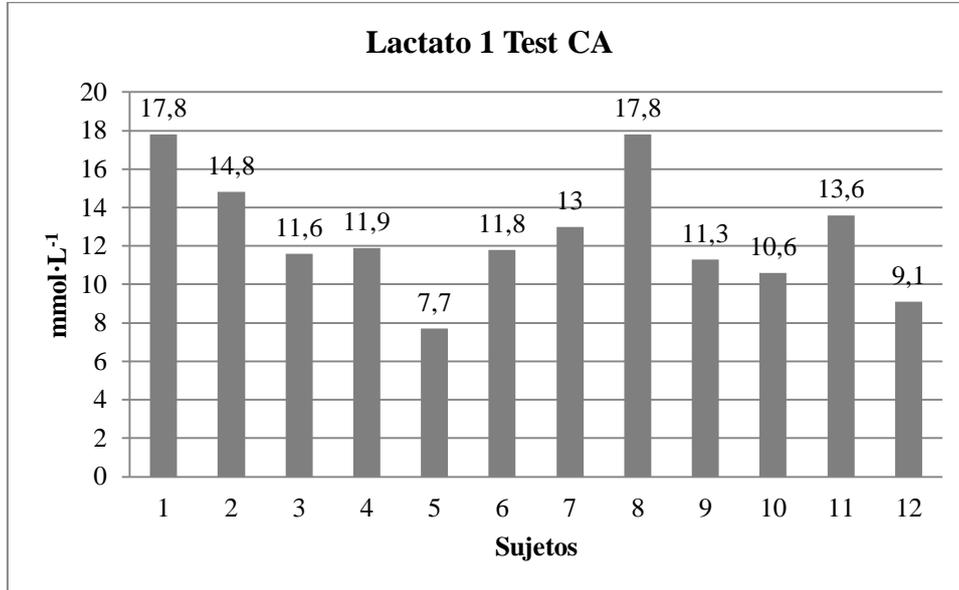


Fig. 4.5.5. Comportamiento de Lactato 1 en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El valor de ácido láctico min. 3 de los sujetos en el test de campo CA fue $11,51 \pm 2,03 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 9,1 y 15,3 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

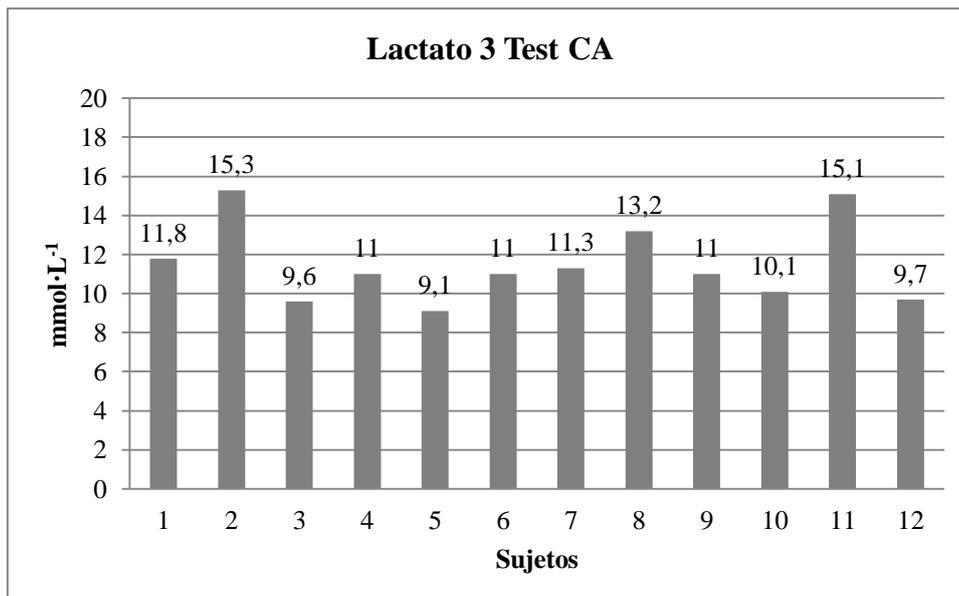


Fig. 4.5.6. Comportamiento de Lactato 3 en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El valor de ácido láctico min. 5 de los sujetos en el test de campo CA fue $10,80 \pm 2,08 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 8,3 y 14,2 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

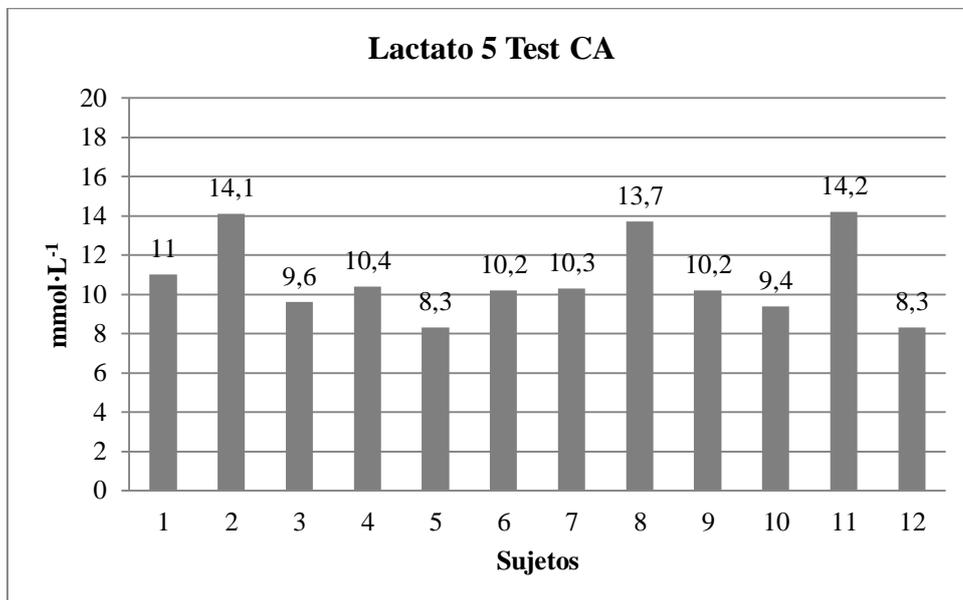


Fig. 4.5.7. Comportamiento de Lactato 5 en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El valor de ácido láctico min. 7 de los sujetos en el test de campo CA fue $10,19 \pm 2,36 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 7,2 y 15,1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

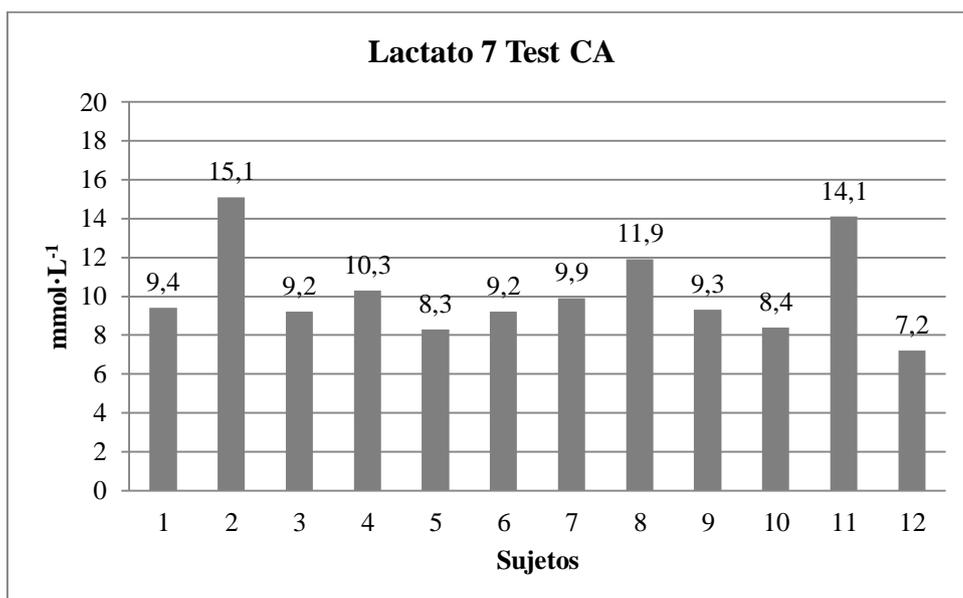


Fig. 4.5.8. Comportamiento de Lactato 7 en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El valor máximo de ácido láctico de los sujetos en el test de campo CA fue de $12,91 \pm 2,93 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre $9,1$ y $17,8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

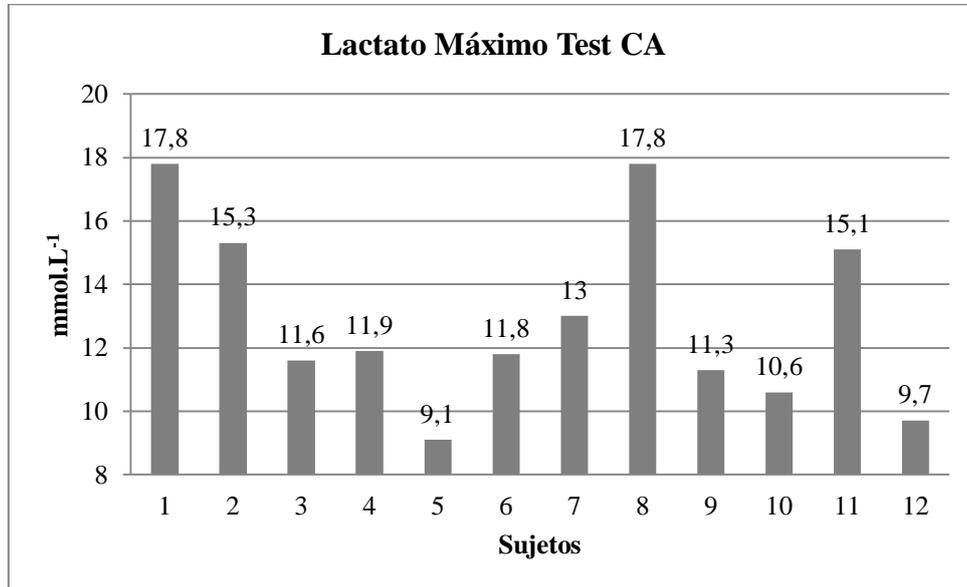


Fig. 4.5.9. Comportamiento del Lactato Máximo en cada uno de los sujetos, Test CA.

➤ Test SA.

Los resultados de las variables VAM_p y VAM_{ps} fueron ya presentadas anteriormente.

Tab. 4.5.9. Frecuencias Variables Comunes Ambas Pruebas, Test SA.

	N	Media	Mediana	Moda	\bar{O}	Varianza	Mínimo	Máximo
Tiempo								
Total (min)	12	22,54	23,04	19,31 _a	1,86	3,49	19,31	25,35
Frecuencia								
Cardíaca (ppm)	12	196,25	197,50	183 _a	9,16	84,02	183	214
Lactato 1 (mmol·L⁻¹)	12	13,80	13,60	10,9 _a	1,64	2,69	10,9	16,9
Lactato 3 (mmol·L⁻¹)	12	12,03	12,45	13,4	1,38	1,93	9,2	13,4
Lactato 5 (mmol·L⁻¹)	12	11,39	11,55	12,6 _a	1,62	2,62	8,3	13,2
Lactato 7 (mmol·L⁻¹)	12	10,60	10,35	7,7 _a	1,78	3,19	7,7	13,3
Lactato								
Máximo (mmol·L⁻¹)	12	13,88	13,65	11,00 _a	1,58	2,50	11,00	16,9

a. Existen varias modas.

- El Tiempo Total de los sujetos en el test de campo SA fue $22,54 \pm 1,86$ min. Los sujetos oscilaron entre los 19,31 y 25,35 min.

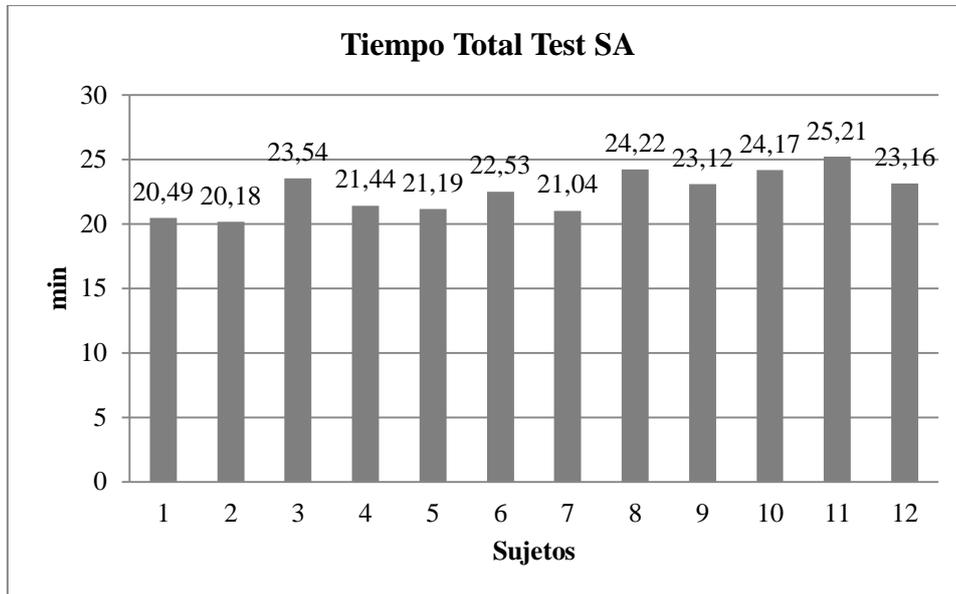


Fig. 4.5.10. Comportamiento del Tiempo Total en cada uno de los sujetos, Test SA.

- La Frecuencia Cardíaca de los sujetos en el test de campo SA fue $196,25 \pm 9,16$ ppm. Los sujetos oscilaron entre las 183 y 214 ppm.

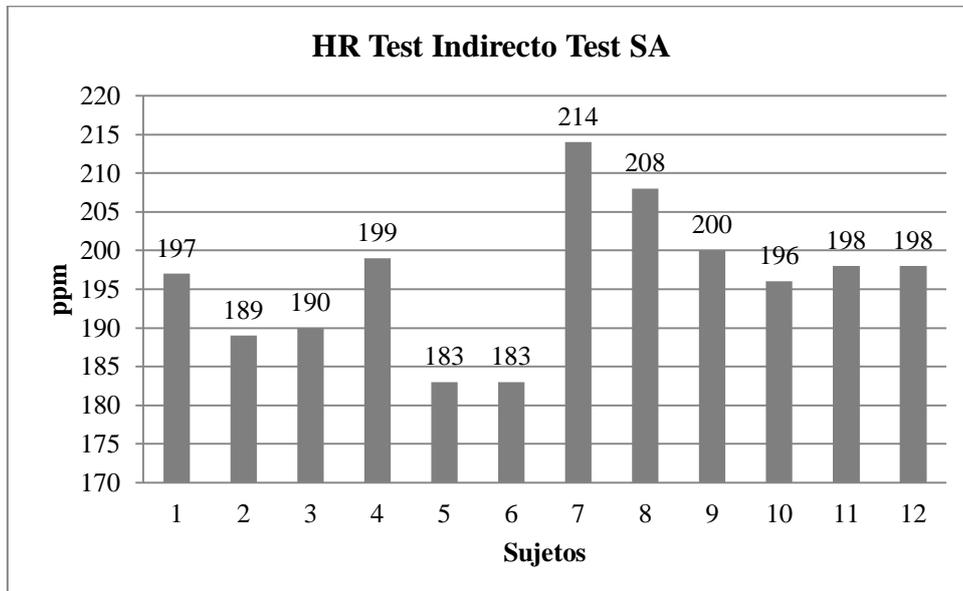


Fig. 4.4.11. Comportamiento de HR en cada uno de los sujetos, Test SA.

- El valor de ácido láctico min. 1 de los sujetos en el test de campo SA fue $13,80 \pm 1,64 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 10,9 y 16,9 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

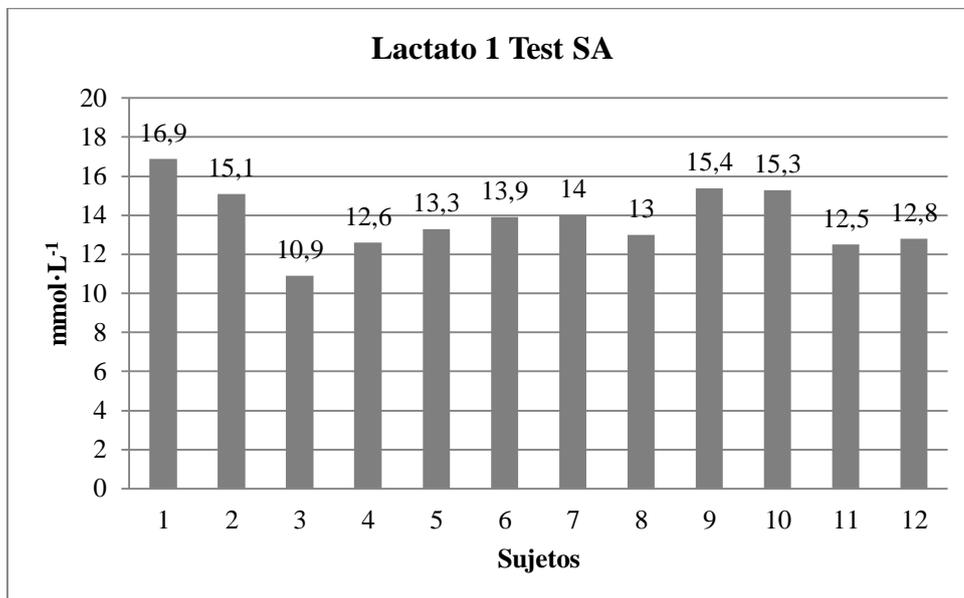


Fig. 4.5.12. Comportamiento de Lactato 1 en cada uno de los sujetos, Test SA.

- El valor de ácido láctico min. 3 de los sujetos en el test de campo SA fue $12,03 \pm 1,38 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 9,2 y 13,4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

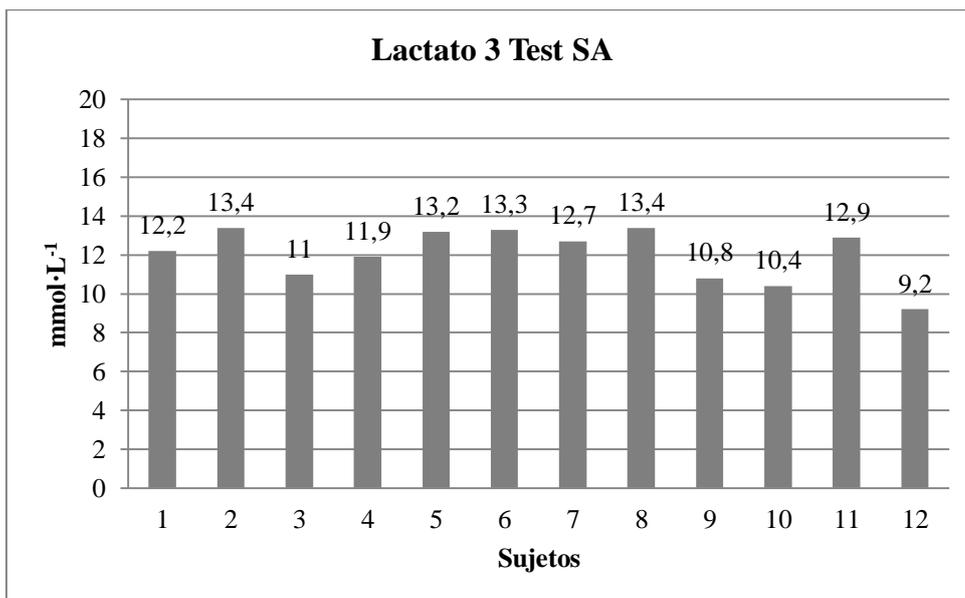


Fig. 4.5.13. Comportamiento de Lactato 3 en cada uno de los sujetos, Test SA.

4 Resultados

- El valor de ácido láctico min. 5 de los sujetos en el test de campo SA fue $11,39 \pm 1,62 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 8,3 y 13,2 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

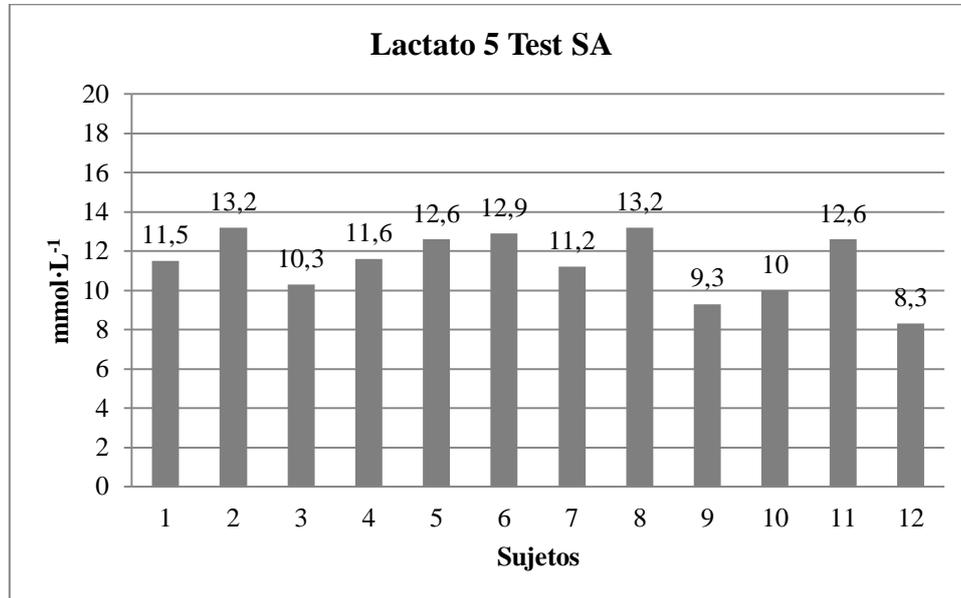


Fig. 4.5.14. Comportamiento de Lactato 5 en cada uno de los sujetos, Test SA.

- El valor de ácido láctico min. 7 de los sujetos en el test de campo SA fue $10,60 \pm 1,78 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 7,7 y 13,3 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

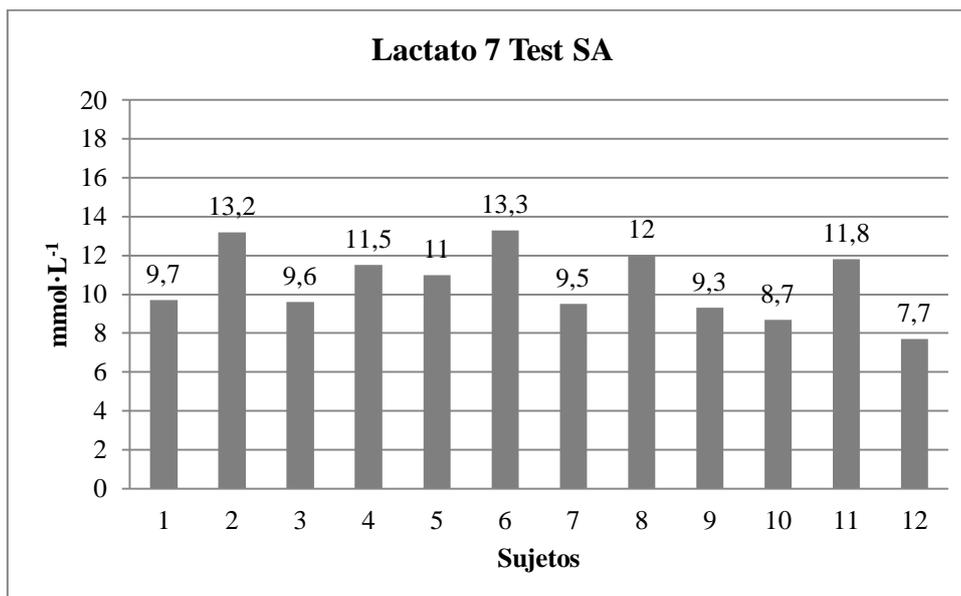


Fig. 4.5.15. Comportamiento de Lactato 7 en cada uno de los sujetos, Test SA.

- El valor máximo de ácido láctico de los sujetos en el test de campo SA fue $13,88 \pm 1,58 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 11 y 16,9 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

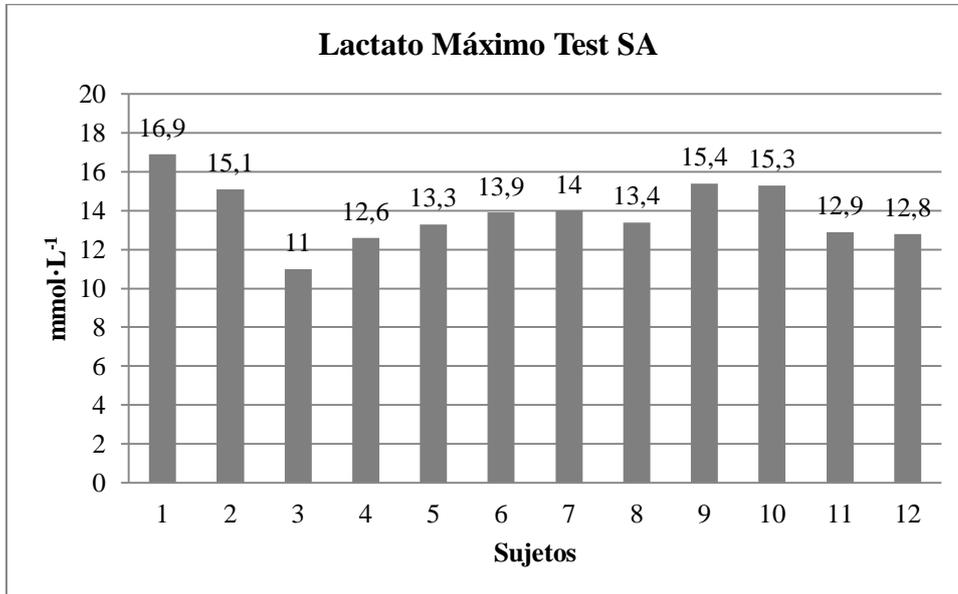


Fig. 4.5.16. Comportamiento de Lactato Máximo en cada uno de los sujetos, Test SA.

A continuación se representa gráficamente las diferencias en las variables homologas a ambos test para cada sujeto:

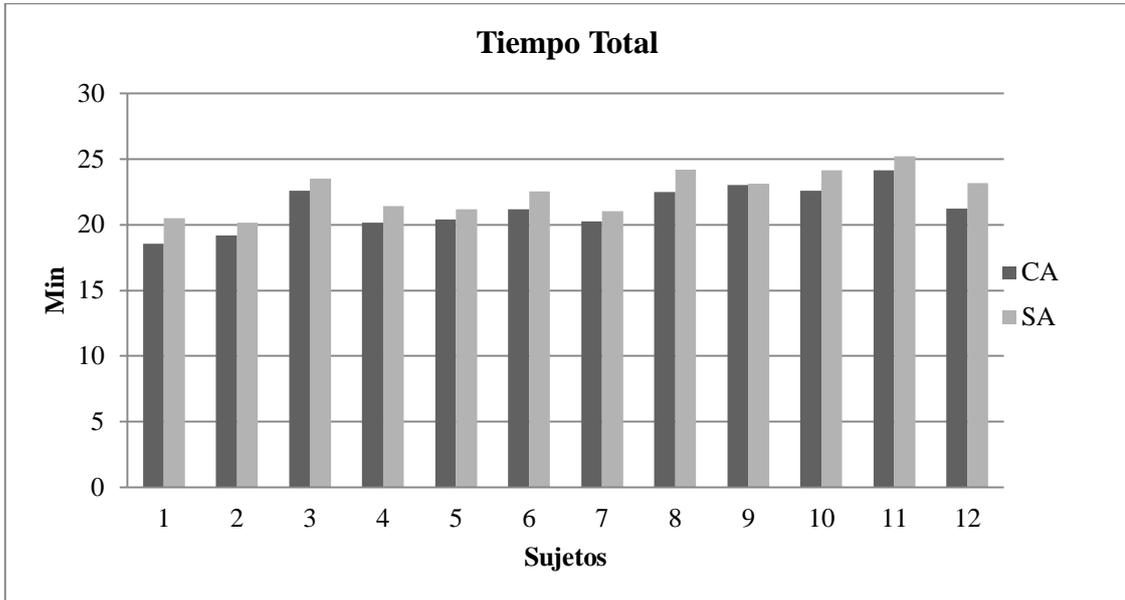


Fig. 4.5.17. Tiempo Total en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

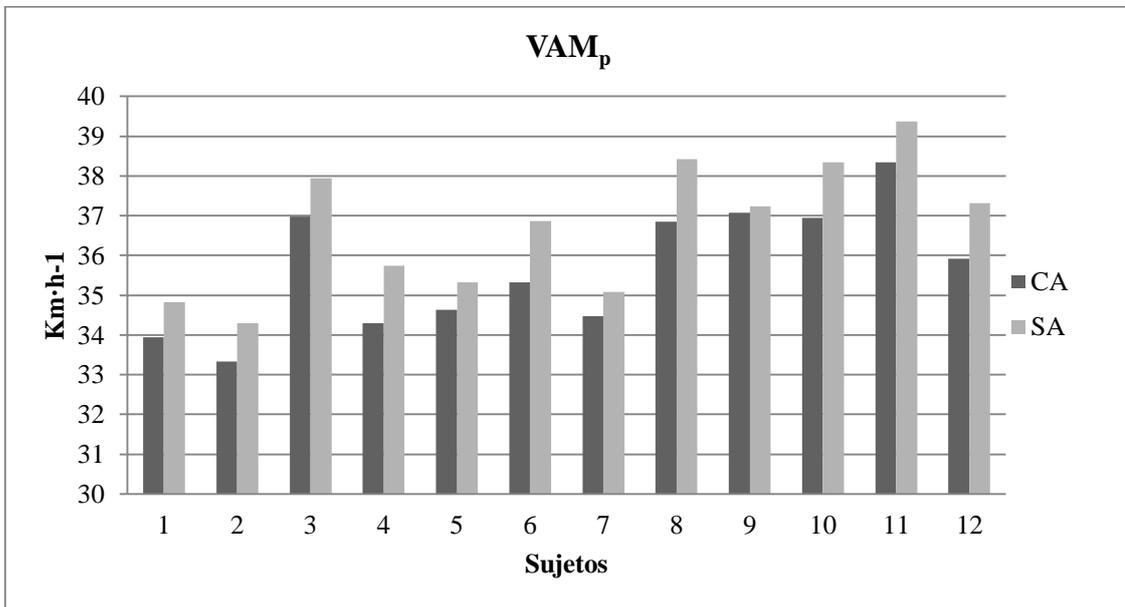


Fig. 4.5.18. VAM_p en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

4 Resultados

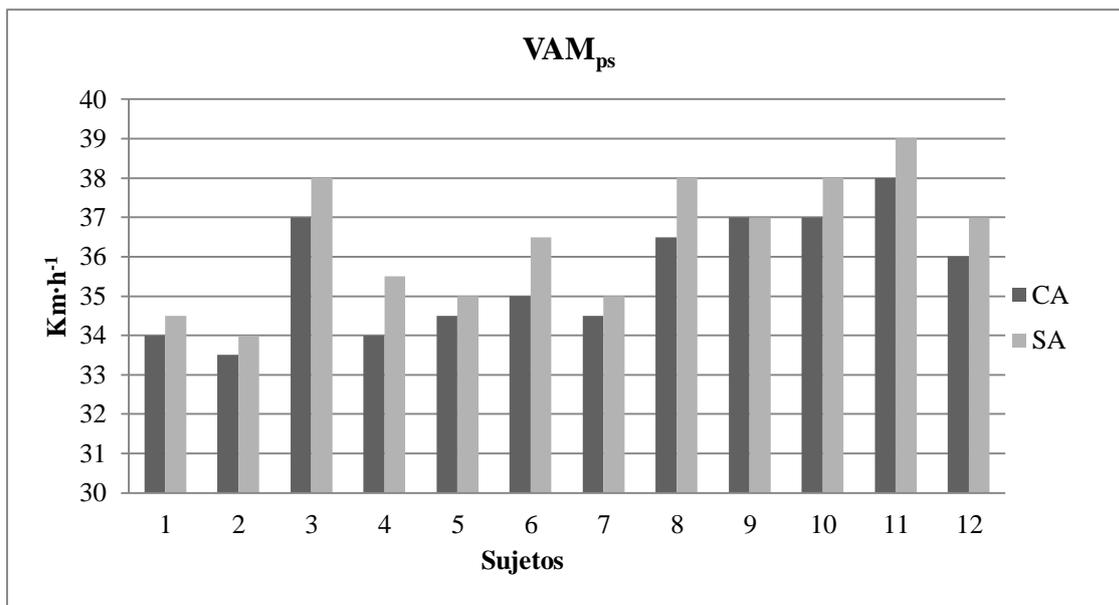


Fig. 4.5.19. VAM_{ps} en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

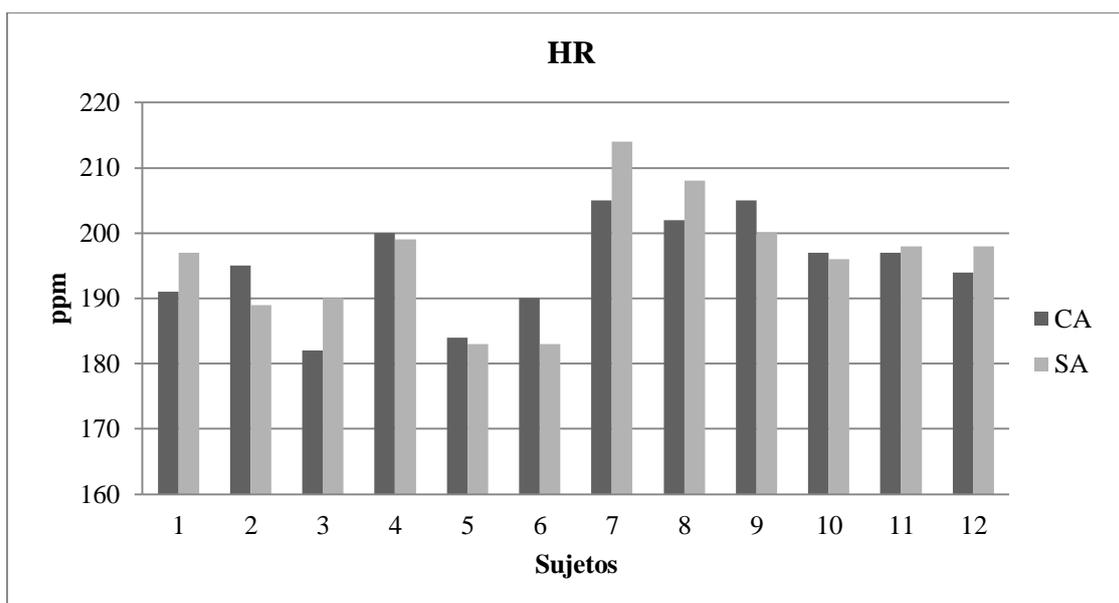


Fig. 4.5.20. HR en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

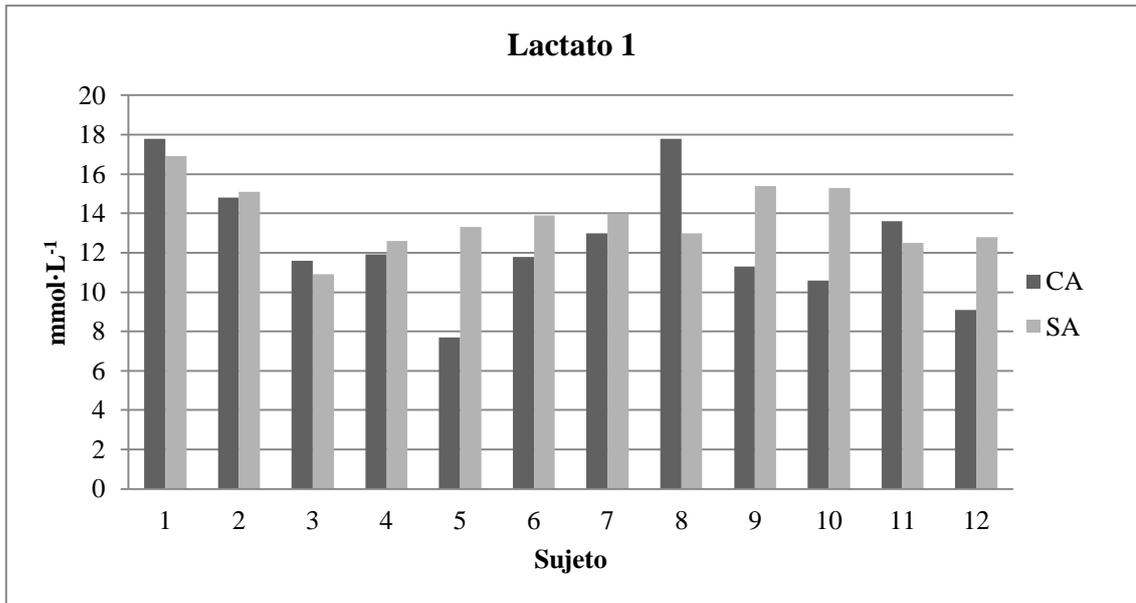


Fig. 4.5.21. Lactato 1 en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

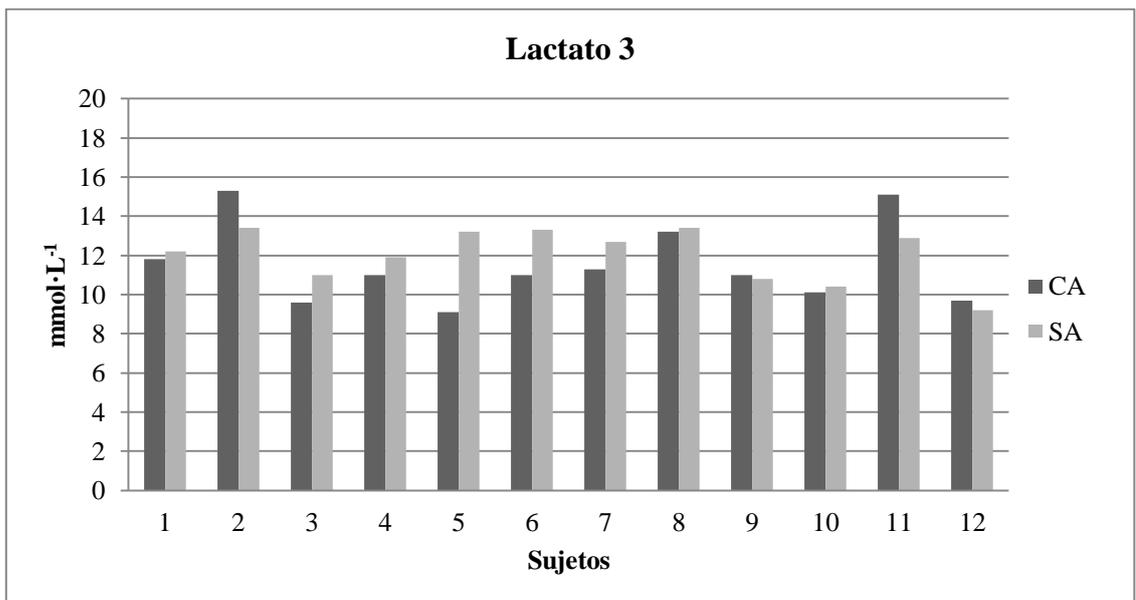


Fig. 4.5.22. Lactato 3 en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

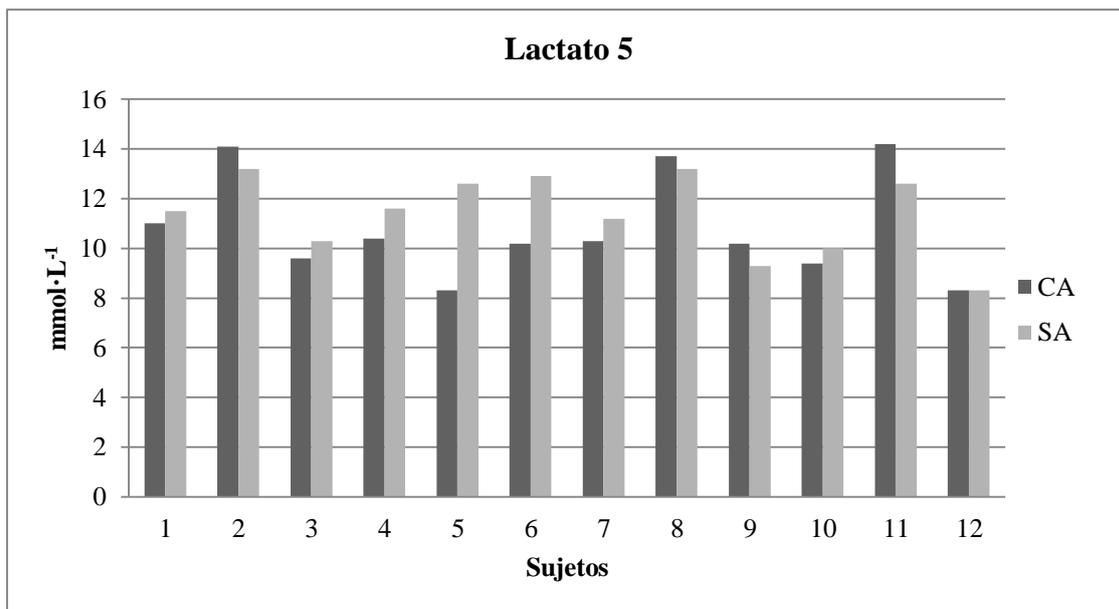


Fig. 4.5.23. Lactato 5 en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

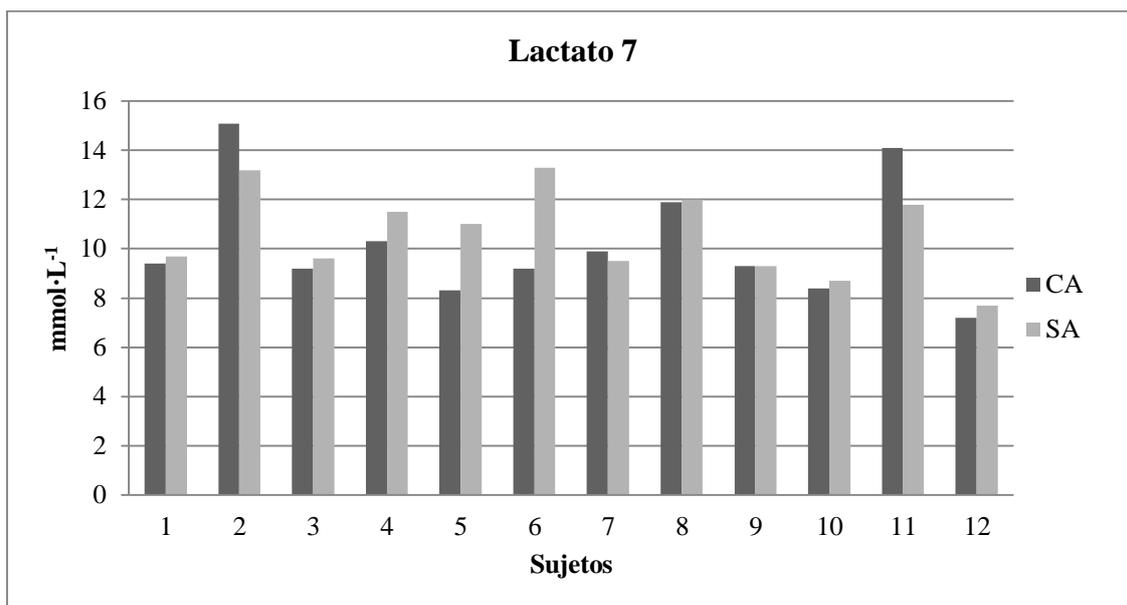


Fig. 4.5.24. Lactato7 en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

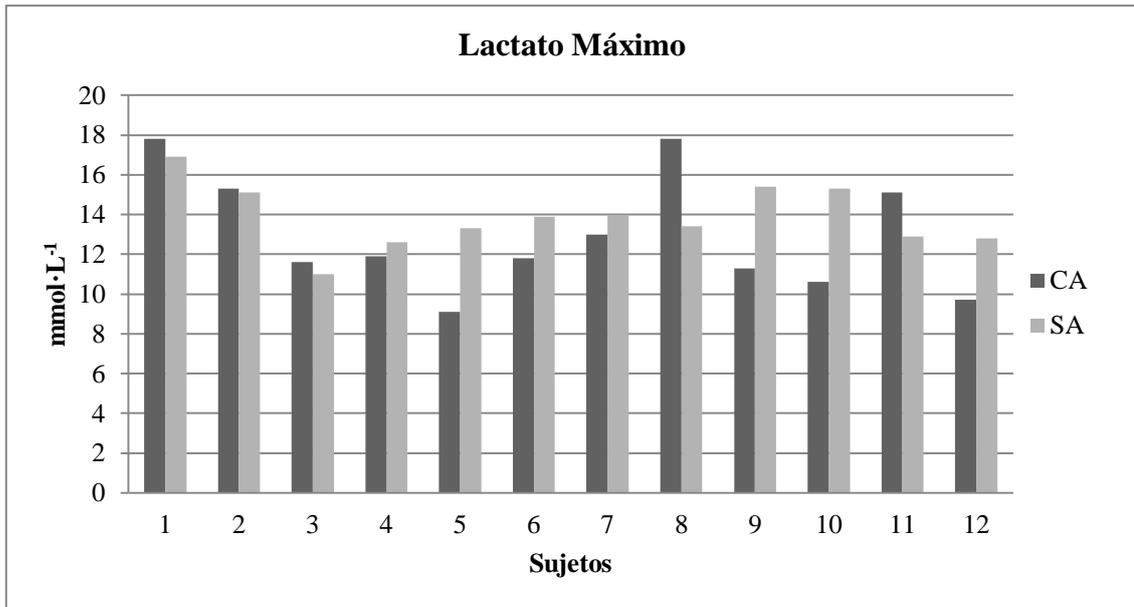


Fig. 4.5.25. Lactato Máximo en cada uno de los sujetos: CA vs SA.

A continuación se detallan los resultados relativos a las correlaciones entre las variables comunes a los test CA y SA:

Tab. 4.5.10. Correlaciones para variables repetidas; Test CA vs Test SA.

		<i>Test SA</i>
<i>Tiempo Total Test CA</i>	Correlación	0,879
	Significación	0,000*
	N	12
	95% CI	0,616 – 0,965
<i>VAM_p Test CA</i>	Correlación	0,965
	Significación	0,000*
	N	12
	95% CI	0,877 – 0,99
<i>VAM_{ps} Test CA</i>	Correlación	0,956
	Significación	0,000*
	N	12
	95% CI	0,847 – 0,987
<i>HR Test CA</i>	Correlación	0,800
	Significación	0,002*
	N	12
	95% CI	0,419 – 0,941
<i>Lactato 1 Test CA</i>	Correlación	0,327
	Significación	0,300
	N	12
<i>Lactato 3 Test CA</i>	Correlación	0,551
	Significación	0,064
	N	12
<i>Lactato 5 Test CA</i>	Correlación	0,636
	Significación	0,026*
	N	12
	95% CI	0,098 – 0,886
<i>Lactato 7 Test CA</i>	Correlación	0,683
	Significación	0,014*
	N	12
	95% CI	0,18 – 0,902
<i>Lactato Max Test CA</i>	Correlación	0,355
	Significación	0,257
	N	12

*Estadísticamente significativo.

4 Resultados

Seguidamente se detallan los resultados relativos a las Pruebas T para dos muestras relacionadas:

Tab. 4.5.11. Comparación Test CA vs Test SA.

Variable	Tipo	$\mu \pm \sigma$	Normalidad ¹	Significación ²	Cohen's d
Tiempo Total	CA	21,52 ± 1,67	0,761	0,002*	1,131
	SA	22,53 ± 1,86	0,932		
VAM_p	CA	35,67 ± 1,55	0,775	0,000*	2,427
	SA	36,73 ± 1,64	0,966		
VAM_{ps}	CA	35,58 ± 1,26	0,827	0,000*	1,812
	SA	36,45 ± 1,63	0,914		
HR	CA	195,17 ± 7,46	0,999	0,509	
	SA	196,25 ± 9,16	0,858		
Lactato 1	CA	12,58 ± 3,07	0,873	0,182	
	SA	13,80 ± 1,64	0,988		
Lactato 3	CA	11,51 ± 2,03	0,671	0,321	
	SA	12,03 ± 1,38	0,809		
Lactato 5	CA	10,80 ± 2,08	0,471	0,243	
	SA	11,39 ± 1,62	0,786		
Lactato 7	CA	10,19 ± 2,36	0,540	0,423	
	SA	10,60 ± 1,78	0,755		
Lactato Max	CA	12,91 ± 2,93	0,615	0,257	
	SA	13,88 ± 1,58	0,977		

1 Sig. de la prueba K-S.

2 Sig. de la prueba T- 2 muestras relacionadas.

* Diferencia significativa $p < 0,05$.

Seguidamente se representa gráficamente las diferencias entre medias para las variables homologas a ambos test:

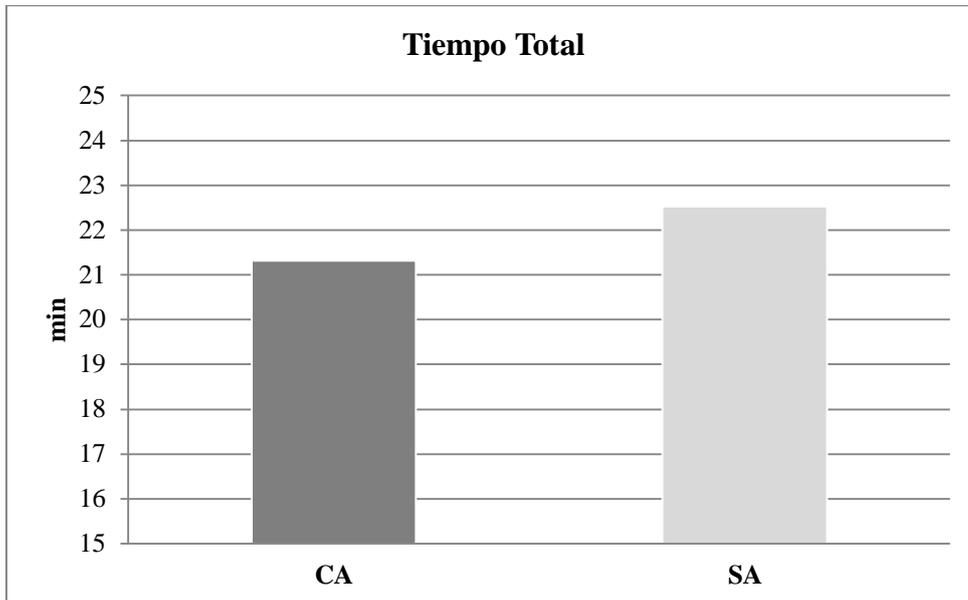


Fig. 4.5.26. Tiempo Total: CA vs SA.

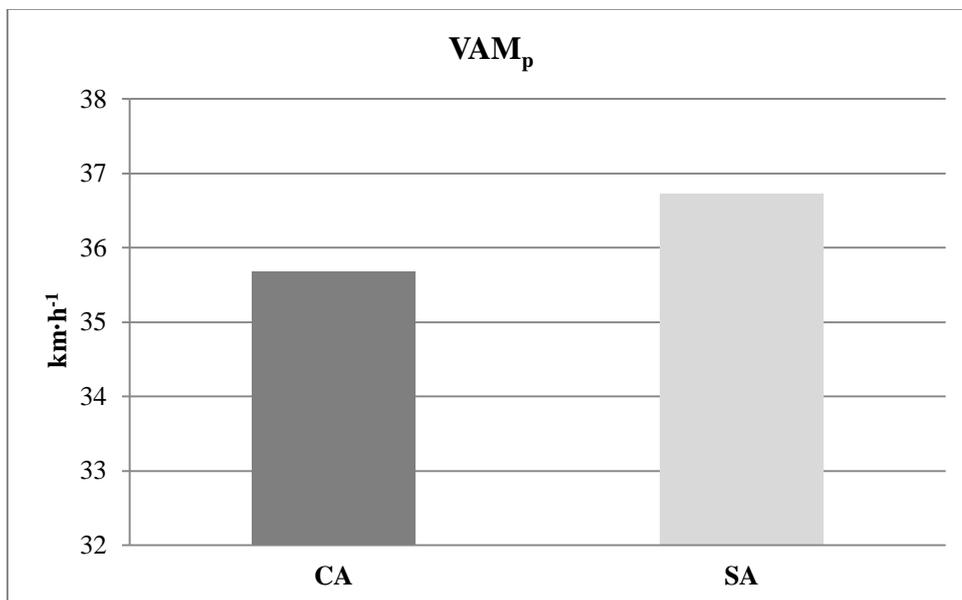


Fig. 4.5.27. VAM_p: CA vs SA.

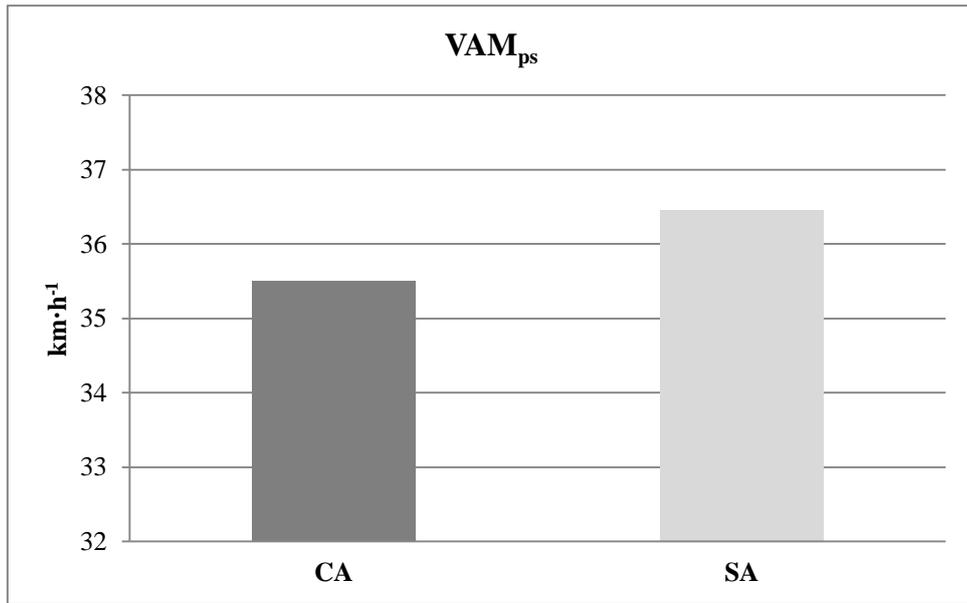


Fig. 4.5.28. VAM_{ps} : CA vs SA.



Fig. 4.5.29. HR: CA vs SA.

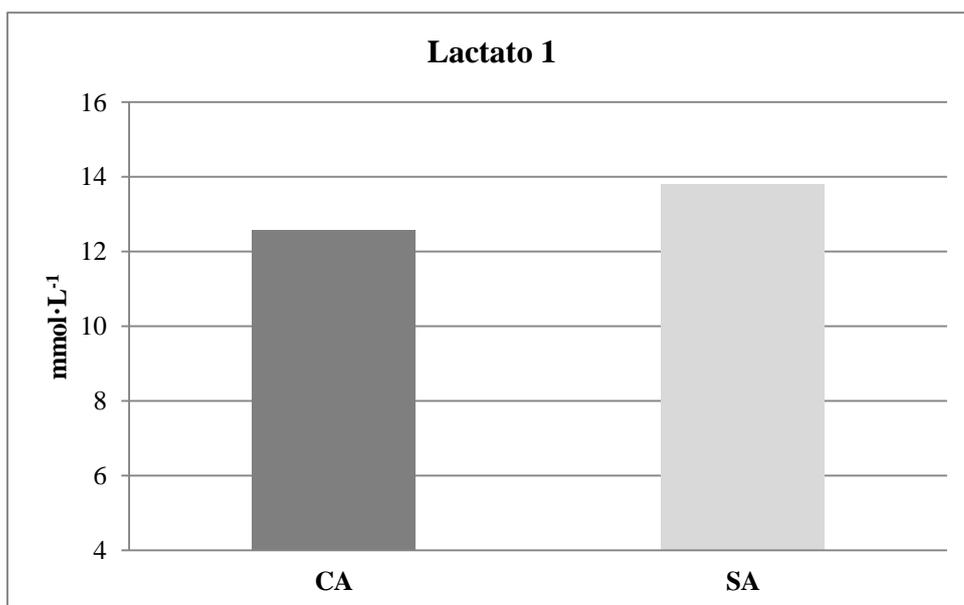


Fig. 4.5.30. Lactato 1: CA vs SA.

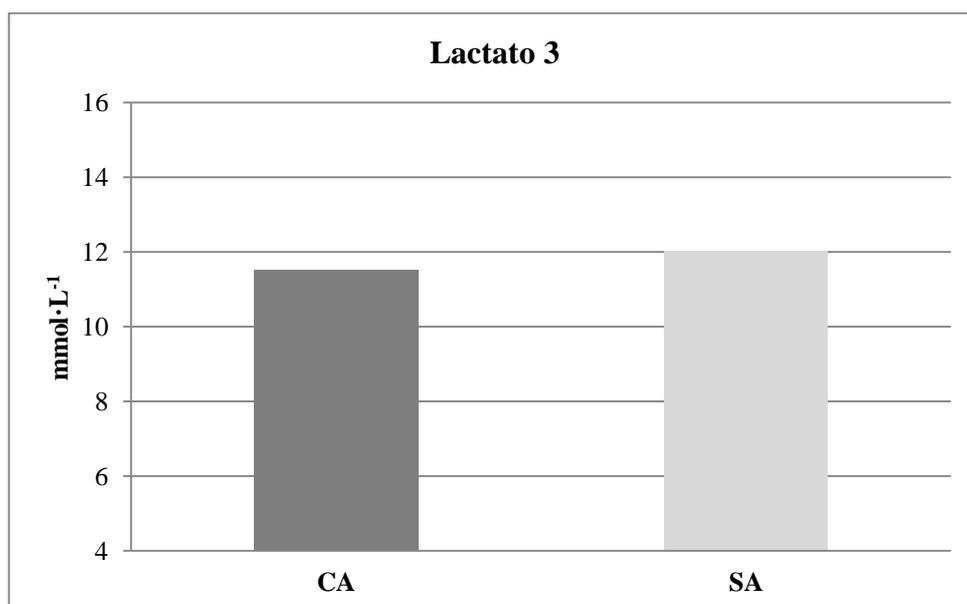


Fig. 4.5.31. Lactato 3: CA vs SA.

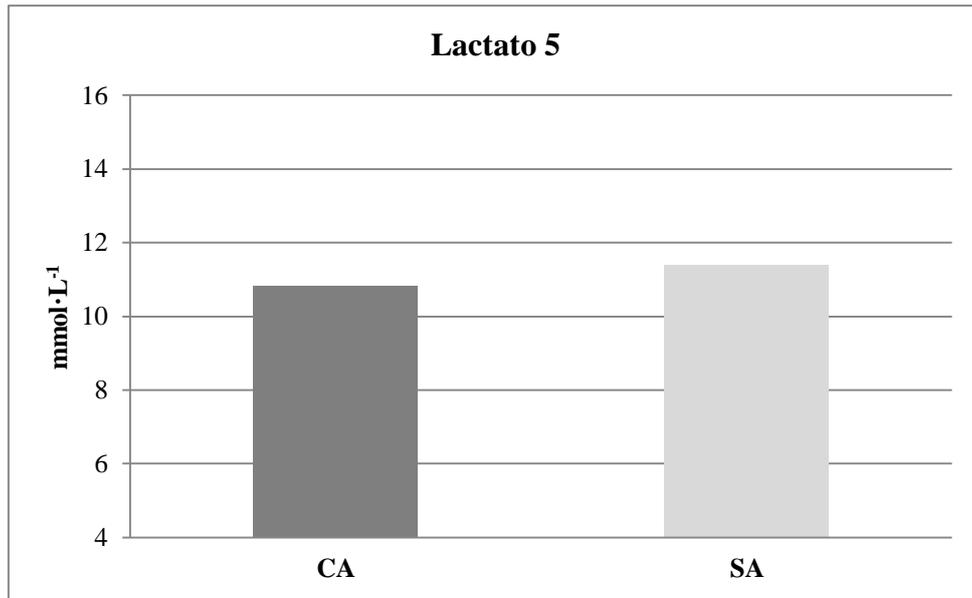


Fig. 4.5.32. Lactato 5: CA vs SA.

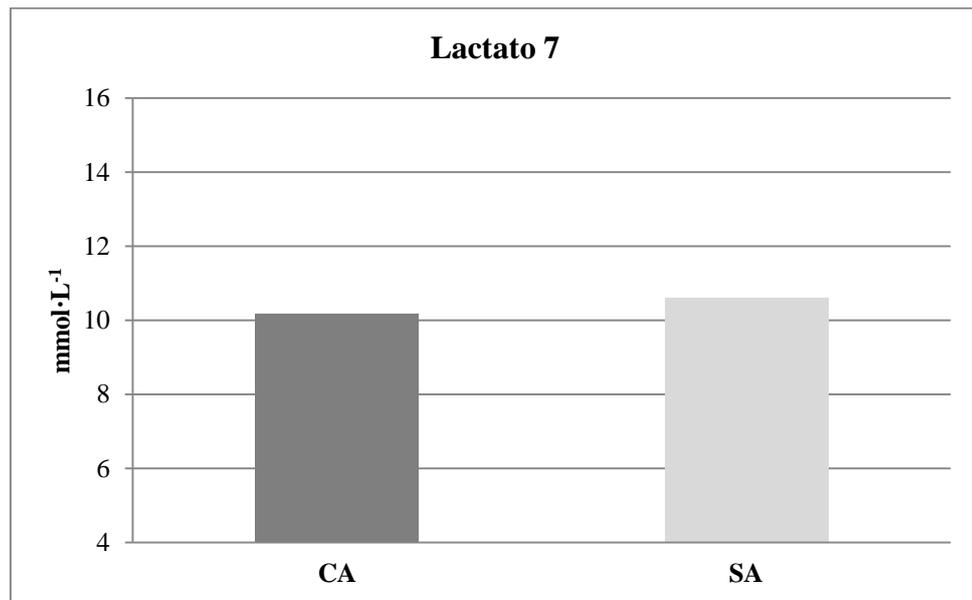


Fig. 4.5.33. Lactato 7: CA vs SA.

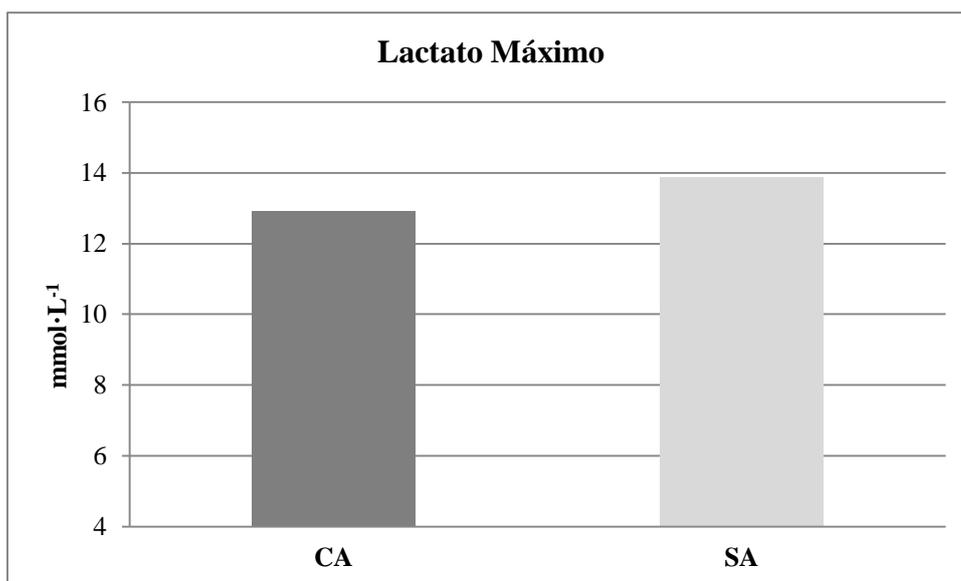


Fig. 4.5.34. Lactato Max: CA vs SA.

4.6. Valoración del nivel de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y el Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}).

A continuación se presentan los resultados relativos al cuarto objetivo.

Los resultados de la variable Velocidad Aeróbica Máxima Patinando (VAM_p), y del Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}) ya fueron presentadas previamente.

Tab. 4.6.1. Correlación VAM_p - VO_{2max} .

		VO_{2max}
VAM_p	Correlación	0,271
	Significación	0,395
	N	12

*Estadísticamente significativo.

4.7. Determinación los niveles de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y los Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).

A continuación se presentan los resultados relativos al sexto objetivo.

A continuación realizamos un estudio de las variables implicadas en el cálculo estadístico para la resolución del objetivo.

Las variables Velocidad Aeróbica Máxima Patinando (VAM_p), Velocidad Aeróbica Máxima Estadio (VAM_{ps}), VO_{2max} , %AE y %AT ya fueron descritas con anterioridad.

Tab. 4.7.1. Frecuencias Variables en el AE y en el AT.

	N	Media	Mediana	Moda	Ö	Varianza	Mínimo	Máximo
AE VO_2 ($mL \cdot min^{-1}$)	12	2335,42	2319	1780 _a	311,51	97043,90	1780	2798
AT VO_2 ($mL \cdot min^{-1}$)	12	3251,92	3195	2693 _a	372,62	138846,63	2693	3952
AE VE ($L \cdot min^{-1}$)	12	53,17	51,50	62	8,35	69,78	43	68
AT VE ($L \cdot min^{-1}$)	12	84,33	83,50	79	11,05	122,24	63	104
AE HR (ppm)	12	139	140,50	118 _a	11,53	133,09	118	158
AT HR (ppm)	12	173,58	175,50	173 _a	8,54	72,99	157	184
AE Vel ($km \cdot h^{-1}$)	12	23,50	23,50	20 _a	2,14	4,72	20	26,50
AT Vel ($km \cdot h^{-1}$)	12	30,87	30,75	30,50 _a	1,70	2,91	27,50	33
AE % VAM_{ps}	12	65,95	67,14	67,56	4,31	13,65	57,97	71,62
AT % VAM_{ps}	12	86,75	86,70	80,88 _a	2,99	8,96	80,88	92,75

a. Existen varias Modas.

4 Resultados

- El VO_2 en el AE de los sujetos fue de $2335,42 \pm 311,51 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de O_2 . Los sujetos oscilaron entre los 1780 y los $2798 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de O_2 .

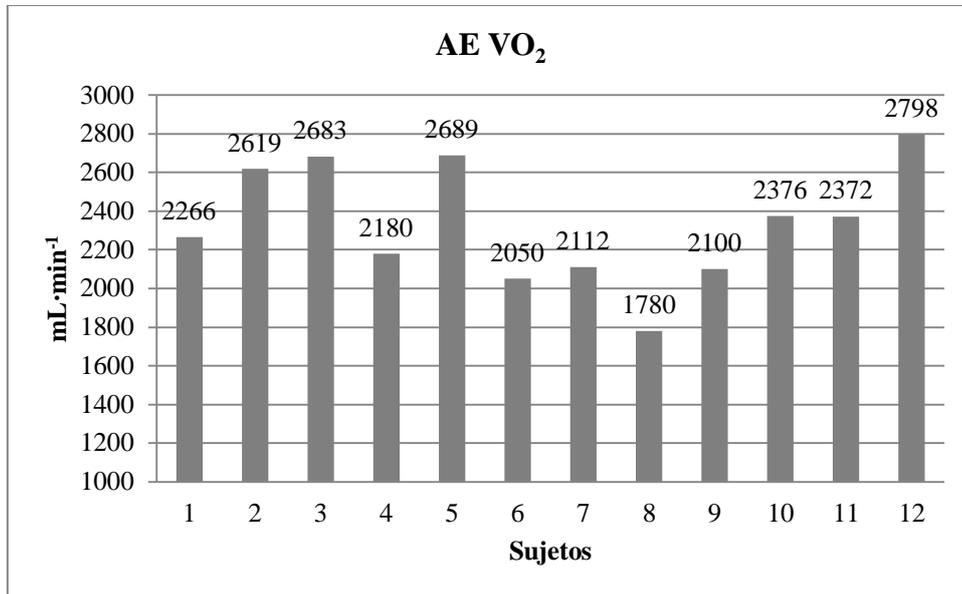


Fig. 4.7.1. Comportamiento del AE VO_2 en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El VO_2 en el AT de los sujetos fue de $3251,92 \pm 372,62 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de O_2 . Los sujetos oscilaron entre los 2693 y los $3952 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de O_2 .

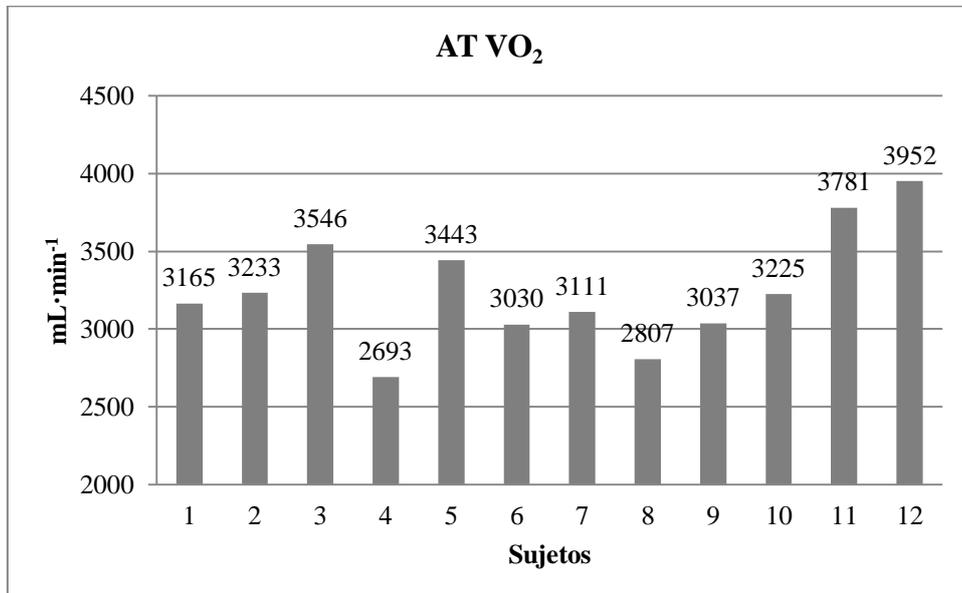


Fig. 4.7.2. Comportamiento del AT VO_2 en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La ventilación en el AE de los sujetos fue $53,17 \pm 8,35 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 43 y $68 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

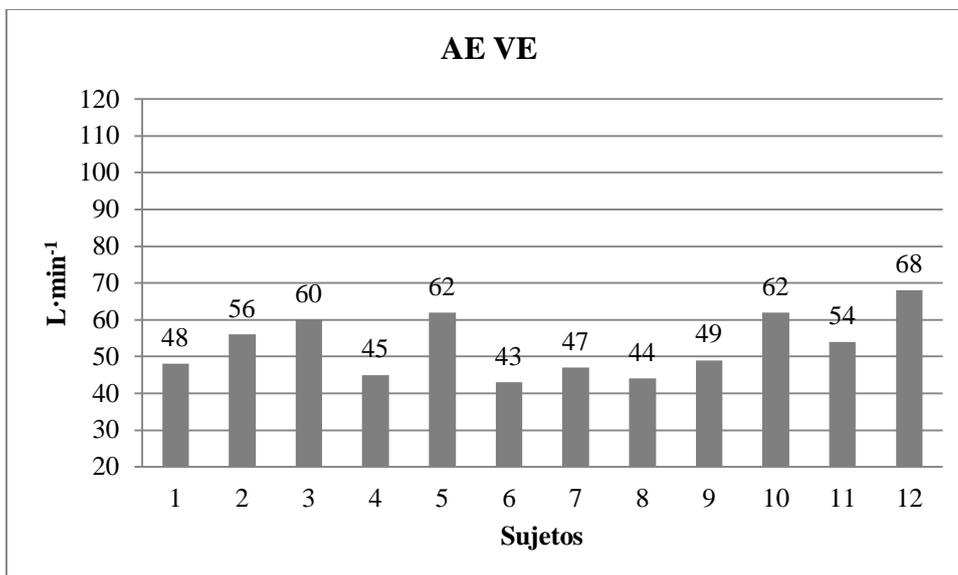


Fig. 4.7.3. Comportamiento del AE VE en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La ventilación en el AT de los sujetos fue de $84,33 \pm 11,05 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 63 y $104 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

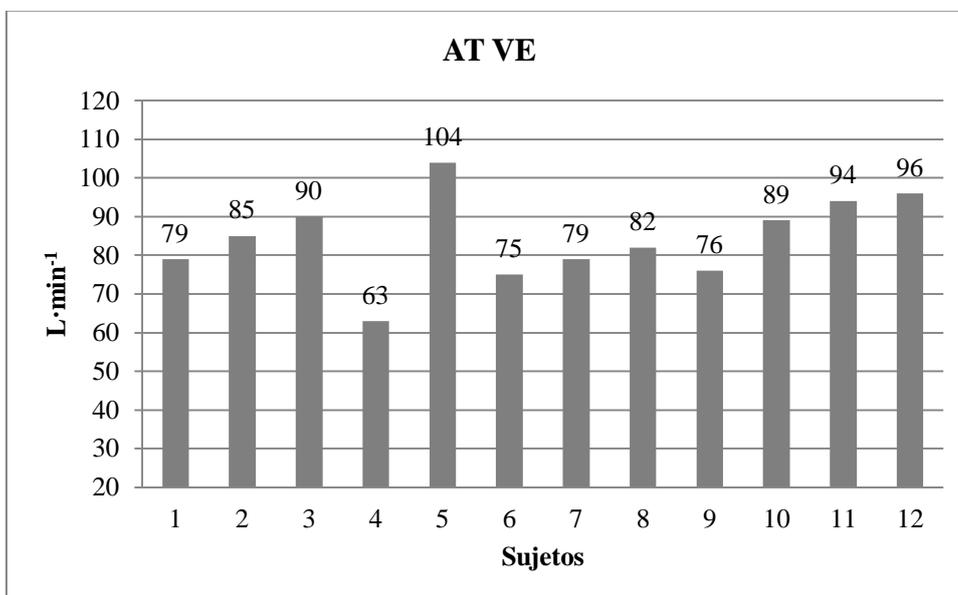


Fig. 4.7.4. Comportamiento del AT VE en cada uno de los sujetos, Test CA.

4 Resultados

- La frecuencia cardíaca en el AE de los sujetos fue $139 \pm 11,53$ ppm. Los sujetos oscilaron entre las 118 y 158 ppm.



Fig. 4.7.5. Comportamiento del AE HR en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La frecuencia cardíaca en el AT de los sujetos fue $173,58 \pm 8,54$ ppm. Los sujetos oscilaron entre las 157 y 184 ppm.

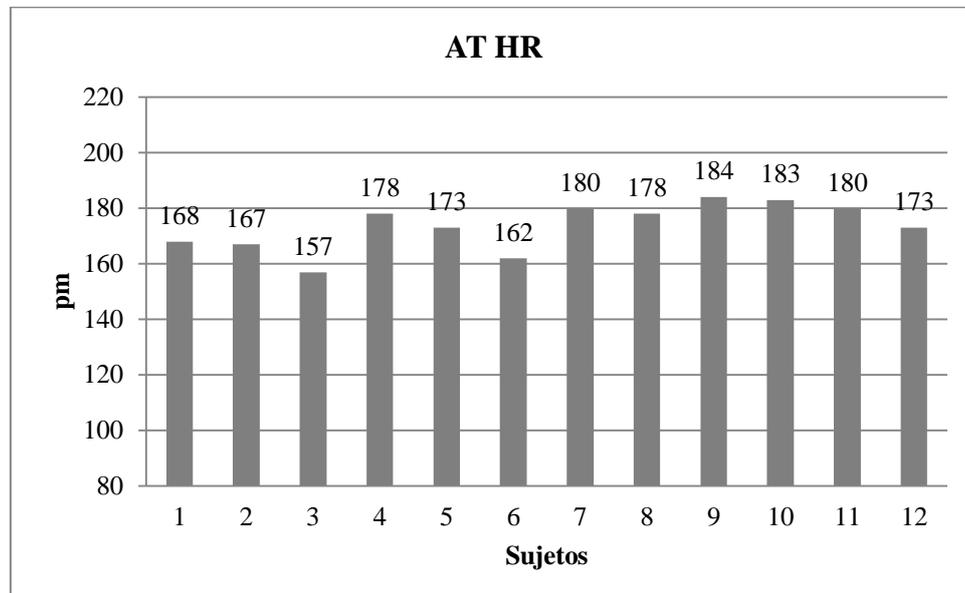


Fig. 4.7.6. Comportamiento del AT HR en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La Velocidad en el AE de los sujetos fue de $23,50 \pm 2,14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los 20 y los $26,50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

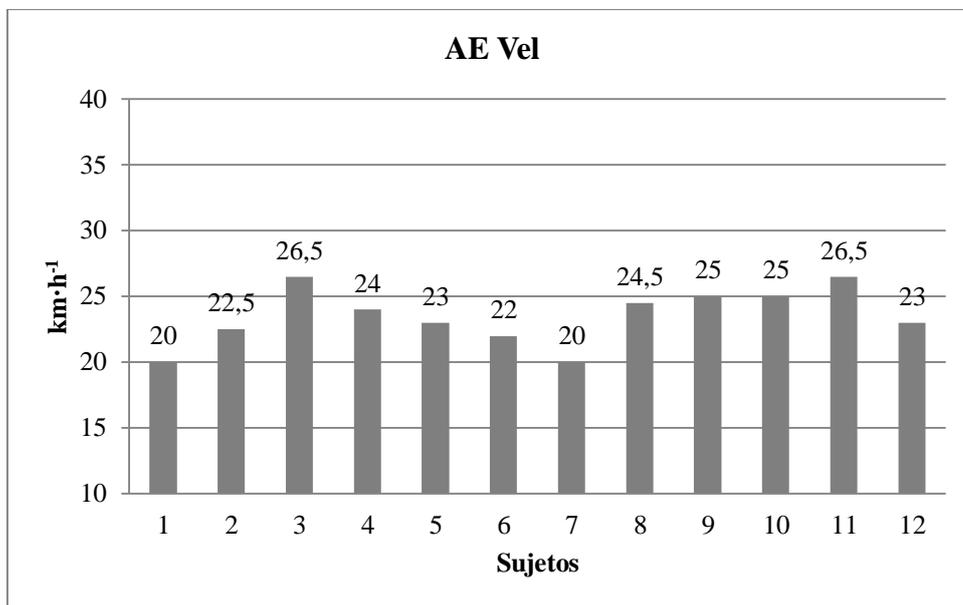


Fig. 4.7.7. Comportamiento de AE Vel en cada uno de los sujetos, Test CA.

- La Velocidad en el AT de los sujetos fue de $30,87 \pm 1,70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los $27,50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y los $33 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

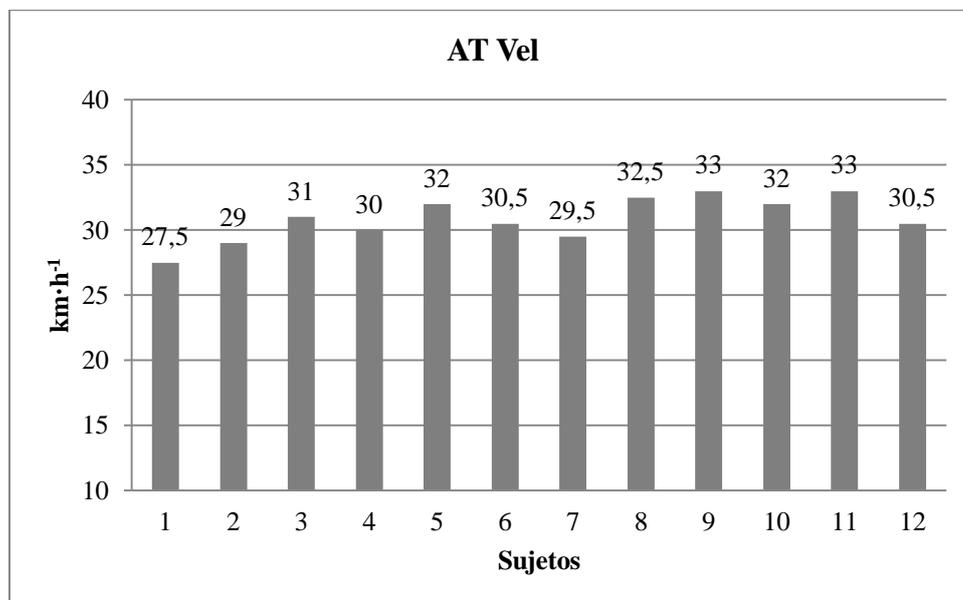


Fig. 4.7.8. Comportamiento de AT Vel en cada uno de los sujetos, Test CA.

4 Resultados

- El % de la VAM_{ps} en el AE de los sujetos fue $65,95 \pm 4,31$ %. Los sujetos oscilaron entre el 57,97 y el 71,62 %.

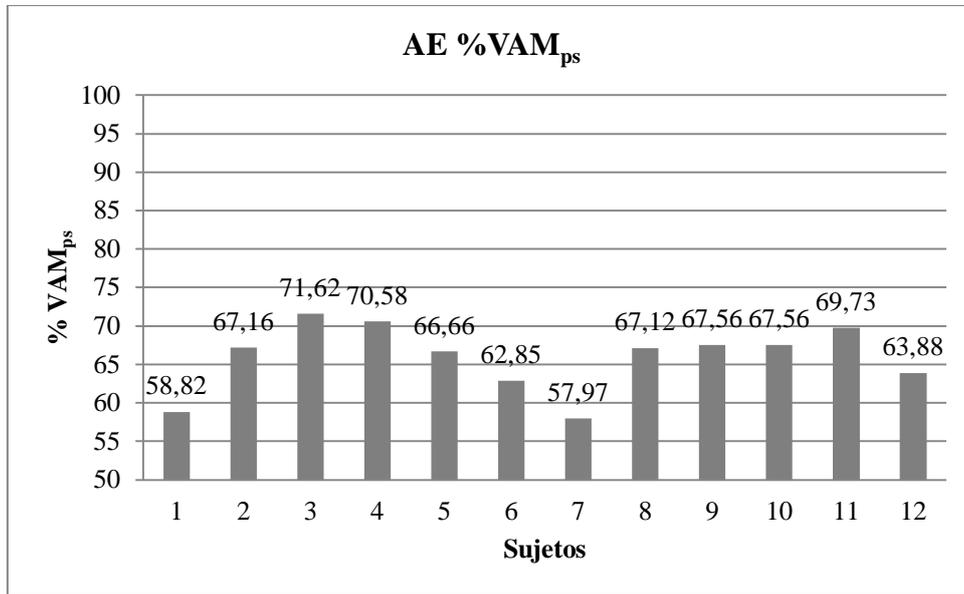


Fig. 4.7.9. Comportamiento de AE % VAM_{ps} en cada uno de los sujetos, Test CA.

- El % de la VAM_{ps} en el AT de los sujetos fue $86,75 \pm 2,99$ %. Los sujetos oscilaron entre el 80,88 y el 92,75 %.

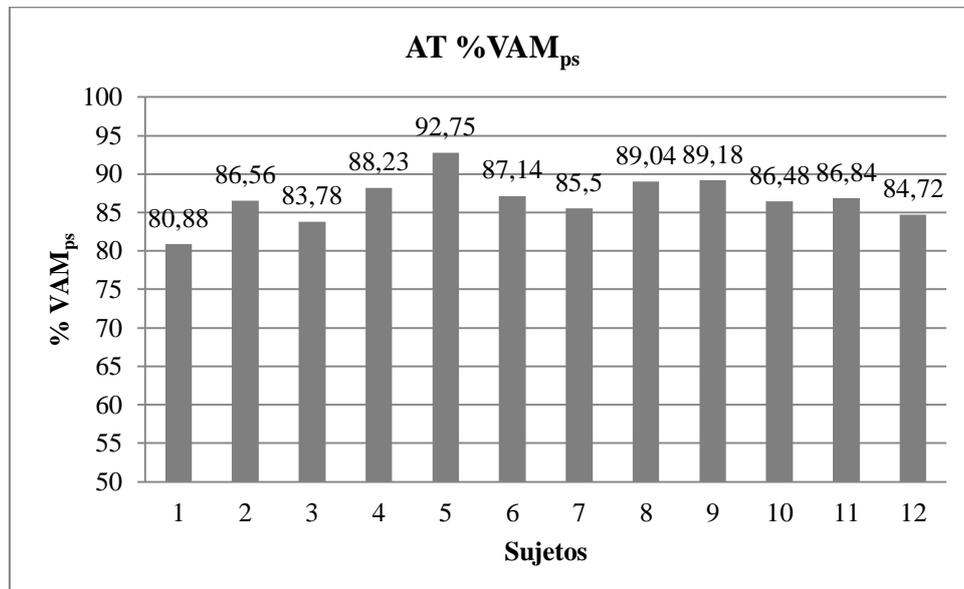


Fig. 4.7.10. Comportamiento de AT % VAM_{ps} en cada uno de los sujetos, Test CA.

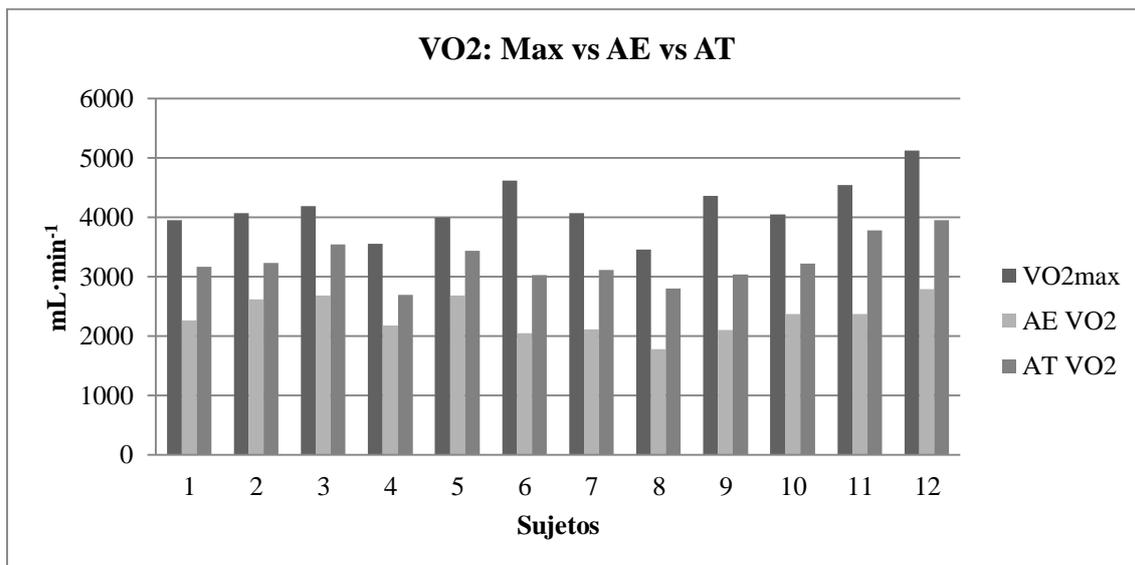


Fig. 4.7.11. Comparación VO_2 : Max vs AE vs AT en cada uno de los sujetos, Test CA.

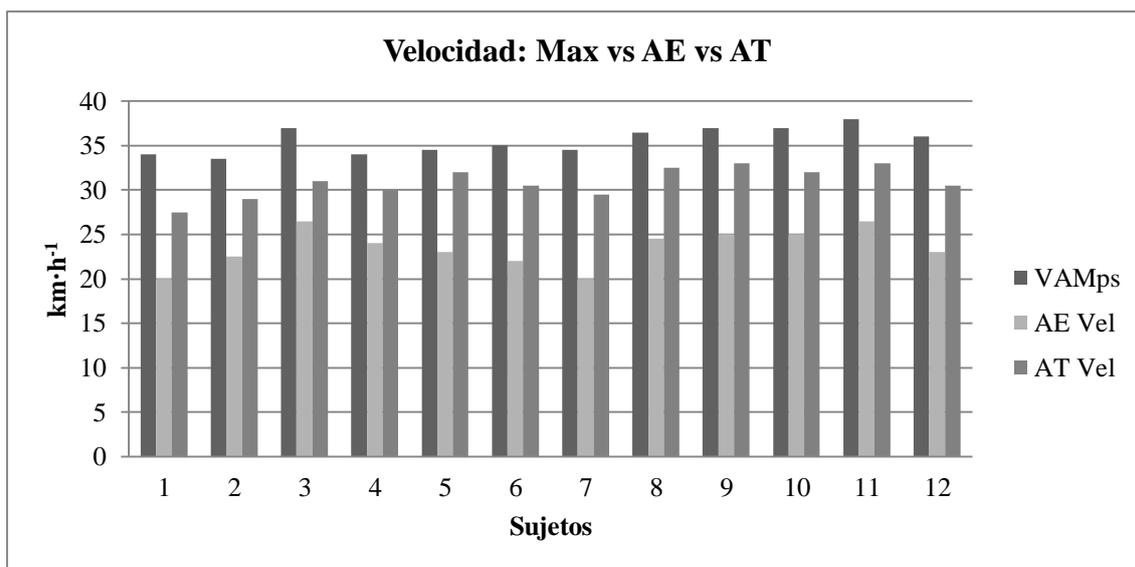


Fig. 4.7.12. Comparación Velocidad: VAM_{ps} vs AE vs AT en cada uno de los sujetos, Test CA.

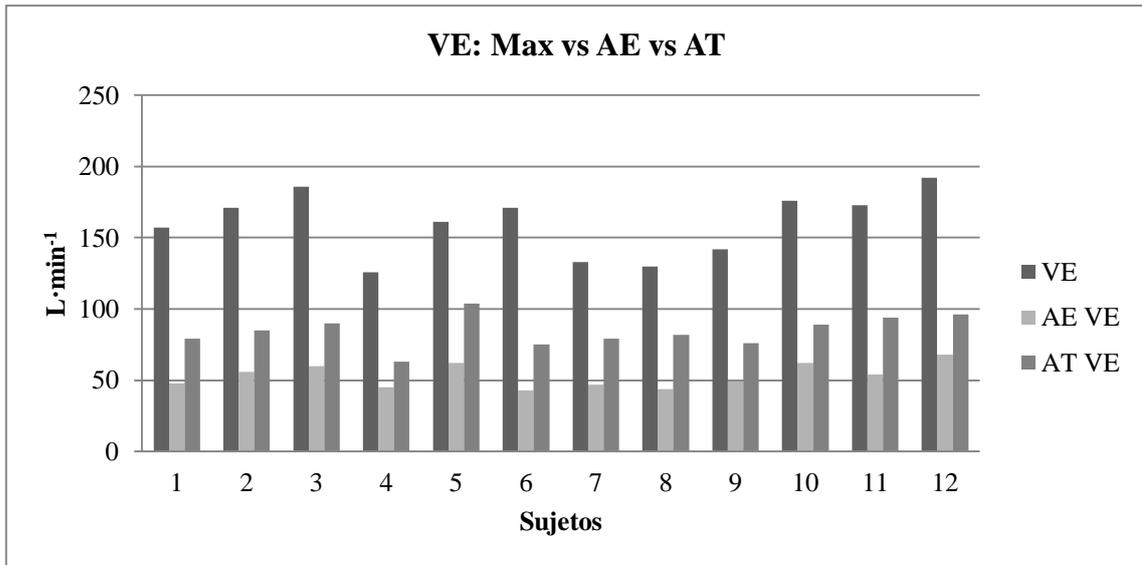


Fig. 4.7.13. Comparación Ventilación: Max vs AE vs AT en cada uno de los sujetos, Test CA.

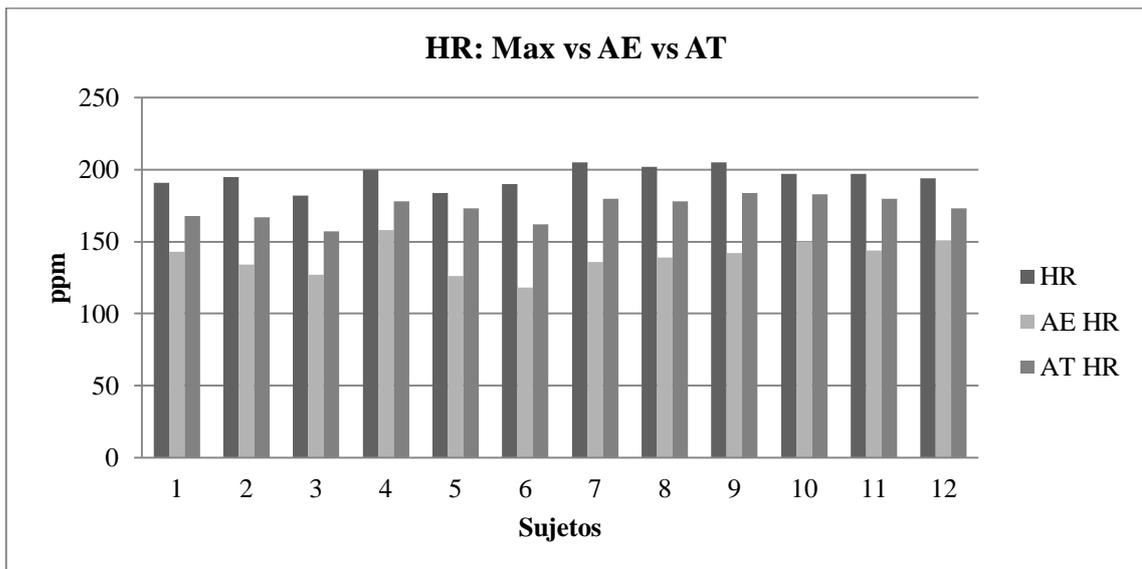


Fig. 4.7.14. Comparación HR: Max vs AE vs AT en cada uno de los sujetos, Test CA.

A continuación se detallan los resultados relativos a las correlaciones bivariadas:

Tab. 4.7.2. Correlaciones VAM_p / AE Vel.

		<i>AE Vel</i>
VAM_p	Correlación	0,801
	Significación	0,002*
	N	12
	95% CI	0,421 – 0,941

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.3. Correlaciones VAM_p / AT Vel.

		<i>AT Vel</i>
VAM_p	Correlación	0,823
	Significación	0,001*
	N	12
	95% CI	0,473 – 0,948

*Estadísticamente significativo

Tab. 4.7.4. Correlaciones VAM_{ps} / AE Vel.

		<i>AE Vel</i>
VAM_{ps}	Correlación	0,824
	Significación	0,001*
	N	12
	95% CI	0,475 – 0,949

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.5. Correlaciones VAM_{ps} / AT Vel.

		<i>AT Vel</i>
VAM_{ps}	Correlación	0,844
	Significación	0,001*
	N	12
	95% CI	0,524 – 0,955

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.6. Correlaciones AE Vel / AT Vel.

		<i>AT Vel</i>
<i>AE V</i>	Correlación	0,771
	Significación	0,003*
	N	12
	95% CI	0,354 – 0,932

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.7. Correlaciones HR Max / AE HR.

		<i>AE HR</i>
<i>HR Max</i>	Correlación	0,531
	Significación	0,076
	N	12

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.8. Correlaciones HR Max / AT HR.

		<i>AT HR</i>
<i>HR Max</i>	Correlación	0,792
	Significación	0,002*
	N	12
	95% CI	0,4 – 0,939

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.9. Correlaciones AE HR / AE HR.

		<i>AT HR</i>
<i>AE HR</i>	Correlación	0,632
	Significación	0,028*
	N	12
	95% CI	0,092 – 0,884

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.10. Correlaciones VE Max / AE VE.

		<i>AE VE</i>
<i>VE Max</i>	Correlación	0,752
	Significación	0,005*
	N	12
	95% CI	0,314 – 0,926

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.11. Correlaciones VE Max / AT VE.

		<i>AT VE</i>
<i>VE Max</i>	Correlación	0,645
	Significación	0,024*
	N	12
	95% CI	0,113 – 0,889

*Estadísticamente significativo.

Tab. 4.7.12. Correlaciones AE VE / AT VE.

		<i>AT VE</i>
<i>AE VE</i>	Correlación	0,809
	Significación	0,001*
	N	12
	95% CI	0,439 – 0,944

*Estadísticamente significativo.

5

Discusión

5.1. Determinación de los valores de las variables morfológicas en patinadores de alto nivel y análisis de su influencia con el rendimiento en patinadores de alto nivel.

La mayor parte de los estudios experimentales en el patinaje de velocidad se han desarrollado con patinadores de alto nivel de distintos equipos nacionales. La razón principal que puede responder a este criterio es que el dominio de una técnica y mecánica eficaz y eficiente es imprescindible para poder extraer el máximo rendimiento físico. Esto es algo que queda completamente evidenciado en el estudio de Leger, *et al.*, (1979), en el cual, corredores sin técnica de patinaje no alcanzaban su VO_{2max} en un test donde los patinadores si lo hacían.

La muestra seleccionada para el presente estudio está constituida por patinadores del Centro de Perfeccionamiento de Patinaje de Velocidad del Principado de Asturias. Esta situación permitía que la carga de entrenamiento realizada fuera más homogénea entre los sujetos y con niveles de competición similares en el período del estudio. Además, todos ellos se reunían un día a la semana para realizar entrenamientos conjuntos del Centro de Perfeccionamiento de Patinaje de Velocidad.

Todos los sujetos se encontraban en pretemporada en el momento de realización de los test. La razón que responde a esta temporalidad fue la sencillez para reunir y contar con la completa atención y empeño de los sujetos para realizar los 3 test (familiarización, con analizador y sin analizador), además de la cineantropometría, y otras dos sesiones de reunión y firma del consentimiento informado. Además, todo ello implicó contar en seis jornadas completas con el único patinódromo homologado en España, lo cual, en plena temporada de competición, habría sido imposible. Esto contrasta con numerosos estudios que valoran el VO_{2max} a final de la temporada.

Es importante señalar que este tipo de poblaciones solo habían sido valoradas en el patinaje de velocidad sobre ruedas en los estudios de Millet, *et al.*, (2003), Krieg, *et al.*, (2006), Lozano (2010) y Stangier, *et al.*, (2014).

En cuanto a las características morfológicas de la muestra:

La edad de los sujetos, $19,42 \pm 4,62$ años, no fue un factor determinante para la elección de la muestra. Así el estudio contó con patinadores desde los 16 a los 28 años de edad y no resultó una variable determinante del rendimiento o que condicionara el mismo. La inclusión de los patinadores más jóvenes queda justificada por su nivel de rendimiento, todos ellos habían sido medallistas en competiciones internacionales en categoría Junior. Además el patinaje de velocidad sobre ruedas es un deporte en el que los patinadores hasta el pasado año accedían a la máxima categoría (Senior o Elite) con 17 años.

Las edades de los estudios revisados experimentan un amplio rango que va desde los 16 años (Van Ingen Schenau, 1992), hasta los 33 años de media (de Boer, Vos, *et al.*, 1987; Millet, *et al.*, 2003; Stangier, *et al.*, 2014). Estos rangos tan amplios podrían deberse a que en el patinaje existen jóvenes talentos que pueden presentar rendimientos competitivos en el alto nivel con otros patinadores que puedan llevar 10 años en la máxima categoría, esta circunstancia puede ser debida al alto componente técnico que se presenta como claro factor de rendimiento en esta disciplina. En el presente trabajo no existe una relación entre la edad y el rendimiento (VAM_p), contrariamente a lo presentado en recientes trabajos en la literatura científica que correlacionan edad y rendimiento (tiempo empleado en finalizar la carrera de mayor distancia disputada en Europa, OneEleven 111km) ($r = 0.30$, $P = 0.0056$) (Knechtle, *et al.*, 2011; Teutsch, *et al.*, 2013).

La talla de los sujetos oscila entre los 154,5 y los 184 m. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los valores bajos se corresponden con los patinadores de menor edad y que muy probablemente no hayan terminado el proceso de crecimiento.

Muchos de los estudios realizados en el patinaje de velocidad se hicieron sobre patinadores holandeses, esta puede ser una de las razones que responda a que los valores sean más bajos en nuestro trabajo debido a que las poblaciones de los países nórdicos poseen, en general, una mayor talla (Cavelaars, *et al.*, 2000); por otra parte, los países latinoamericanos y/o asiáticos presentan tallas más bajas en sus estudios (Nemoto, *et al.*, 1988; Lozano, 2009; 2010).

El peso de los sujetos ($69,53 \pm 8,79$ kg de valor medio) manifestó unos rangos de dispersión bastante elevados debido a la dependencia de la altura, los

sujetos oscilaron entre los 55 y los 82,6 kg de peso. Estos valores permiten situar nuestro trabajo en los rangos existentes en la literatura científica con valores que van desde los 62,03 kg (Lozano, 2010) a los 73,9 kg (Maksud, *et al.*, 1970).

Podemos considerar bajos los valores de peso del presente estudio respecto a los valores medios encontrados en otros estudios, lo que no es carente de sentido si apuntamos hacia los valores encontrados en la talla de los sujetos. Los estudios sobre muestras de patinadores holandeses, y de muchos equipos olímpicos, contaron con muestras de mayor peso corporal debido a su mayor altura y en muchos casos por la distancia más corta de las pruebas que disputaban en el patinaje sobre hielo, (500 m - 1500 m). Hay que tener en cuenta que la época de realización del presente estudio fue la pretemporada, mientras que la mayoría de los estudios revisados fueron realizados durante la temporada de competición o bien hacia el final de misma. A raíz de los resultados revisados en la literatura científica se puede observar una tendencia a disminuir el peso conforme avanza la temporada de competición.

Los valores medios de porcentaje de grasa corporal (%P_c), $12,90 \pm 1,55$ % (P_c), resultaron ser elevados respecto a los de otros estudios (Lozano, 2010). Probablemente el hecho de que todos los patinadores se encontraran en la pretemporada motivó que sus pesos y sus % de grasa corporal estuvieran por encima de los valores de competición. Los sujetos oscilaron entre el 11,1 y el 15,6 %, lo cual no representó una gran dispersión si tenemos en cuenta los rangos encontrados en otros estudios.

La revisión de los valores de porcentaje de grasa corporal deberían ser estudiados con cautela, debido a que muchos de los estudios no especifican la metodología utilizada en su valoración, y se sabe que pueden existir diferencias de hasta un 1,5 % en función del método de evaluación cineantropométrica seleccionado.

El porcentaje de grasa corporal encontrado en otros estudios con patinadores de velocidad fue en general inferior debido probablemente a que estos trabajos se realizaron durante la temporada de competición o justo a la finalización de la misma. Encontramos estudios con valores que van del 6,9 % (Rundell, *et al.*, 1997) al 15,5 % (De Boer, Ettema, *et al.*, 1987). Esta amplitud en los rangos podría deberse a múltiples factores como el momento de la temporada dónde se realizó la medición y

la metodología y la precisión de los materiales empleados para la misma. Por otra parte los valores más bajos pertenecen a los trabajos realizados con patinadores del equipo olímpico americano por lo que seguían la misma disciplina de entrenamiento, además de que fueron realizados en plena temporada.

Para finalizar con los estudios que evaluaron a patinadores de ruedas y midieron este parámetro, el nuestro fue el que obtuvo el valor más elevado: 8,8 % (De Boer, Vos, *et al.*, 1987) y 10,23 % (Lozano, 2010).

Por otra parte en trabajos recientes con patinadores de diversos niveles de competición todos ellos participantes y finalistas en la carrera más larga disputada en Europa (OneEleven, 111km) se encontró una estrecha correlación entre el porcentaje de grasa corporal y el tiempo empleado en finalizar la distancia de la carrera ($r = 0,45$; $P = 0,0001$) (Knechtle, *et al.*, 2011; Teutsch, *et al.*, 2013).

El porcentaje de masa muscular de los sujetos fue $46,68 \pm 1,68$ %. Los sujetos oscilaron entre el 44,8 y el 49,5 % pudiendo esperar cifras mayores en plena temporada de competición, cuando los pesos están más ajustados y ha existido un cambio en la composición corporal resultante del entrenamiento. Por otra parte el rango en las cifras indica una heterogeneidad en la muestra a nivel antropométrico y, en definitiva, para todos los datos morfológicos, sin encontrarse correlaciones entre ellas y el rendimiento de los sujetos en las pruebas.

El único estudio sobre patinadores con el que podemos contrastar la cifra de porcentaje de masa muscular es el trabajo de Lozano (2010) con 48,26 %. Este trabajo se realizó en el período especial, el mismo mes en el que los patinadores de la muestra comenzaban a competir.

Los valores de porcentaje de masa muscular fueron ligeramente inferiores que los encontrados en otros deportistas de disciplinas cíclicas y de resistencia (Bennell, *et al.*, 1997).

5.2. Determinación de los valores de las principales variables funcionales: VO_{2max} (absoluto y relativo), Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).

A continuación se realizará la discusión referente a los los valores registrados en las principales variables funcionales. No obstante, la discusión relativa a los valores de los Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT) se realiza más adelante en el apartado 5.7.

➤ Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}):

El VO_{2max} absoluto y relativo conforman dos de los resultados más importantes para este estudio porque teniendo en cuenta la definición de VAM de Billat, *et al.* (1994a), para obtener la VAM tenemos que determinar el VO_{2max} y conocer el momento exacto y la velocidad a la que se obtiene su valor máximo.

Aunque numerosos investigadores han apuntado la idea de que valorar el VO_2 en tapiz rodante o en cicloergómetro daría lugar a valores más elevados que hacerlo patinando en campo, los resultados en estas investigaciones no son concluyentes.

Así, por ejemplo, hay investigaciones que han medido el VO_{2max} patinando obteniendo valores superiores que mediante la carrera, 62,1 vs 61,4 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Lèger, *et al.*, 1979); 54,7 vs 53,4 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Nobes, *et al.*, 2003); el pedaleo 67,85 vs 64,43 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Lozano, 2010); por otra parte, estudios dónde el VO_2 es superior corriendo que patinando 43,8 vs 41,4 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Maksud, *et al.*, 1970); 64,3 vs 62,3 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Rundell, 1996); 66,8 vs 66,4 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Stangier, 2014); y estudios donde pedaleando el VO_{2max} es superior que patinando 64,4 vs 59,4 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ y 57,7 vs 53,3 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1983); 57,2 vs 53,9 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Kadow, *et al.*, 1987); 57,9 vs 53,98 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Rundell & Pripstein, 1995); 61,14 vs 60,85 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Foster, *et al.*, 1999). Parece claro, que aunque existen resultados que apuntan en todas direcciones, el pedaleo, en algunos casos, permite extraer resultados significativamente distintos desde un punto de vista estadístico. No obstante, se debe tener en consideración que los protocolos para extraer el VO_{2max} patinando no son habituales y no siempre se cumplen los criterios de maximalidad con la misma facilidad que para un esfuerzo en cicloergómetro.

En el presente estudio el VO_{2max} , en valor absoluto, fue de $4,17 \pm 0,4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ y estuvo comprendido en la media de los valores registrados por otros estudios realizados en campo patinando. A continuación se presentan y comentan, en orden cronológico, los resultados de VO_{2max} en valor absoluto de $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$, para las investigaciones realizadas con test de campo en patinadores:

- Estudios en el ámbito del hockey sobre hielo: 4,08 (Ferguson, *et al.*, 1969), $4,04 \pm 0,2$ // $4,26 \pm 0,1$ (Green, 1975), 4,52 (Lèger, *et al.*, 1979), y 4,56 (Nobes, *et al.*, 2003).
- Estudios en patinadores de velocidad con análisis de gases recogidos en balón de Douglas: 3,27 (Maksud, *et al.*, 1970), 4,4 // 3,8 (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1983), 4,52 (de Boer, Ettema, *et al.*, 1987), 3,72 // 3,93 (de Boer, Vos, *et al.*, 1987), y 3,85 (Kandou, *et al.*, 1987).
- Estudios con patinadores de velocidad, realizando el análisis de gases mediante ergoespirómetro en tapiz rodante específico: $4,04 \pm 0,53$ (Rundell, 1996), y $4,26 \pm 0,70$ (Foster, *et al.*, 1999).
- Estudios de campo con patinadores de velocidad, y análisis de gases mediante ergoespirómetro portable: $3,50 \pm 1,03$ // $3,48 \pm 0,96$ (Houdijk, Heijnsdijk *et al.*, 2000), $4,20 \pm 0,40$ // $4,03 \pm 0,33$ (de Koning *et al.*, 2000), 3,74 (Millet, *et al.*, 2003), $4,75 \pm 0,4$ (de Koning, *et al.*, 2005), $4,85 \pm 0,5$ (Krieg, *et al.*, 2006), 3,50 (Lozano, 2009), y 4,20 (Lozano, 2010).

Como se puede apreciar, no encontramos diferencias sustanciales de los resultados entre la utilización de unas metodologías y otras, resultando bastante heterogéneos los valores registrados por los diferentes métodos de valoración. Lo que sí parece claro es la idoneidad de poder evaluar con ergoespirómetros portátiles, los cuales nos permitan hacer más específicas las pruebas de valoración.

El VO_{2max} relativo de los sujetos de nuestro estudio fue de $60,23 \pm 7,62 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, valor que está comprendido en la media de los valores registrados por otros estudios de campo patinando. A continuación se presentan y comentan, en orden cronológico, los resultados de VO_{2max} en valor relativo de $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para las investigaciones realizadas con test de campo en patinadores:

- Estudios en patinadores de velocidad, y análisis de gases recogidos en balón de Douglas: 41,4 (Maksud, *et al.*, 1970), 59,4 // 53,3 (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1983), $62,1 \pm 6,9$ (de Boer, Ettema, *et al.*, 1987), $50,5 \pm 8,0$ // $53,3 \pm 6,7$ (de Boer, Vos, *et al.*, 1987), y $53,9 \pm 4,2$ mL·kg⁻¹·min⁻¹ (Kandou, *et al.*, 1987).
- Estudios con patinadores de velocidad con análisis de gases mediante ergoespirómetro en tapiz rodante específico: $62,3 \pm 4,0$ (Rundell, 1996) y $60,8$ mL·kg⁻¹·min⁻¹ (Foster, *et al.*, 1999).
- Estudios de campo con patinadores de velocidad, y análisis de gases mediante ergoespirómetro portátil: 51,6 (Millet, *et al.*, 2003), 57,92 (de Koning, *et al.*, 2005), 67,4 (Krieg, *et al.*, 2006), 55,52 (Lozano, 2009), $67,85 \pm 1,70$ (Lozano, 2010) y $66,4 \pm 6,5$ mL·kg⁻¹·min⁻¹ (Stangier, *et al.*, 2014).

De los estudios revisados, 12 tuvieron resultados más bajos de los que hemos obtenido en nuestro estudio y 7 de ellos registraron valores superiores. En todos ellos se cumplieron los criterios de esfuerzo máximo de un test de potencia aeróbica máxima (Tab. 5.2.1.) propuestos por la British Association of Sport and Exercise Sciences (1997).

El rango de los sujetos del presente estudio osciló entre los 48,9 y los 70,8 mL·kg⁻¹·min⁻¹ en valor relativo, y entre 3463 y los 5128 mL·min⁻¹ en valor absoluto pudiendo destacar que los valores más bajos son similares a la media de otros estudios revisados lo que indica que algunos valores alcanzados por nuestros patinadores fueron de los más elevados.

De los trabajos de campo analizados los siguientes fueron realizados patinando sobre ruedas: $53,3 \pm 6,7$ (de Boer, Vos, *et al.*, 1987), 51,6 (Millet, *et al.*, 2003), 67,4 (Krieg, *et al.*, 2006), 55,52 (Lozano, 2009), $67,85 \pm 1,70$ mL·kg⁻¹·min⁻¹ (Lozano, 2010) y $66,4 \pm 6,5$ mL·kg⁻¹·min⁻¹ (Stangier, *et al.*, 2014)

Los valores de nuestra muestra se quedarían por encima de la media, sin embargo es destacable que los trabajos de Krieg, *et al.*, (2006), Lozano (2009; 2010), utilizaron metodologías interválicas en los test incrementales lo que podría resultar en una ligeras diferencias en los valores de VO_{2max} si las comparásemos con metodologías continuas aunque en ningún caso de significación estadística. En el

caso de los estudios de Lozano (2009; 2010), el autor expone que los sujetos se encontraban en plena temporada de competición y tras meses de entrenamiento específico acumulado para la misma; esta circunstancia podría contribuir a la obtención de valores más elevados.

En relación a estudios de investigación en otras disciplinas deportivas con parecidos grupos musculares implicados podemos generalizar que encontramos similares resultados para el consumo máximo de oxígeno relativo:

- Ciclistas de Mountain Bike aficionados: Valores inferiores respecto a nuestro trabajo ($46,8 - 59,6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Wilber, Zawadzki, Kearney, Shannon, & Disalvo, 1997; Baron, 2001).
- Ciclistas de Mountain Bike de nivel nacional: Valores similares al presente estudio ($52,0 - 72,2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Baron, 2001).
- Ciclistas de Mountain Bike de nivel internacional: Valores ligeramente superiores a los encontrados en nuestros patinadores ($62,0 - 82,6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Heller & Novotny, 1997; Stapelfeldt, Schwirth, Schumacher, & Hillebrecht, 2004).
- Ciclistas de carretera aficionados: Valores similares al presente trabajo ($54,0 - 70,6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Ricci & Leger, 1983; Marion & Leger, 1988; Moseley & Jeukendrup, 2001; Burnley, Doust, & Jones, 2005; Montfort-Steiger, Williams, & Armstrong, 2005).
- Ciclistas de carretera de nivel élite: Valores similares aunque ligeramente superiores al de los patinadores ($55,7 - 76,4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Padilla, Mujica, Cuesta, Polo, & Chatard, 1996; McDaniel, Durstine, Hand, & Martin, 2002; Nesi, Bosquet, & Pelayo, 2005).
- Ciclistas de carretera de nivel élite-profesional: Valores superiores a los registrados en nuestro trabajo ($65,5 - 84,8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Padilla, Mujika, Cuesta, & Goiriena, 1999; Fernández-García, Pérez-Landaluce, Rodríguez-Alonso, & Terrados, 2000; Lucia, Hoyos, Santalla, Earnest, & Chicharro, 2003; Lucia, San Juan, Montilla, Cañete, Santalla, Earnest, & Perez, 2004; Lucia, Gómez-Gallego, *et al.*, 2004; Coyle, 2005).

A continuación se presenta una tabla comparativa de los estudios que han realizado valoraciones de VO_{2max} en el campo deportivo con patinadores:

Tab. 5.2.1. Resumen de resultados de los estudios de campo con patinadores de velocidad.

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Muestra</i>	<i>Tipo Test</i>	VO_{2max} ($mL \cdot min^{-1}$) / ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	<i>HR</i> (ppm)	<i>VE</i> ($L \cdot min^{-1}$)	<i>RQ</i>
<i>Ferguson, et al.</i>	1969	17 Jugadores de Hockey	Campo Patinando Oval 140m	4,08 /54,7	193±7	139,7±19,2	--
<i>Maksud, et al.</i>	1970	1 Patinador Velocidad Sprinter	Laboratorio Treadmill Campo Oval 400m	--/43,8 --/41,4	196 189	125 126,8	--
<i>Green.</i>	1975	8 (2 grupos de 4) Jugadores de Hockey	Campo Patinando Oval 140m	4,04 ± 0,2/ 53,2±1,0 4,26 ± 0,1/ 52,4±1,4	190 ± 3,8 199 ± 7,5	123,6±5,9 131,7±5,5	-- --
<i>Lèger, et al.</i>	1979	2 Grupos 10Jugadores de Hockey	Campo Patinando Oval 140m Laboratorio Treadmill	--/62,1 Patinando --/61,4 Treadmill	-- --	-- --	-- --
<i>Van Ingen Schenau, et al.</i>	1983	5 Patinadores Elite 14 Patinadores Entrenados	Campo Oval 400m Laboratorio	4,4 / 59,4 Elite Campo	180 183	137,6 116,7	1,17 1,12
				3,8/53,3Entrenados Campo 4,8 /64,4 Elite Lab 4,2 / 57,7 Entrenados Lab	187 181	127,2 125,5	1,26 1,28
<i>de Boer, Ettema, et al.</i>	1987	14 Patinadores de Velocidad	Campo Oval 400m Laboratorio Tradmill	--/62,1 ± 6,9 --/60±5,8 --/48,4±5,5	185±9 193±9 183±10	128,3±13,8 117,3±13,8 91,9± 21,9	1,03±0,04 1,08±0,08 1,01±0,11
<i>de Boer, Vos, et al.</i>	1987	8 Patinadores de Velocidad	Campo Oval 400m Hielo Campo Oval 267m Ruedas	--/50,5 ± 8,0 --/53,3 ± 6,7	174±12,2 176±14,5	102,4±11,2 116,0±11,1	1,04± 0,1 1,16± 0,1
<i>Kandou, et al.</i>	1987	8 Patinadores de Velocidad	Campo Oval 400m Laboratorio Tabla Deslizante Laboratorio Cicloergómetro	--/53,9 ± 4,2 --/55,1 ± 5,5 --/57,2 ± 4,9	186±4 191±8 186±10	98,8± 7,3 110,0± 8,6 111,3±10,2	1,03±0,05 1,03±0,05 1,18±0,13
<i>Rundell.</i>	1996	8 Patinadores Equipo Olímpico Americano Short Track	Laboratorio Treadmill	4,22±0,55 / 64,3±1,6 4,04 ± 0,53 / 62,3±4,0 3,73± 0,52 / 57,2 ±2,7	202±8,5 200±7 197±10,8	133± 19,9 130± 28,2 126,2±16,3	1,05±0,03 1,07±0,05 1,07±0,06
<i>Foster, et al.</i>	1999	10 Patinadores Equipo Olímpico Americano Long Track	Laboratorio Treadmill	4,28±0,77/-- 4,26±0,70/-- 3,83±0,75/--	197±7 193±7 192±6	151± 57 143± 26 152± 33	-- -- --
<i>Houdijk Heijnsdijk, et al.</i>	2000	6 Patinadores Equipo Holandés	Campo Oval 400m	3,50±1,03/-- Convencional	175,2±6,7 172,5±6,8	-- --	1,18±0,10 1,27±0,11
<i>de Koning, et al.</i>	2000	2 Grupos de 12 Patinadores de Nivel Nacional	Campo Oval 400m	4,20±0,40/-- Convencional 4,03±0,33/-- Klap	185±11 189±8	-- --	-- --
<i>Millet, et al.</i>	2003	6 patinadores de Ruedas	Campo Oval 300m	--/34,8 ± 4,1 --/46,5 ± 5,4	-- --	-- --	-- --
<i>Nobes, et al.</i>	2003	15 Jugadores de Hockey	Treadmill Campo	--/53,4 ± 2,3 --/54,7 ± 3,6	193,3 ± 6,6 187,9 ± 5,8	-- --	-- --
<i>de Koning, et. al</i>	2005	6 Patinadores Equipo Nacional Holandés	Campo Oval 400m	4,75 ± 0,4 /--	--	--	--
<i>Krieg, et al.</i>	2006	8 patinadores de ruedas	Campo Oval 300m	4,85 ± 0,5 /--	190 ± 6	--	1,16 ± 0,06
<i>Lozano</i>	2009	30 Patinadores de ruedas	Oval 200 m	--/55,52 ± 1,20	194,86± 0,99	--	--
<i>Lozano</i>	2010	26 Patinadores de ruedas	Oval 200 m	--/67,85±1,70 --/64,43 ± 1,57 66,4 ± 6,5	193,40±1,53 193,80±1,94 190±9	147,60±4,43 153,65±4,88 --	1,15±0,01 1,14±0,01 --
<i>Stangier, et al.</i>	2014	8 patinadores de ruedas	--	--	--	--	--
<i>Presente Estudio</i>	2013	12 Patinadores de ruedas	Oval 200 m Homologado	4,16 ± 0,45 / 60,23±7,62	195,16 ± 7,46	159,83±22,33	1,14±0,05

➤ *La Frecuencia Cardíaca Máxima (HR):*

La frecuencia cardíaca máxima fue uno de los parámetros establecidos como un criterio de maximalidad del test para alcanzar el consumo máximo de oxígeno.

La frecuencia cardíaca de los sujetos fue de $195,16 \pm 7,46$ ppm. Los sujetos oscilaron entre 182 y 205 ppm. Este dato indica la maximalidad de la prueba; además, el hecho de que los sujetos alcancen su frecuencia cardíaca máxima durante el último minuto en la realización de test SA será el dato que garantice que la VAM_p registrada es correcta.

En las investigaciones con test de campo maximales patinando se encontraron las siguientes frecuencias cardíacas:

- Estudios en el ámbito del hockey sobre hielo: 193 ± 7 (Ferguson, *et al.*, 1969), $190 \pm 3,8$ // $199 \pm 7,5$ (Green, 1975), y $187,9 \pm 5,8$ (Nobes, *et al.*, 2003).
- Estudios en patinadores de velocidad, y análisis de gases recogidos en balón de Douglas: 189 (Maksud, *et al.*, 1970), 180 // 183 (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1983), 185 ± 9 (de Boer, Ettema, *et al.*, 1987), $174 \pm 12,2$ // $176 \pm 14,5$ (de Boer, Vos, *et al.*, 1987), y 186 ± 4 (Kandou, *et al.*, 1987). Todos estos valores fueron recogidos con pulsómetros.
- Estudios con patinadores de velocidad, y análisis de gases mediante ergoespirómetro en tapiz rodante específico: 200 ± 7 (Rundell, 1996), y 193 ± 7 (Foster *et al.*, 1999). La frecuencia cardíaca en estos estudios fuer registrada mediante pulsómetros.
- Estudios de campo con patinadores de velocidad, y análisis de gases mediante ergoespirómetro portable: $175,2 \pm 6,7$ // $172,5 \pm 6,8$ (Houdijk, Heijnsdijk, *et al.*, 2000), 190 ± 6 (Krieg, *et al.*, 2006), $194,86 \pm 0,99$ (Lozano, 2009), $193,40 \pm 1,53$ (Lozano, 2010) 190 ± 9 (Stangier, *et al.*, 2014).

Todos los estudios revisados superan los $180 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$ de frecuencia cardíaca máxima salvo: de Boer, Vos, *et al.*, (1987) con $174 \pm 12,2$ // $176 \pm 14,5$; Rundell, *et al.*, (1997) con 179; y Houdijk, Heijnsdijk, *et al.*, (2000), con $175,2 \pm 6,7$ // $172,5 \pm 6,8 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$.

Por otra parte, tan solo encontramos 2 estudios que alcanzasen valores más elevados que los nuestros en la frecuencia cardíaca máxima en test de campo: Green (1975), con $199 \pm 7,5$ y Rundell (1996), con 200 ± 7 lat·min⁻¹.

En nuestro estudio para el registro de la frecuencia cardíaca se utilizó un electrocardiógrafo de triple canal (integrado en el Analizador de gases) Einthoven, Wilson, Nehb, Goldberger (Carefusion, USA), en controversia a todos los estudios revisados en los que un ergoespirómetro portable fue utilizado, donde se emplearon pulsómetros para el registro de dicho parámetro. Todos los estudios que hicieron valoración en el campo deportivo, y mencionaron el material de medición, lo hicieron con pulsómetros aunque para determinar los datos de frecuencia cardíaca no suelen diferir mucho unos métodos respecto a otros.

➤ *La Ventilación Pulmonar (VE):*

La ventilación máxima fue otro de los parámetros establecidos como un criterio de maximalidad para alcanzar el consumo máximo de oxígeno en el test.

La ventilación máxima de los sujetos fue $159,83 \pm 22,33$ L·min⁻¹, oscilando entre 126 y 192 L·min⁻¹. Los valores de este parámetro confirman la maximalidad del test con analizador de gases portátil, debido a que en ningún estudio de campo con patinadores de ruedas o hielo se han encontrado valores más altos:

- Estudios en el ámbito del hockey sobre hielo: $131,7 \pm 5,5$ (Green, 1975), y $139,7 \pm 19,2$ (Ferguson, *et al.*, 1969).
- Estudios en patinadores de velocidad, y análisis de gases recogidos en balón de Douglas: 126,8 (Maksud, *et al.*, 1970), $123,6 \pm 5,9$ // $137,6$ // $116,7$ (Van Ingen Schenau *et al.*, 1983), $128,3 \pm 13,8$ (de Boer, Ettema, *et al.*, 1987), $102,4 \pm 11,2$ // $116,0 \pm 11,1$ (de Boer, Vos, *et al.*, 1987), y $98,8 \pm 7,3$ (Kandou, *et al.*, 1987).
- Estudios con patinadores de velocidad, y análisis de gases mediante ergoespirómetro en tapiz rodante específico: $130 \pm 28,2$ (Rundell, 1996), y 143 ± 26 (Foster, *et al.*, 1999).
- Estudios de campo con patinadores de velocidad, y análisis de gases mediante ergoespirómetro portátil: $147,60 \pm 4,43$ (Lozano, 2010).

Aunque es habitual la existencia de una correlación estadísticamente significativa en sentido positivo entre la altura y la ventilación en los test de esfuerzo maximales, los estudios que en sus muestras contaban con sujetos más altos no obtuvieron ventilaciones mayores. Es de destacar que dos de los sujetos en nuestro estudio obtuvieron valores muy altos que elevaron la media, aunque no podemos establecerlo como razón única y suficiente.

➤ *El Cociente Respiratorio (RQ):*

El cociente respiratorio fue también uno de los parámetros establecidos como un criterio de maximalidad del test para alcanzar el consumo máximo de oxígeno. Este valor resulta del cociente del valor de VCO_2 y VO_2 . Los valores superiores a 1,05 durante los test incrementales indican la maximalidad de los mismos.

El cociente respiratorio de los sujetos fue $1,14 \pm 0,05$. Los sujetos oscilaron entre 1,05 y 1,23. Los valores son muy acordes a los encontrados en los estudios con test de campo : $1,17 // 1,12$ (Van Ingen Schenau, *et al.*, 1983), $1,03 \pm 0,04$ (de Boer, Ettema, *et al.*, 1987), $1,04 \pm 0,1 // 1,16 \pm 0,1$ (de Boer, Vos, *et al.*, 1987), $1,03 \pm 0,05$ (Kandou, *et al.*, 1987), $1,07 \pm 0,05$ (Rundell, 1996), $1,18 \pm 0,10 // 1,27 \pm 0,11$ (Houdijk, Heijnsdijk, *et al.*, 2000), $1,16 \pm 0,06$ (Krieg, *et al.*, 2006), y $1,15 \pm 0,01$ (Lozano, 2010).

Los trabajos que se realizaron con patinadores sobre ruedas presentaron valores muy similares a los del presente estudio: $1,16 \pm 0,1$ (de Boer, Vos, *et al.*, 1987), $1,16 \pm 0,06$ (Krieg, *et al.*, 2006), y $1,15 \pm 0,01$ (Lozano, 2010).

➤ *El Ácido Láctico:*

El valor máximo de ácido láctico de los sujetos fue de $12,91 \pm 2,93 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre 9,1 y $17,8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. La variabilidad biológica podría justificar el rango encontrado en estos valores, pero también contribuyó que los patinadores especialistas en distancias metabólicamente más anaeróbicas obtuvieran valores más elevados, y que los patinadores más entrenados en distancias aeróbicas, o pruebas como la eliminación y la puntuación (más intermitentes) alcanzaran valores más bajos, debido a un mejor amortiguamiento del ácido láctico.

No existen muchos estudios que reporten los valores de ácido láctico después de un test máximo de campo en patinadores: $10,4 \pm 1,78$ (Rundell, 1996), $10,9 \pm 1,8$ (Foster, *et al.*, 1999), $11,99 \pm 4,3$ // $13,73 \pm 4,7$ (Houdijk, Heijnsdijk, *et al.*, 2000), $15,0 \pm 3,4$ // $15,8 \pm 1,4$ (de Koning, *et al.*, 2000), $10,0 \pm 1,5$ (Krieg, *et al.*, 2006) y $10,7 \pm 1,8$ mmol·L⁻¹ (Heckstenden, *et al.*, 2013).

Los valores del presente trabajo se encuentran en la media de los encontrados en otros trabajos, y muy acorde a los presentados en patinadores de ruedas por Krieg, *et al.*, (2006) y Heckstenden, *et al.*, (2013) con idénticos protocolos en ambos estudios; bien es cierto que, en este último, y más reciente trabajo, los test fueron desarrollados por patinadores de ambos sexos, sin diferenciar los resultados y además sin portar ningún tipo de equipo de análisis de gases durante la prueba. Los valores más altos registrados ($15,0 \pm 3,4$ // $15,8 \pm 1,4$) resultan de un test maximal de 1600 metros en dos grupos utilizando dos tipos de patín diferentes, para cada uno de los grupos. Por otra parte, la muestra de patinadores de hielo estaba entrenada en distancias metabólicamente más anaeróbicas (de Koning, *et al.*, 2000).

A continuación se presenta una tabla con los valores de ácido láctico de distintos estudios de campo y laboratorio con patinadores de velocidad al finalizar una prueba de valoración de VO_{2max}.

Tab. 5.2.2. Resumen de resultados de valoración de ácido láctico en pruebas de campo con patinadores de velocidad.

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Muestra</i>	<i>Tipo Test</i>	<i>Protocolo</i>	<i>Lactato</i>
<i>Saltin y Anstrand</i>	1967	3 Patinadores Velocidad	Laboratorio Treadmill	W 15km/h 4,5° Inclinación Δ 15°/3min	13,8
<i>Maksud, et al.</i>	1970	10 patinadores	Laboratorio Treadmill	7 miles/h Δ 2,5%/min	132mg/100ml
<i>Lèger, et al.</i>	1979	10 Jugadores de Hockey	Campo Oval 140m Laboratorio Treadmill	W de 3 min Vueltas 24/22/21/20/19 sec.	126,8 \pm 14,7 128,3 \pm 19,3
<i>Maksud, et al.</i>	1982	19 Candidatos Olímpicos	Laboratorio Treadmill	3miles/h Protocolo de Davis <i>et al.</i> 1976	70,9 \pm 21,4
<i>Rundell & Pripstein</i>	1995	8 Patinadores Equipo Olímpico Americano	Laboratorio Treadmill Cicloergómetro	Low Walk W 3,5miles/h 2,5% Δ 2,5%/3min W 78,5watt Δ 40 y 20 watt/min W118watt Δ 40 watt/min	15,6 \pm 4,0 13,4 \pm 3,6
<i>Rundell</i>	1996	8 Patinadores Equipo Olímpico Americano Short Track	Laboratorio Treadmill	Corriendo Patinando Patiando Bajo	10,6 \pm 0,82 10,4 \pm 1,78 11,0 \pm 2,0
<i>Rundell, et al.</i>	1997	8 Patinadores Equipo Olímpico Americano Short Track	Laboratorio Treadmill	Patinando 2,7m/s Patinando Bajo 2,7 m/s Patinando 3,1m/s Patinando Bajo 3,1 m/s	2,68 \pm 1,18 6,65 \pm 2,60 4,35 \pm 2,19 8,70 \pm 3,60
<i>Foster, et al.</i>	1999	10 Patinadores Equipo Olímpico Americano Long Track	Laboratorio Treadmill	Ciclismo Patinando Patinando Bajo	10,8 \pm 1,8 10,9 \pm 1,8 10,0 \pm 2,0
<i>Houdijk, Heijnsdijk, et al.</i>	2000	6 Patinadores Equipo Olímpico Holandés Long Track	Campo Oval 400m	Patiando 1600m Max Patiando 1600m Max Klap	11,99 \pm 4,3 13,73 \pm 4,7
<i>de Koning, et al.</i>	2000	2 Grupos de 12 Patinadores de Nivel Nacional	Campo Oval 400m	Patiando 1600m Max Grupo Convencional Patiando 1600m Max Grupo Klap	15,0 \pm 3,4 15,8 \pm 1,4
<i>Krieg, et al.</i>	2006	8 patinadores de Ruedas 25 años	Campo Oval 300m	Patiando W 24km/h Δ 3km/h /3min 1min Pausa	10,0 \pm 1,5
<i>Hecksten den, et al.</i>	2013	4 patinadoras y 12 patinadores de Ruedas	Campo Oval 300m	Patiando W 24km/h Δ 2km/h /3min 1min Pausa	10,7 \pm 1,8
<i>Presente Estudio</i>	2013	12 Patinadores de ruedas	Oval 200 m Homologado	Patinando W 15km	12,91 \pm 2,93

5.3. Descripción y análisis de los valores incrementales medios de VO_2 , VO_2 relativo, Frecuencia Cardíaca y Ventilación.

En el estudio de la evolución del VO_{2max} no se encuentra una dinámica estable en los incrementos de velocidad, sin embargo el VO_{2max} sigue un incremento lineal de principio a fin, sin encontrar una meseta al final del mismo en el estudio de las medias. Esta meseta sí se encuentra si estudiamos a los sujetos individualmente; en los dos últimos minutos la tendencia de incremento lineal se reduce de un modo apreciable.

Para el caso del VO_{2max} relativo, la meseta en el incremento lineal hacia los últimos estadios de la prueba es bastante más pronunciada que en el caso del VO_{2max} absoluto. En los dos últimos minutos del test, los incrementos fueron menores.

El comportamiento en la evolución de los incrementos para el VO_{2max} , tanto en valor absoluto como en valor relativo, presentó una primera parte incremental discontinua en los primeros estadios de la prueba, un comportamiento lineal en los estadios centrales, y un comportamiento de disminución de manera discontinua hacia los últimos estadios del test. Esta fase final se correspondería con la fase de la meseta final en la evolución de los valores de VO_{2max} y no de los incrementos.

La evolución de la frecuencia cardíaca presenta una tendencia de aumento lineal a lo largo de la prueba de determinación directa con una ligera meseta final hacia los últimos dos o tres estadios del test. Como vimos anteriormente con el VO_{2max} , esta meseta en la evolución de la frecuencia cardíaca se ve reflejada en el gráfico de evolución del incremento con una caída en los últimos estadios.

La ventilación pulmonar es, de los parámetros ergoespirométricos analizados, el que experimenta una mayor evolución incremental hasta los últimos estadios de la prueba. Naturalmente esto se tradujo en un incremento que se intensificó hacia la mitad del test y hasta la finalización del mismo manteniéndose el mismo grado de incremento en las últimas velocidades de la prueba.

5.4. Determinación de la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p), mediante una prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal.

Todos los sujetos del estudio alcanzaron el VO_{2max} en el último minuto del test, lo que refuerza el criterio seleccionado para determinar la VAM_p teniendo en consideración el concepto de VAM de Billat, *et al.*, (1994a; 1994b) (*velocidad mínima a la que se obtiene el VO_{2max}*). Así siguiendo la Tab. 11.1. y localizando el punto en el que los patinadores alcanzaron el agotamiento, se realizó un cálculo inmediato de la VAM_p .

La Velocidad Aeróbica Máxima Patinando VAM_p de los sujetos en el test de campo CA fue de $35,67 \pm 1,55 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los sujetos oscilaron entre los 33,34 y 38,34 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Es complicado contrastar estos resultados relativos a la VAM con los de otros estudios, puesto que no hemos hallado ninguno donde se realizase una determinación de la VAM patinando. Además también hay que tener en cuenta las diferencias en los protocolos de determinación, que aunque en algún estudio (Billat, *et al.*, 1996; Berthoin, *et al.*, 1996) se concluye que las diferencias en los protocolos no provocaban diferencias significativas en la VAM, cuando estos son muy diferentes las diferencias en la VAM pueden resultar significativas (Tuimil & Rodríguez, 2003). Los valores de velocidad que reportan otros estudios se refieren a la velocidad final alcanzada en la prueba de valoración aplicada y no a la velocidad aeróbica máxima, entendida como la velocidad mínima necesaria para alcanzar el VO_{2max} (Billat, *et al.*, 1994a). En el ciclismo, por otra parte, no se han encontrado estudios con profesionales que comparen distintos protocolos para valorar la VAM o la PAM, aunque los protocolos con escalones más largos tienden a dar valores de potencia aeróbica máxima más bajos (Padilla, *et al.*, 1999); mientras que los protocolos con escalones más cortos dan producciones de potencia aeróbica máxima mayores (Lucia, Hoyos, & Chicharro, 2000a; 2000b).

Los valores encontrados en este parámetro podemos contrastarlos con los encontrados en otros estudios científicos si bien hemos de ser cautos debido a la existencia de distintos protocolos para llegar a las mismas. Es más, ninguno de los autores que obtienen estas cifras, las definen como la velocidad aeróbica máxima ni mencionan este parámetro directamente. (Krieg, *et al.*, 2006; Lozano, 2009; 2010).

Los datos que aportan los estudios mencionados pueden entenderse más bien como la velocidad final alcanzada y no como velocidad aeróbica máxima.

En todo caso, teniendo en cuenta la relación positiva entre la VAM y la velocidad máxima alcanzada en cualquier prueba de evaluación de VO_{2max} para un mismo protocolo, podemos analizar y comparar nuestros resultados con los de otros estudios. En este sentido, los valores de Krieg, et al., (2006) son los más elevados que encontramos en la literatura científica ($36,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). La utilización de un protocolo interválico es una de las posibles razones pero, sin duda, el hecho de que los test se realizaran en un oval de asfalto de 300 metros con más recta que curva podría contribuir a la obtención de valores más elevados. También debemos señalar que los valores de VO_{2max} de los sujetos del mencionado trabajo fueron superiores a los del presente estudio, $67,1$ vs $60,23 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Este aspecto pondría de manifiesto una mayor eficiencia mecánica en los patinadores del presente estudio, lo que podría deberse a una mejor técnica patinando. Lozano (2009), realizó su test incremental interválico a un grupo de 30 patinadores con resultados inferiores a los del presente trabajo $34,31 \pm 0,31 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; más tarde, volvió a repetir el mismo protocolo sobre 15 patinadores que realizaron un entrenamiento específico de 10 semanas. Los resultados fueron $34,16 \pm 0,31$ y $34,96 \pm 0,41 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para el pre-test y el post-test respectivamente. Los valores de Lozano (2009; 2010), son sensiblemente inferiores a los de este estudio, sin encontrar posibles razones que apoyen estas diferencias en los resultados. En todos estos estudios se utilizó un analizador de gases portable lo cual implica una ligera modificación sobre la mecánica habitual de patinaje.

En nuestro trabajo también se introduce otro concepto, la Velocidad Aeróbica Máxima Patinando Estadio (VAM_{ps}), como una modificación del término original de VAM_p y para una aplicación más fácil por parte de los entrenadores. Se trata de un ajuste directo de la velocidad final otorgando $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a la VAM_p por cada $0,5$ min completados del estadio siguiente alcanzado en el test. De esta manera la determinación de la VAM_p se realiza de manera inmediata y sin necesidad de realizar ninguna operación matemática. El resultado en la VAM_{ps} resulta en una subestimación de la VAM_p . $35,50 \pm 1,62 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vs $35,67 \pm 1,55 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para el test CA y $36,45 \pm 1,63 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vs $36,73 \pm 1,64 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para el test SA; sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre estos dos valores para el test CA, $p =$

0,118 con una correlación de $r = 0,993$; $p = 0,000$; y hallándose diferencias para el test SA, $p = 0,000$ con una correlación muy elevada ($r = 0,997$; $p = 0,000$).

Esta determinación más inmediata de la VAM_{ps} con la única ayuda de un cronómetro y las tablas del test (Tab. 3.3.2.1. y Tab. 11.1.) es un facilitador a la hora de determinar la VAM en el campo deportivo de manera rápida sencilla y con poco material.

Tab. 5.4.1. Resumen de resultados de estudios de valoración de la VAM_p y/o Velocidades en el VO_{2max} .

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Protocolo del Test</i>	<i>Analizador de Gases</i>	<i>VAM_p o Vel Max en el test $km \cdot h^{-1}$</i>
<i>Krieg, et al.</i>	2006	24 $km \cdot h^{-1}$ Δ 3 $km/h \cdot 3min^{-1}$ 1min Pausa	Sí	36,1 \pm 1,0
<i>Lozano</i>	2009	24 $km \cdot h^{-1}$ Δ 0,8 $km \cdot h^{-1} \cdot 800m$ 45sec Pausa	Sí	34,31 \pm 0,31
<i>Lozano</i>	2010	24 $km \cdot h^{-1}$ Δ 0,8 $km \cdot h^{-1} \cdot 800m$ 45sec Pausa	Sí	34,16 \pm 0,31 34,96 \pm 0,41
<i>Hecksteden, et al.</i>	2013	24 $km \cdot h^{-1}$ Δ 2 $km/h \cdot 3min^{-1}$ 1min Pausa	No	33,9 \pm 2,4
<i>Presente estudio</i>	2013	15 $km \cdot h^{-1}$ Δ 1 $km/h \cdot 1min^{-1}$ Sin Pausa	Sí	35,50 \pm 1,62 35,67 \pm 1,55
<i>Presente estudio</i>	2013	15 $km \cdot h^{-1}$ Δ 1 $km/h \cdot 1min^{-1}$ Sin Pausa	No	36,45 \pm 1,63 36,73 \pm 1,64

5.5. Comprobación de que la misma prueba de campo, incremental, continua, escalonada y maximal, realizada sin analizador de gases provoca diferencias respecto a la velocidad final alcanzada.

Los valores de la VAM_p y VAM_{ps} fueron más elevados en el test sin analizador de gases, respecto a los registrados en el test con analizador, debido en gran parte a la mejora de la aerodinámica y la adopción de una posición más eficaz y eficiente por parte de los sujetos; por otra lado, portar un peso de 950 g durante el test se asocia a la obtención de peores resultados, en contraposición con otros estudios realizados en tenistas donde no se observaron efectos negativos (Baiget, *et al.*, 2006). Del mismo modo, un aumento en los ángulos de la articulación de la rodilla y de la articulación de la cadera aumentan la resistencia al aire reduciendo el resultado de la potencia de empuje; es decir la cantidad de metros deslizados en cada empuje y por tanto la velocidad para un mismo esfuerzo (di Prampero, 1976; Van Ingen Schenau, 1982; 1987).

La Velocidad Aeróbica Máxima Patinando, VAM_p , en el test SA fue de $36,73 \pm 1,64 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. El rango de los sujetos también aumentó en $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, 34,30 y $39,37 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Naturalmente estas diferencias entre el test CA y el test SA fueron estadísticamente significativas, ($p = 0,000$). Por el contrario, las variables fisiológicas no presentaron diferencias estadísticamente significativas para ambos test en: la frecuencia cardíaca máxima alcanzada ($p = 0,509$), ni en el lactato máximo ($p = 0,257$). Naturalmente y de manera previsible los resultados de ambos test correlacionaron de forma positiva ($r = 0,965$; $p = 0,000$).

La existencia de un minuto de diferencia en el tiempo total de ambos test ($21,52 \pm 1,67$ vs $22,54 \pm 1,86 \text{ min}$) y, por tanto, una diferencia en las velocidades de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($35,67 \pm 1,55$ vs $36,73 \pm 1,64 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) no deja de evidenciar la importancia de una buena posición de base del tronco y del centro de masas para el desarrollo de técnica de deslizamiento. Las diferencias entre las medias fueron estadísticamente significativas para el tiempo ($p = 0,002$), la VAM_p ($p = 0,000$), y la VAM_{ps} ($p = 0,000$). Estos tres parámetros correlacionaron de manera positiva para ambos test ($r = 0,879$, $p = 0,000$; $r = 0,965$ $p = 0,000$; y $r = 0,956$, $p = 0,000$, respectivamente); así, aquellos patinadores que alcanzaron valores más altos en el test CA también alcanzaron los valores más elevados en el test SA. Estos aspectos podrían pronosticar

una buena reproductibilidad y fiabilidad del test. Sin embargo, para los valores fisiológicos medidos en ambos test, no existieron diferencias significativas en ningún caso: HR ($p = 0,509$), Lactato 1 ($p = 0,182$), Lactato 3 ($p = 0,321$), Lactato 5 ($p = 0,243$), Lactato 7 ($p = 0,423$), y Lactato Max ($p = 0,257$), pudiéndose considerar máximos ambos test, desde un punto de vista fisiológico. Además, se encontraron dos correlaciones positivas y estadísticamente significativas para la frecuencia cardíaca ($r = 0,800$; $p = 0,002$) y para el lactato en el minuto 7 ($r = 0,683$; $p = 0,014$), lo que indica la posible “validez del test”, y evidencia que la recuperación del esfuerzo ha sido similar (aspectos positivos para su posible reproductibilidad).

Los datos de velocidad de nuestro estudio en el test SA se pueden contrastar con los que obtiene Hecksteden, *et al.*, (2013) puesto que, mediante un test incremental interválico y sin analizador de gases obtienen $33,9 \pm 2,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Más allá de las diferencias existentes entre los protocolos de ambos estudios, también podemos destacar que los resultados del estudio de Hecksteden, *et al.*, (2013) se refiere a una población de 4 patinadoras y 12 patinadores sin hacer distinción de sexos, lo cual empeoraría los resultados.

Como consecuencia del analizador de gases portátil que transportaban los sujetos para el test CA, estos pudieron realizar modificaciones en su posición, de manera involuntaria, para resituar su centro de masas en el lugar adecuado. El aumento en los ángulos de la articulación de la rodilla y de la articulación cadera aumentan la resistencia al aire reduciendo el resultado de la potencia de empuje (di Prampero, 1976, Van Ingen Schenau, 1982; 1987; Noordhof, *et al.*, 2013; 2014). Es decir, ante esfuerzos fisiológicos idénticos la respuesta mecánica fue superior en el test SA debido a la menor resistencia del aire y la mejor eficiencia mecánica resultado de no transportar el ergospirómetro portátil en dicho test.

En una de las carreras del calendario internacional más populares y cercanas a la toma de datos del estudio (Trofeo Internacional Tres Pistas 2013, Francia) los patinadores de categoría élite obtuvieron las siguientes velocidades medias en la prueba de 5000 m disputada en un patinódromo homologado de 200 m:

- Vuelta 1 a 9, media = 36,437 km/h.
- Vuelta 10 a 15, media = 35,59 km/h.
- Vuelta 16 a 20, media = 36,735 km/h.
- Vuelta 21 a 25, media = 40,494 km/h.
- Vuelta 25, 42,353 km/h.

Estas velocidades son medidas con cronómetro vuelta a vuelta y realizando la media para neutralizar el error. La carrera fue disputada por numerosos campeones del mundo lo que garantiza el nivel de la misma. La duración de la prueba fueron 8 min, resultando una carrera lenta. El efecto del *drafting* permite obtener velocidades mayores con el mismo esfuerzo (di Prampero, 1976; Van Ingen Schenau, 1982; 1987) y, por tanto, velocidades superiores a la VAM_p obtenida por nuestros patinadores en el test sin analizador; así como el mantenimiento de la VAM_p por más tiempo. Las velocidades se incrementan hacia el final de la prueba, algo característico en las carreras en pista en el patinaje de velocidad. Estas mismas distancias en un circuito se efectuarían a velocidades superiores, del mismo modo que la VAM_p evaluada en un circuito con más longitud de recta resultaría mayor.

5.6. Valoración del nivel de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y el Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}).

La velocidad aeróbica máxima patinando (VAM_p) es un parámetro que obtuvo un nivel de correlación muy bajo con el VO_{2max} ($r = 0,271$; $p = 0,395$). La falta de estudios en el ámbito del patinaje de velocidad que buscaran algún tipo de relación lineal entre estos parámetros nos impide discutir hasta qué punto hubiera sido posible encontrar algún tipo de relación con otros protocolos o muestras.

No obstante, en la carrera atlética, y tanto en sedentarios como en entrenados, Lèger & Boucher (1980) obtuvo fuertes correlaciones ($r = 0,87$) entre la velocidad de carrera y el VO_{2max} para su protocolo de carrera en pista (UMTT). Lèger & Lambert encontrarían una fuerte relación ($r = 0,84$) para el protocolo de carrera de ida y vuelta de 20 m. En esa misma línea y en estudios más recientes (Bangsbo & Lindquist, 2008) se obtuvieron correlaciones estadísticamente significativas para dos protocolos de carrera incremental progresiva y con recuperación intermitente (YoYo IR1 $r = 0,70$ y YoYo IR2 $r = 0,58$). Lacour, *et al.*, (1989), en una muestra de corredores especialistas en mediofondo encontraron una correlación de $r = 0,57$ entre la velocidad aeróbica máxima de carrera y el VO_{2max} .

Volviendo al patinaje, y visto lo revisado hasta ahora, podríamos decir que la VAM_p depende principalmente de dos factores: El VO_{2max} y la técnica de patinaje. No obstante la falta de asociación entre VAM_p y VO_{2max} obtenida en el presente estudio ofrece suficientes dudas acerca de la influencia del VO_{2max} en la VAM_p de los patinadores de alto nivel. A esta conclusión también llegaron Lacour, *et al.*, (1989) después de comprobar un escaso nivel de correlación entre estos dos parámetros con una muestra de corredores especialistas en media distancia.

A lo largo de este estudio hemos revisado los valores fisiológicos obtenidos en la prueba incremental progresiva para la obtención del VO_{2max} , pudiendo comprobar que aquellos patinadores que alcanzaron las velocidades más altas no obtuvieron necesariamente los valores más altos de potencia aeróbica máxima, porque la mecánica ofrece una ventaja o una desventaja muy clara en los niveles de eficacia y eficiencia a la hora de aplicar una fuerza y obtener un momento efecto. En este sentido, el trabajo de Lèger, *et al.*, (1979) arroja más luz sobre este aspecto creando un protocolo específico en campo para jugadores de hockey, es decir, una

prueba incremental progresiva sobre un ovalo de 140 m. Este protocolo se utilizó con jugadores de hockey y corredores realizando también un test máximo de laboratorio en tapiz rodante. Los resultados evidenciaron que una técnica correcta, frente a una menos eficaz, con un mismo VO_{2max} , permite alcanzar VAM_p más altas. En el mismo sentido, los trabajos que se realizaron para comparar los sistemas de patines Klap con los patines convencionales permitieron que los mismos sujetos, desarrollando dos test máximos y alcanzando un mismo VO_{2max} , recorrieran la distancia total en menos tiempo. Estos resultados resaltan la mejor eficacia del patín permitiendo un mejor posicionamiento del patinador sobre todo en la fase de empuje (de Koning, *et al.*, 2000; Houdijk, de Koning, *et al.*, 2000).

Los últimos trabajos presentados por Noordhof, *et al.*, (2013; 2014) descacan la importancia de la técnica independientemente del rendimiento fisiológico. Los cambios producidos en las velocidades de desplazamiento a lo largo de las pruebas superiores a los 1000m en el patinaje de velocidad sobre hielo son provocados por empeoramientos en los ángulos de empuje y pre-empuje de los patinadores a lo largo de la evolución de dichas carreras. Aquellos patinadores que mantienen los valores correctos y más cerrados en estos ángulos durante estas fases de la técnica mantienen sus velocidades mejor en los niveles deseados a lo largo de la prueba. Se ha demostrado que los patinadores mejor capacitados fisiológicamente son más lentos que otros que presentan mejores ángulos y mantenimiento de los mismos en las fases de empuje y pre-empuje de la técnica (Noordhof, *et al.*, 2013; 2014; Orié, *et al.*, 2014). Estos estudios permiten apoyar la ausencia de correlación entre el VO_{2max} y la VAM_p en este estudio.

En la carrera atlética, la economía del gesto cobra especial relevancia y será un factor influyente en la VAM ; del mismo modo, en el patinaje de velocidad, la técnica podría ser todavía un factor más determinante de la velocidad aeróbica máxima. El desarrollo de un movimiento completamente *estereotipado* que implica este deporte se verá fuertemente afectado por numerosos factores ya vistos en el apartado 1.2. y, por lo tanto, un VO_{2max} elevado, no será condición suficiente sin una técnica eficaz y eficiente, aunque sí será condición necesaria para el rendimiento en el patinaje de velocidad.

No puede plantearse una estimación del VO_{2max} a partir de la VAM_p , al menos en patinadores muy entrenados o de alto nivel deportivo, al no haberse encontrado correlación estadísticamente significativa entre ambos parámetros.

En la carrera atlética se han conseguido establecer fórmulas semejantes a lo que aquí se planteaba (Lèger & Boucher, 1980; Bangsbo & Lindquist, 2008), sin embargo, el factor de la técnica y la eficiencia mecánica de los sujetos tiene una incidencia más importante en el patinaje de velocidad, al tratarse de un movimiento más complejo. Así, dos patinadores con el mismo VO_{2max} podrían presentar valores diferentes en la VAM_p por influencia de la técnica. Es importante señalar que la validación de la prueba de carrera en pista de la Universidad de Montreal (UMTT) (Lèger & Boucher, 1980) se efectuó sobre una muestra muy elevada y heterogénea, formada por sujetos sedentarios, deportistas y de diferentes edades. Con este tipo de población existen muchas más posibilidades de que exista un nivel de asociación positivo entre estas dos variables, puesto que para la población en general el VO_{2max} presenta un mayor nivel de influencia en el rendimiento durante el ejercicio de resistencia, que para los deportistas de resistencia.

5.7. Determinación los niveles de asociación entre la Velocidad Aeróbica Máxima patinando (VAM_p) y los Umbrales Ventilatorios Aeróbico (AE) y Anaeróbico (AT).

Muy pocos estudios han analizado el umbral aeróbico y anaeróbico en el patinaje de velocidad. Sin embargo, en el presente trabajo se determinaron los umbrales ventilatorios de los sujetos, situándose el Umbral Aeróbico (AE) en el $56,08 \pm 6,97$ % del VO_{2max} , oscilando entre el 44 y el 67 %.

En la literatura científica revisada, Nemoto, *et al.*, (1988) fueron los únicos que presentaron resultados relativos al AE en patinadores de velocidad, determinado en cicloergómetro. El porcentaje de VO_{2max} ($61,1 \pm 7,16$ %) fue superior al que encontramos en los sujetos de nuestro trabajo, al igual que el VO_2 en el AE, $2,48 \pm 0,36$ vs $2,33 \pm 0,31$ L·min⁻¹ de O₂.

En cuanto a los parámetros fisiológicos en el umbral, la frecuencia cardíaca de los sujetos en el AE del presente estudio fue $139 \pm 11,53$ ppm resultando inferiores estos datos a los resultados de los estudios de Nemoto, *et al.*, (1988) ($141,6 \pm 12,9$ ppm); del mismo modo la ventilación en el AE resultó inferior en nuestro estudio ($53,17 \pm 8,35$ vs $59,3 \pm 8,8$ L·min⁻¹).

Por otra parte, la velocidad en el AE de los sujetos fue $23,50 \pm 2,14$ km·h⁻¹ con un rango situado entre los 20 y los 26,50 km·h⁻¹; además no se encontraron datos de velocidad en el AE en la literatura científica revisada con los que contrastar estos datos. Es importante destacar que los datos del estudio de Nemoto, *et al.*, (1988) son resultado de un test de laboratorio sobre cicloergómetro, sin embargo, son valores en porcentaje de VO_{2mas} bastante semejantes, y situados por encima de los registrados en nuestro trabajo.

El umbral anaeróbico (AT) de los sujetos de nuestro estudio se encontró al $78,16 \pm 6,01$ % del VO_{2max} , que corresponde con $3251,92 \pm 3726,2$ mL·min⁻¹ de O₂. Los sujetos oscilaron entre el 65 y el 86 %. Los trabajos de Krieg, *et al.*, (2006) localizaron el umbral anaeróbico de los sujetos en el 81,85 %, con $3,97 \pm 0,40$ L·min⁻¹. Los estudios de Lozano (2010) sitúan el AT en el $77,34 \pm 1,33$ %, con $3255,33$ mL·min⁻¹ O₂.

La frecuencia cardíaca de los sujetos en el AT de nuestro estudio fue de $173,58 \pm 8,54$ ppm vs $178,29 \pm 1,33$ ppm en el estudio de Lozano (2010). Esto

representa unos porcentajes en la frecuencia cardíaca en el AT de 92,09 vs 88,94 respectivamente. La ventilación en el AT de los sujetos fue de $84,33 \pm 11,05$ vs $99,25 \pm 3,43$ L·min⁻¹ en el trabajo de Lozano (2010), lo que representa unos porcentajes de 52,76 vs $67,40 \pm 1,74$.

En este sentido, los trabajos de Hecksteden, *et al.*, (2013) también aportan valores fisiológicos en el umbral anaeróbico. En su trabajo los patinadores no portaban ningún equipo de análisis de gases mientras patinaban. Los valores de que obtuvieron para la frecuencia cardíaca fueron: 172 ± 11 ppm para el MLSS (Maximun Lactate Stady State o Máximo Lactato Estado Estable), 170 ± 9 ppm para el ILT (Individual Lactate Threshold o Umbral Individual de Lactado), y 171 ± 7 ppm para el LT4 (Lactate Threshol 4 mmol·L⁻¹ o Umbral de Lactato en 4 mmol·L⁻¹), que correspondían con el 92,47 %, 91,39 % y 91,93 % de la frecuencia cardíaca máxima respectivamente. Estos datos son muy próximos a los obtenidos por Lozano (2010) y por nuestro estudio.

En cuanto a las velocidades en el AT en el presente estudio fueron $30,87 \pm 1,70$ km·h⁻¹, con un rango que osciló entre los 27,50 y los 33 km·h⁻¹ y que corresponde con un $86,75 \pm 2,99$ % de la VAM_{ps}. Así, las velocidades que encontramos en la literatura científica fueron $31,60 \pm 2,6$ km·h⁻¹ para el estudio de Krieg, *et al.*, (2006) lo que representó un 87,53% de la velocidad máxima obtenida en su protocolo, valores muy acordes a los resultados obtenidos en nuestro trabajo. En la literatura científica encontramos también valores inferiores (Lozano, 2009) ($30,43 \pm 0,27$ km·h⁻¹) y (Lozano, 2010) ($30,50 \pm 0,28$ // $30,80 \pm 0,36$ km·h⁻¹). Las velocidades para estos trabajos suponen el 88,69 % (Lozano, 2009) y 89,28 % // 88,10 % (Lozano, 2010) de las velocidades máximas obtenidas en los test que se realizaron en estos trabajos; lo cual nos indica que el AT en las poblaciones de patinadores de velocidad de estos estudios se sitúa en similares valores porcentuales a los resultados de nuestro trabajo. En los trabajos más recientes de Hecksteden, *et al.*, (2013), se registran unas velocidades de $29,5 \pm 2,5$ (MLSS), $29,2 \pm 2,0$ (ILT) y $29,6 \pm 2,3$ (LT4) que se correspondían con el 87,02 %, 86,13 % y 87,31 % de la velocidad máxima obtenida en el test respectivamente; nuevamente muy acorde a todos los trabajos que realizaron este tipo de valoraciones. (Ver Tab. 5.7.1.).

La velocidad en el AT de los sujetos de nuestro estudio es sensiblemente más alta que en los trabajos revisados, como consecuencia, probablemente, de una mayor eficiencia mecánica; sin embargo, y a tenor de los resultados encontrados, el AT está situado en valores más bajos respecto al VO_{2max} . La razón que podría explicar estos datos es que nuestros patinadores se encontraban en el período preparatorio general y, por el contrario, los patinadores de los otros trabajos se encontraban en periodos competitivos y precompetitivos.

La VAM_p obtuvo altas correlaciones con la velocidad en el AE ($r = 0,801$; $p = 0,002$) y con la velocidad en el AT ($r = 0,823$; $p = 0,001$). Estas correlaciones fueron más fuertes para la VAM_{ps} , (AE $r = 0,824$; $p = 0,001$ y AT $r = 0,844$; $p = 0,001$). Estos resultados difieren atendiendo a que las velocidades en el umbral fueron establecidas con la misma metodología con la cual se estableció la VAM_{ps} una vez conocido el tiempo exacto en el que se localizó el AE y el AT. Finalmente la velocidad en el AE correlacionó de forma significativa y positiva con el AT ($r = 0,771$; $p = 0,003$). Como era de esperar, aquellos patinadores con una VAM_p más elevada contaron, a su vez, con los umbrales más elevados. Sin embargo, entre el VO_{2max} y el VO_2 en los umbrales ventilatorios se hallaron correlaciones estadísticamente significativas más débiles tan solo para el AT.

La frecuencia cardíaca máxima también obtuvo una correlación significativa con la frecuencia cardíaca en el AE ($r = 0,531$; $p = 0,076$) y en el AT ($r = 0,792$; $p = 0,002$); de igual manera, estas dos últimas frecuencias también correlacionaron entre sí ($r = 0,632$; $p = 0,028$). La ventilación máxima obtuvo correlaciones estadísticamente significativas con la ventilación en el AE ($r = 0,752$; $p = 0,005$) y en el AT ($r = 0,645$; $p = 0,024$); de igual manera, dichos datos de ventilación en los umbrales AE y AT también correlacionaron entre sí ($r = 0,809$; $p = 0,001$). Todo esto parece indicar que aquellos patinadores con frecuencias cardíacas y ventilaciones más elevadas contaron también con los valores más elevados en cada uno de los dos umbrales.

Tab. 5.7.1. Resumen de resultados de estudios de valoración de umbral anaeróbico en pruebas de campo, con patinadores de velocidad.

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>VAM_p o Vel Max en el test km·h⁻¹</i>	<i>Vel AT km·h⁻¹</i>	<i>%VAM AT o %Vel Max AT</i>	<i>%VO₂ AT</i>	<i>% HR AT</i>
<i>Krieg, et al.</i>	2006	36,1 ± 1,0	31,6 ± 2,6	87,53	81,85	91,05
<i>Lozano</i>	2009	34,31 ± 0,31	30,43 ± 0,27	88,69	--	--
<i>Lozano</i>	2010	34,16 ± 0,31	30,50 ± 0,28	89,28	--	92,09
		34,96 ± 0,41	30,80 ± 0,36	88,10	77,34	90,99
<i>Hecksteden, et al.</i>	2013	33,9 ± 2,4	29,5 ± 2,5 MLSS	87,02	--	92,47
			29,2 ± 2,0 ILT	86,13	--	91,39
			29,6 ± 2,3 LT4	87,31	--	91,93
<i>Presente estudio</i>	2013	35,50 ± 1,62	30,87 ± 1,70	86,75	78,16	88,94

6

Conclusiones

6. Conclusiones.

PRIMERA: *Las características morfológicas de los sujetos participantes en este estudio no fueron factores determinantes en el rendimiento del patinaje de velocidad.*

SEGUNDA: *El consumo máximo de oxígeno medio fue de $4167,92 \pm 456,54$ mL·min⁻¹ en valor absoluto y de $60,23 \pm 7,62$ mL·kg⁻¹·min⁻¹ en valor relativo y el umbral aeróbico y anaeróbico se situaron en el 56,08 % y 78,16 % respectivamente.*

TERCERA: *El VO₂ evolucionó de manera constante a lo largo del test con un incremento medio por estadio de $1,60$ mL·kg⁻¹·min⁻¹.*

CUARTA: *La Velocidad Aeróbica Máxima Patinando de los patinadores de velocidad de alto nivel se situó entre $33,34$ km·h⁻¹ y $38,34$ km·h⁻¹.*

QUINTA: *La misma prueba incremental continua y máxima realizada sin el analizador de gases provocó un incremento sistemático en la velocidad final en torno a 1 km·h⁻¹.*

SEXTA: *El rendimiento en la prueba y la Velocidad Aeróbica Máxima Patinando no dependen del consumo máximo de oxígeno de los sujetos analizados.*

SÉPTIMA: *El rendimiento en la prueba incremental y la Velocidad Aeróbica Máxima Patinando se correlacionó de forma positiva con la velocidad en los umbrales aeróbico y anaeróbico.*

OCTAVA: *El resto de las variables funcionales analizadas, como la frecuencia cardíaca máxima, el lactato máximo, cociente respiratorio, ventilación o el pulso de oxígeno no influyeron en el rendimiento en el test ni en la VAM_p.*

7

Aplicaciones Prácticas

7. Aplicaciones Prácticas.

La utilidad práctica de la VAM en la programación del entrenamiento en las pruebas deportivas de resistencia ya ha sido demostrada. Por lo tanto la VAM_p obtenida mediante una valoración con o sin analizador de gases con el test propuesto en este estudio, podría resultar una posibilidad interesante e innovadora como un parámetro de referencia en la programación del entrenamiento en el patinaje de velocidad.

Siguiendo la terminología de Navarro (1998) y acorde a los trabajos relacionados con el entrenamiento de resistencia en otras disciplinas (Billat, *et al.*, 1999; Tuimil & Rodríguez, 2000; 2001; González, 2006) realizamos, a continuación, una propuesta de entrenamiento en función de las zonas de intensidad para el patinaje de velocidad:

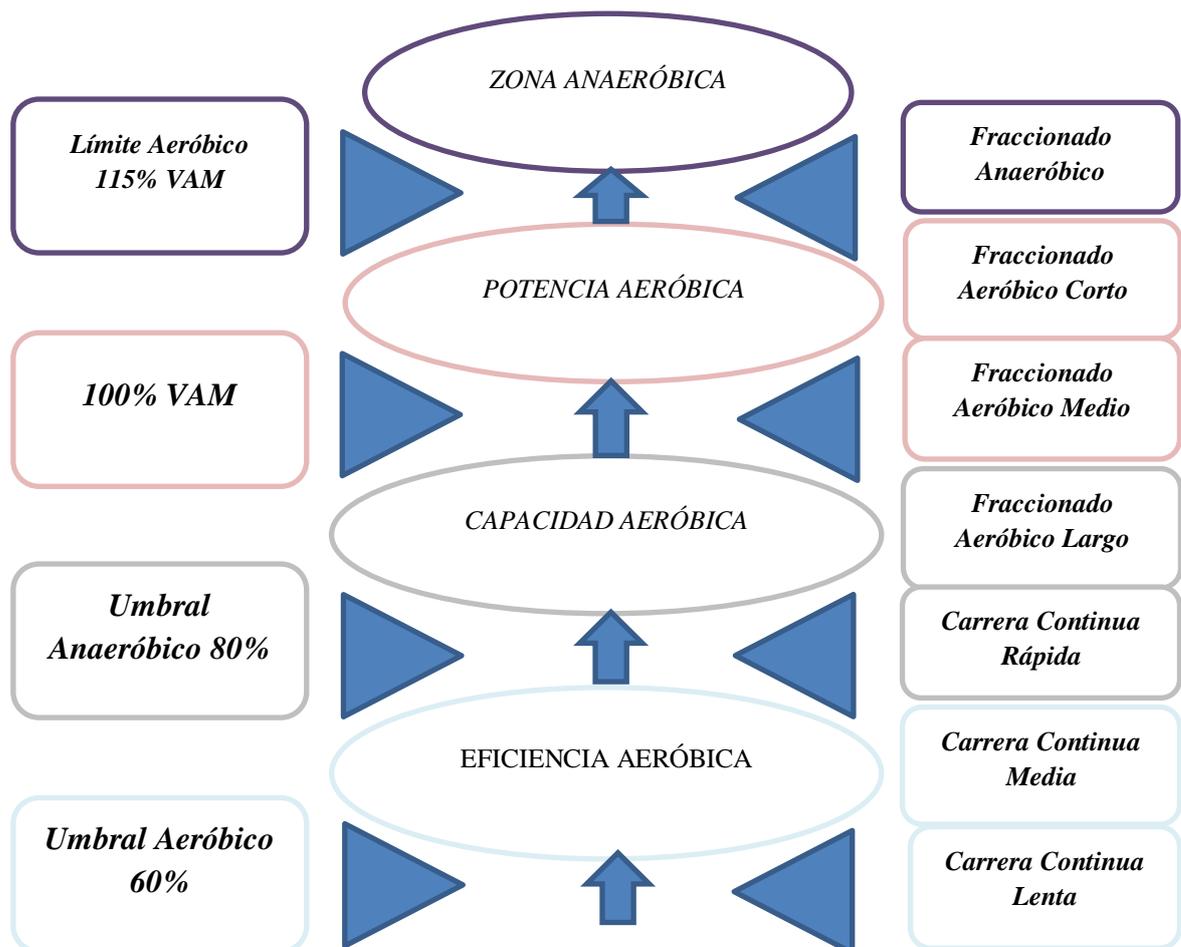


Fig. 7.1. Esquema del entrenamiento en función de las zonas de intensidad de VAM (Tuimil y Rodríguez, 2001; 2002).

Tab. 7.1. Entrenamiento del Patinaje de Velocidad en función de las zonas de intensidad de la VAM_p obtenidas con el test SA.

7 Aplicaciones Prácticas

	<i>Eficiencia Aeróbica</i>			<i>Capacidad Aeróbica</i>		<i>Potencia Aeróbica</i>		<i>Zona Anaeróbica</i>	
<i>VAM_p</i>	<i>60-65%</i>	<i>70-75%</i>	<i>80-85%</i>	<i>85-95%</i>	<i>95-100%</i>	<i>100-105%</i>	<i>105-115%</i>	<i>115-130%</i>	<i>125-140%</i>
<i>Método</i>	Patinaje Continuo Lento	Patinaje Continuo Medio	Patinaje Continuo Rápido	Fraccionado Largo (Extensivo)	Fraccionado Medio	Fraccionado Medio	Fraccionado Corto (Intensivo)	Fraccionado Anaeróbico	Fraccionado Anaeróbico
<i>Duración</i>	60 – 120 min	45 – 90 min	30 – 45 min	2,5 – 10 min	1,5 – 5 min	1,5 – 3 min	40 sec – 1,5 min	30 sec – 1,5 min	30 sec – 1 min
<i>Distancia</i>	30 – 50 km	20 – 30 km	10 – 20 km	1,5 – 5 km	1 – 3 km	1 – 1,5 km	0,5 – 1 km	400 – 1000 m	300 – 600 m
<i>Velocidad 100%</i> <i>VAM_p = 36,5km·h⁻¹</i>	21,9 – 23,7	25,6 - 27,4	29,2 – 31,0	31,0 – 34,7	34,7 – 36,5	36,5 – 38,3	38,3 – 42,0	42,0 – 47,5	45,6 – 51,1
<i>Pausa</i>	--	--	--	2 - 6	2 - 4	2 - 4	1 - 2	2 - 5	5 - 10
<i>Repetición</i>	--	--	--	2 – 8	5 – 15	5 – 15	3 – 20	4 – 10	2 – 6
	--	--	--	(10 – 20 km)	(10 – 15 km)	(10 – 15 km)	(5 – 15 km)	(2 – 5 km)	(1 – 2 km)
<i>Efectos del entrenamiento</i>	Incremento de la velocidad en el umbral	Incremento del VO _{2max} factores periféricos	Incremento del umbral anaeróbico y VO _{2max} factores centrales	Incremento de la VAM _p y capacidad de mantener un alto porcentaje.	Incremento de la VAM _p y capacidad de mantener un alto porcentaje.	Incremento del tiempo de mantenimiento de la VAM _p y superiores.	Incremento del tiempo de mantenimiento de la VAM _p y superiores.	Incremento del metabolismo anaeróbico.	Incremento de la Velocidad Máxima Mecánica.

Limitaciones del Estudio

8. Limitaciones del Estudio.

8.1. Tamaño de la muestra.

Consideramos que el haber contado con un mayor número de patinadores de alto nivel competitivo habría dotado de un mayor valor al trabajo aportando resultados más consistentes. A pesar de resultar un factor limitante, creemos que se trata de algo que puede ser reforzado con futuros trabajos.

8.2. Ausencia de una validación de la prueba.

Desde el punto de vista estadístico hubiera sido conveniente realizar una validación del test. De este modo se podría aplicar esta prueba a poblaciones de deportistas que en esta disciplina demandaran una valoración del rendimiento basada en la VAM_p. Además la validación del test permitiría que esta novedosa herramienta fuese un referente en futuras investigaciones; no obstante, esta línea queda abierta para futuros estudios.

A pesar de esta limitación este protocolo está siendo aplicado con diversas versiones en el patinaje de velocidad sobre ruedas y sobre hielo para el control y la programación del entrenamiento.

9

Propuestas de

Investigación

9. Propuestas de Investigación.

9.1. Influencia del protocolo en la determinación de la VAM_p .

Se podría proponer modificaciones en el protocolo para la determinación de la VAM_p , proponiendo protocolos de menor duración, o con incrementos de velocidad de menor magnitud y con mayor frecuencia, lo que quizás pudiera resultar en una VAM_p más alta.

Se podría explorar la utilización de un protocolo con una velocidad inicial de $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y con incrementos de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada $0,5 \text{ min}$, pudiendo resultar en valores para la VAM_p distintos a pesar de que igualmente los sujetos alcanzasen el $VO_{2\text{max}}$. Por otra parte, para patinadores de alto nivel y pensando en el patinaje de velocidad sobre hielo consideramos interesante un aumento en la velocidad inicial de $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

9.2. El entrenamiento del patinaje de velocidad en función de la VAM_p .

Otra de las preguntas que quedan en el aire es conocer la utilidad práctica real que representa para el entrenador y el patinador el conocimiento de la VAM_p en el entrenamiento, desde las perspectivas de la periodización, la programación y la planificación del mismo.

En este trabajo hemos realizado una propuesta de entrenamiento a partir de una programación en función de las zonas de intensidad de la VAM_p . Así, se plantea iniciar estudios sobre el entrenamiento en el patinaje de velocidad en base a la VAM_p y comparando los resultados de esta metodología con los de las metodologías utilizadas hasta ahora, como por ejemplo el entrenamiento en base a la frecuencia cardíaca.

9.3. Tiempo y Distancia Límite a la VAM.

Como ocurre con la VAM, el tiempo límite (T_{lim}) (tiempo que un sujeto puede mantener en la velocidad aeróbica máxima, VAM), y la distancia límite (D_{lim}) (distancia que puede completar el sujeto a su velocidad aeróbica máxima) son conceptos ausentes en la literatura científica del patinaje de velocidad y que puede resultar de gran utilidad como parámetro definitorio del rendimiento de un patinador. Además son factores ampliamente estudiados en la literatura científica y sobre otras

disciplinas de resistencia como la carrera atlética (Billat, *et al.*, 1994a; Billat, *et al.*, 1994b; Billat, *et al.*, 1994c; Hill & Rowell, 1996, Hill & Rowell, 1997; Renoux, Petit, Billar, & Koralsztein, 2000).

9.4. Trasladar el estudio de la VAM al patinaje de velocidad sobre hielo.

La igualdad existente en el patinaje de velocidad, en función de si es realizado sobre ruedas o sobre hielo, ha sido evidenciado desde un punto de vista científico hace más de veinte años (de Boer, Vos, *et al.*, 1987). Si a ello sumamos la cantidad de patinadores de élite que cada temporada patinan indistintamente en ambas superficies, no es de extrañar la ausencia de dudas respecto a la similitud desde el punto de vista biomecánico y fisiológico de ambas disciplinas.

Todo ello y la inexistencia en la literatura científica de estudios en el patinaje de velocidad sobre hielo que analicen la VAM o hablen de sus aplicaciones nos invita a pensar en esta disciplina como campo para futuros experimentos.

9.5. Describir un modelo biomecánico en el patinaje de velocidad sobre ruedas a partir de un análisis cinemático y cinético.

En este trabajo se ha evidenciado que la VAM_p será un factor determinante del rendimiento que reúne aspectos fisiológicos y aspectos biomecánicos del patinador. No es de extrañar, y a la luz de los niveles de asociación encontrados entre el VO_{2max} y la VAM_p , que otra vía de evolución de los estudios en el campo del patinaje de velocidad sobre ruedas sea la realización y descripción de un modelo técnico desde la perspectiva cinemática y estructural todavía ausente en la literatura científica.

10

Bibliografía

9. Bibliografía.

1. Adams, G. M. (1990). *Exercise Physiology Laboratory Manual*. McGrawHill.
2. Allinger, T., & Van Den Bogert, A. (1997). Skating technique for the straights, based on the optimization of a simulation model. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 29 (2), 279-286.
3. American College of Sports Medicine (2013). *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*.
4. American Psychological Association. (2001). *Publication Manual of the American Psychological Association 5th Edition*. American Psychological Association.
5. Åstrand, P.O., & Rodahl, K., (1980). *Fisiología del trabajo físico: Bases fisiológicas del ejercicio*. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana.
6. Åstrand, P.O., & Ryhming, I., (1954). A monogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal of Applied Physiology*. 7, 218.
7. Babineau, C., & Léger L. (1996). Physiological response of 5/1 intermittent aerobic exercise and its relationship to 5 Km endurance performance. *International Journal of Sports Medicine*. 18 (1), 13 - 19.
8. Baiget, E. (2008). Valoración funcional i bioenergética de la resistencia específica en jugadores de tenis. (Tesis doctoral). Departamento de teoría e historia de la educación. Universidad de Barcelona.
9. Baiget, E., Rodríguez, F.A. & Iglesias, X. (2006). Propuesta de test específico incremental para valorar la resistencia en tenistas. IV Congreso Mundial de Ciencia y Deportes de Raqueta (comunicación). Madrid-21-23 de Septiembre.
10. Baldwin, J., Snow, R.J., & Febbraio, M.A. (2000). Effect of training status and relative exercise intensity on physiological responses in men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 32, 1648 - 1654

11. Balke, B., (1963). *A simple field test for the assessment of physical fitness*. Civil Aeromedical Research Institute Report. 63 - 18. Oklahoma City: Federal Aviation Agency.
12. Bangsbo, J., & Lindquist, F. (2003). *Comparación de varios test de evaluación física para cuantificar el rendimiento*. PubliCE Standard. Pid: 205.
13. Baron, R. (2001). Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33, 1387 – 1393.
14. Beaver, W.L., Wasserman, K., & Whipp, B.J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*. 60, 2020 - 2027.
15. Berthon, P. & Fellmann N. (2002). General review of maximal aerobic velocity measurement at laboratory. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*. 42, 257 - 266.
16. Bennell, K.L., Malcolm, S.A., Khan, K. M., Thomas, S.A., Reid, S.J., Brukner, P.D., & Wark, J. D. (1997). Bone mass and bone turnover in power athletes, endurance athletes, and controls: a 12-month longitudinal study. *Bone*. 20 (5), 477 - 484.
17. Berthoin, S., Boquet, G. & Mantéca, F. (1996). Maximal aerobic speed and running time to exhaustion. *Pediatric Exercise Science*. 8, 234 - 244.
18. Berthoin, S., Jacquet, A., Lefranc, J.F., Lapp, M., Baquet, G. & Gerbeaux, M. (1995). Resistencia aeróbica en las escuelas. *Stadium*. 26, 3 - 11.
19. Berthoin, S., Pelayo, P., Lensele-Corbeil, G., Robin, H. & Gerbeaux, M. (1996). Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *International Journal of Sports Medicine*. 17 (7), 525 - 527.
20. Billat, V., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J.P. (1999). Interval training at VO_{2max} effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 31 (1), 156 - 163.

21. Billat, V., & Koralsztein, J.P. (1996). Significance of velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity. *Sports Medicine*. 22 (2), 90 - 108.
22. Billat, V., Hill, D., Pinoteau, J., Petit, B. & Koralsztein, J. (1996). Effect of protocol on determination of velocity at VO_{2max} and on its time to exhaustion. *Archives of Physiology & Biochemistry*. 104 (3), 313 - 321.
23. Billat, V., Renoux, J.C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J.P., (1994a). Reproducibility of running time to exhaustion at VO_{2max} in sub-elite runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 26, 254 - 257.
24. Billat, V., Renoux, J.C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1994b). Times to exhaustion at 100 % of velocity at VO_{2max} and modelling of the time-limit / velocity relationship in elite long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*. 69, 271 - 273.
25. Billat, V., Renoux, J.C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J.P. (1994c). Validation d'une épreuve maximale de temps limite à VMA (vitesse maximale aérobie) et à VO_{2max} . *Science et Sports*. 9, 135 - 143.
26. Bobbert, M.F., Houdijk, H., de Koning, J.J., & de Groot, G. (2002). From a One-Legged Vertical Jump to the Speed-Skating Push-Off: A Simulation Study. *Journal of Applied Biomechanics*. 18, 28 - 45.
27. Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 14, 377 - 381.
28. British Association of Sport and Exercise Sciences. (1997). *Guidelines for the physiological testing of athletes*. Ed. Birds, S., & Davison, R., British Association of Sport and Exercise Sciences.
29. Brue, F. (1985). Une Variante du test progressif et maximal de Léger et Boucher: le test vitesse maximale aérobie derrière cycliste (test VMA). *Bulletin Médical de la Federation Francaise d'Athletisme*. 7, 1 - 18.
30. Bulbulian, R., Jeong, J.W., & Murphy, M. (1996). Comparison of anaerobic components of the Wingate and critical power tests in males and females. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 28, 1336 - 1341.

31. Bull, A.J., Housh, T.J., Johnson, G.O., & Perry, S.R. (2000). Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 32, 526 – 530.
32. Burnley, M.J., Doust, J.H., & Jones, A.M. (2005). Effects of Prior Warm-up Regime on Severe-Intensity Cycling Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 37, 838 – 845.
33. Caiozzo, V.J., Davis, J.A., Ellis, J.F., Azus, J.L., Vandagriff, R., Prietto, C.A., & McMaster, W.C. (1982). A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology*. 53, 1184 – 1189.
34. Carter, J.E. (1975). The Heath-Carter somatotype method. San Diego: San Diego State University.
35. Cavelaars, A.E. (1998). Cross-national comparisons of socioeconomic differences in health indicators. *Doctoral Thesis*. University of Rotterdam.
36. Cavelaars, A.E. Kunst, A.E., Geurts, J.J., Crialesi, R., Grötvedt, L., Helmert, U., Lahelma, E., Lundberg, O., Mielck, A., Rasmussen, N. Kr., Regidor, E., Spuhler, T.H., & Mackenbach, J.P. (2000). Persistent variations in average height between countries and between socio-economic groups: an overview of 10 European countries. *Annals of Human Biology*. 27 (4), 407 - 421.
37. Cazorla, G. (1987). Évaluation de la capacité aérobie: Les tests de terrain. (Actas de congreso), *II Congreso Galego da Educación Física e o Deporte (II)*, A Coruña.
38. Chapman, R.F., Stickford, J.L. & Levine, B.D. (2010). Altitude training considerations for the winter sport athlete. *Experimental Physiology*. 95 (3), 411 - 421.
39. Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A.C., Keizer, H.A., Jeukendrup, A., & Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of

- ventilatory and lactate thresholds. *International Journal of Sports Medicine*. 13, 518 – 522.
40. Clausen, J.P. (1977) Effects of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiological Reviews*. 57, 779 – 815.
41. Coggan, A.R., & Costill, D.L. (1984). Biological and technological variability of three anaerobic ergometer tests. *International Journal of Sports Medicine*. 5, 142 – 145.
42. Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P.G., Droghetti, P. & Codega, L., (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology*. 52 (4), 869 - 873.
43. Conconi, F., Borsetto, C.H., Casoni, I., & Ferrari, M. (1988). *Noninvasive determination of the anaerobic threshold in cyclists*. En: Burke, E.R., & Neusom, M.M. (Eds.). *Medical and scientific aspects of cycling*. Champaign, IL: Human Kinetics.
44. Conconi, F., Grazi, G., Casoni, I., Guglielmini, C., Borsetto, C., Ballarin, E., Mazzoni, G., Patracchini, M., & Manfredini, F. (1996). The Conconi test: Methodology after 12 years of application. *International Journal of Sports Medicine*. 17, 509 - 519.
45. Cooper, K.H. (1968). A mean of assessing maximal oxygen intake. *Journal of American Medicine Association*. 203, 2010 - 2014.
46. Coyle, E.F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise & Sport Sciences Reviews*. 23, 25 - 63.
47. Coyle, E. F. (2005). Improved muscular efficiency displayed as Tour de France championship matures. *Journal of Applied Physiology*. 98, 2191 – 2196.
48. Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hemmert, M.K., & Ivy, J.L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology*. 6, 162 – 172.

49. D'Auteuil, A., Larose, G.L. & Zan, S.J. (2012). Wind turbulence in speed skating: Measurement, simulation and its effect on aerodynamic drag. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*. 104 - 106, 585 - 593.
50. Daniels, J. (1985). A physiologist's view of running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 17, 332 - 338.
51. Davies, C.T.M., Tuxworth, J.M., & Joung, M. (1970). Physiological effects of repeated exercise. *Clinical Sciences*. 39, 247 - 258.
52. Davis, J.A., Frank, M.H., Whipp, B.J., & Wasserman, K. (1979). Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *Journal of Applied Physiology*. 46, 1039 - 1046.
53. Djatschkow, W. M. (1977). *Die Steuerung und Optimierung des Trainingsprozesses*. Bartels und Wernitz, Berlín - Múnich - Francfort.
54. de Boer, R.W., Schermerhorn, P., Gademan, J., de Groot, G., & Van Ingen Schenau, G.J. (1986). Characteristic stroke mechanic of elite and trained male speed skaters. *International Journal of Sports Biomechanics*. 2, 175 - 185.
55. de Boer, R.W., Vos, E., Hutter, W., de Groot, G. & Van Ingen Schenau, G.J. (1987). Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*. 56 (5), 562 - 569.
56. de Boer, R.W., Cabri, J., Vaes, W., Clarijs, J.P., Hollander, A.P., de Groot, G., van Ingen Schenau, G.J. (1987). Moments of force, power, and muscle coordination in speed-skating. *International Journal of Sports Medicine*. 8 (6), 371 - 378
57. de Boer, R.W., Etterna, G.J.C., Faessen, B.G.M., Krekels, H., Hollander, A.P., de Groot, G., & Van Ingen Schenau G.J. (1987). Specific characteristics of speed skating: Implications for summer training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 19, 504 - 510.

58. de Boer, R.W., & Nilsen, K.L. (1989). The gliding push-off technique of male and female Olympic speed skaters. *International Journal of Sports Biomechanics*. 5, 119 - 134.
59. de Groot, G., de Boer, R.W., & Van Ingen Schenau, G.J. (1985). Power output during cycling and speed skating. *Biomechanics*. 9b, 555 - 559.
60. de Groot, G., Hollander, A.P., Sargeant, A.J., Van Ingen Schenau, G.J., & de Boer, R.W. (1987). Applied physiology of speed skating. *Journal of Sports Sciences*. 5, 249 - 259.
61. de Koning, J.J. (2010). World Records: How much athlete? How much technology? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 5, 262 - 267.
62. de Koning, J.J., de Boer, R.W., de Groot, G., Van Ingen Schenau, G.J. (1987). Push of force in speed skating. *International Journal of Sports Biomechanics*. 3, 103 - 109.
63. de Koning, J.J., de Groot, G., & Van Ingen Schenau, G.J. (1991). Coordination of leg muscles during speed skating. *Journal of Biomechanics*. 24 (2), 137 - 146.
64. de Koning, J.J., de Groot, G., & Van Ingen Schenau, G.J. (1992). Ice friction during Speed Skating. *Journal of Biomechanics*. 25 (6), 565 - 571.
65. de Koning, J.J., Bakker, F.C., de Groot, G. & Van Ingen Schenau, G.J. (1994). Longitudinal development of young talented speed skaters: physiological and anthropometric aspects. *Journal of Applied Physiology*. 77, 2311 - 2317.
66. de Koning, J.J., Houdijk, H., de Groot, G. & Bobbert, M.F. (2000). From Biomechanical theory to application in top sports: The klapskate Story. *Journal of Biomechanics*. 33, 1225 - 1229.

67. de Koning, J.J., Foster, C., Lampen, J., Hettinga, F. & Bobbert, M.F. (2005). Experimental evaluation of the power balance model of speed skating. *Journal of Applied Physiology*. 98 (1), 227 – 233,
68. de Koning, J.J., Foster, C., Lucia, A., Bobbert, M.F., Hettinga, F.J. & Porcari, J.P. (2011). Using Modeling to Understand How Athletes in Different Disciplines Solve the Same Problem: Swimming Versus Running Versus Speed Skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 6, 276 – 280.
69. de Rose, E.H. & Guimaraes, A.C. (1980). *A model for optimization of somatotype in young athletes*. In Ostyn, M.; Buenen, G.; Simons, J. Kinanthropometry II. Baltimore University Park Press.
70. di Prampero, P.E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*. 7, 55 - 72.
71. di Prampero, P.E. (2010). Altitude and best performances in human locomotion. *Medicina Sportiva*. 14 (1), 7 - 12.
72. di Prampero, P.E., Cortili, G., Mognoni, P. & Saibene, F. (1976). Energy cost of speed skating and efficiency of work against air resistance. *Journal of Applied Physiology*. 40, 584 - 591.
73. di Prampero, P.E., Atchou, G., Brückner, J.C. & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology*. 55, 259 - 266.
74. Djatschkow, W.M., (1977). *Die Steuerung und Optiemierung des Trainingsprozesses* (27 - 59). Berlin: Sportverlag.
75. Egoheaga, J., Llavador, J., Díaz-Munío, J.J., Del Valle, M., Egia, O., & Díaz, I. (2004). Racing Economy in on-line speed skating. It influences of the position inside of the group. *Archivos de Medicina del Deporte*. 21 (110), 215 - 220.
76. Ekblom, B., Hermansen, & L., Saltin, B. (1967). *Hastighetsåkning på skridskor. Idrottsfysiologi Rapport n°5*. Estocolmo: Framtiden.

77. Farrel, P.A., Wilmore, J.H., Coyle, E.F., Billings, J.E., & Costill, D.L. (1975). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine & Science in Sports*. 11, 338 - 344.
78. Federation International of Roller Sports (F.I.R.S.) (2013). <http://www.rollersports.org/RollerSports/content/index.html>.
79. Ferguson, R.J., Marcotte, G.G., & Montpetit, R.R. (1969). A maximal oxygen uptake test during ice skating. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1, 207 - 211.
80. Fernández-García, B., Pérez- Landaluce, M., Rodríguez-Alonso, M., Terrados, N. (2000). Intensity of exercise during road race procycling competition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 32, 1002 – 1006.
81. Fintelman, D.M., den Braver, O., & Schwab, A.L. (2011). *A simple 2-dimensional model of speed skating which mimics observed forces and motions*. *Multibody Dynamics 2011*, Eccomas Thematic Conferences. J.C. Samin, P. Fiset (eds.) Brussels, Belgium, 4 - 7 July 2011.
82. Formenti, F. (2014). A review of the physics of ice surface friction and the development of ice skating. *Research in Sports Medicine: An International Journal*. 22 (3): 276 – 293.
83. Foster, C. (1989). Physiological Testing. Does it help the athlete? *Physician & Sports Medicine*. 17, 103 – 110.
84. Foster, C., Rundell, K.W., Snyder, A.C., Stray-Gunderse, J., Kemkers, G., Thometz, N., Broker, J., & Knapp, E. (1999). Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating. *Medicine & Science in Sports & and Exercise*. 31 (10), 1433 - 1440.
85. Foster, C.J., de Koning, J., Hettinga, F., Lampen, J., La Clair, K., Dodge, C., Bobbert, M. & Porcari, J. (2003). Pattern of energy expenditure during simulate competition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 5, 826 - 831.

86. Gaçon, G. (1991). Un nuevo concepto de entrenamiento: La ponderación (1ª parte). *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 5 (1), 31 - 35.
87. Gaçon, G. (1991). Un nuevo concepto de entrenamiento: La ponderación (2ª parte). *Revista de Entrenamiento Deportivo*. 5 (2), 2 - 9.
88. Geisel, J.S. (1980). The endurance time on a bicycle ergometer as a test for marathon speed skaters. *Journal of Sports Medicine*. 20, 333 - 340.
89. Geisel, J.S., Bomhoff, G., Van Velzen, J., de Groot, G., & Van Ingen Schenau, G.J. (1984). Bicycle Ergometry and Speed Skating Performance. *International Journal of Sports Medicine*. 5, 241 - 245.
90. González, C. (2006). Validación de una prueba de campo para determinar la potencia aeróbica máxima en ciclismo. *Tesis Doctoral*. Universidad de Zaragoza, Facultad de Medicina, Departamento de Farmacología y Fisiología.
91. Graham, K.S., & McLellan, T.M. (1989). Variability of time to exhaustion and oxygen deficit in supramaximal exercise. *Australian Journal of Science & Medicine in Sport*. 24, 11 - 14.
92. Grant, S., Corbett, K., Amjad, A.M., Wilson, J., & Aitchison, T. (1995). A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*. 29, 147 - 152.
93. Green, H.J. (1978). Glycogen depletion pattern during continuous and intermittent ice skating. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 10, 183 - 187.
94. Grupo Español de Cineantropometría. (1993). *Manual de cineantropometría*, Esparza, F. Grupo Español de Cineantropometría (FEMEDE).
95. Hecksteden, A., Heinze, T., Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2013). Validity of lactate thresholds in inline-speedskating. *Journal of strength & conditioning research*. 8, 2877.

96. Heiden, E. (2004). Speed Skating. In McGraw Hill (Ed.). *Winter Sports Medicine Handbook*. 333 - 369.
97. Heller, J., & Novotny, J. (1997). Aerobic and anaerobic capacity in elite mountain bikers. *Acta Universitatis Carolinae – Kinanthropologica*. 33, 61 – 68.
98. Hill, D.W. & Rowell, A. (1996). Running velocity at VO_{2max} . *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 28 (1), 114 - 119.
99. Hill, D.W. & Rowell, A. (1997). Responses to exercise at the velocity associated with VO_{2max} . *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 29 (1), 113 - 116.
100. Hopkins, W.G., Schabort, E.J., & Hawley, J.A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine*. 31, 211 – 234.
101. Houdijk, H., Heijnsdijk, E.A., de Koning, J.J., de Groot, G., & Bobbert, M.F. (2000). Physiological responses that account for the increased power output in speed skating using klapskates. *European Journal of Applied Physiology*. 83 (4 -5), 283 - 288.
102. Houdijk, H., de Koning, J.J., de Groot, G., Bobbert, M.F & Van Ingen Schenau, G.J. (2000). Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise*. 32 (3), 635 - 641.
103. Houdijk, H., Wijker, A.J., de Koning, J.J., Bobbert, M.F., & de Groot, G. (2001). Ice friction in speed skating: can klapskates reduce ice frictional loss? *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33(3), 499 - 504
104. International Skating Union (I.S.U.) (2013). <http://www.isu.org>
105. Jensen, K., & Johansen, L. (1998). Reproducibility and validity of physiological parameters measured in cyclists riding on racing bikes placed on a stationary magnetic brake. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 8, 1 – 6.

106. Jeukendrup, A., Saris, W.H., Brouns, F., & Kester, A.D. (1996). A new validated endurance performance test. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 28, 266 – 270.
107. Kalamen, J. (1968) Measurement of maximum muscle power in man. *Tesis Doctoral*. Ohio State University, Columbus.
108. Kamst, R., Kuper, G.H., & Sierksma, G. (2010). The Olympic 500-m speed skating; The inner–outer lane difference. *Statistica Neerlandica*. 64 (4), 448 - 459.
109. Kandow, T.W., Houtman, I.L., Van der Bol, E., de Boer, R.W., de Groot, G., & Van Ingen Schenau, G.J. (1987). Comparison of the physiology and biomechanics of speed skating with cycling and with skateboard exercise. *Canadian Journal of Sport Sciences*. 12, 31 - 36.
110. Knechtle, B., Knechtle, P., Rüst, C.A., Senn, O., Rosemann, T., & Lepers, R. (2011) Predictor variables of performance in recreational male long-distance inline skaters, *Journal of Sports Sciences*. 29 (9), 959 - 966.
111. Krieg, A., Meyer, T., Clas, S., & Kindermann, W. (2006). Characteristics of inline speedskating--incremental tests and effect of drafting. *International Journal of Sports Medicine*. 27 (10), 818 - 823.
112. Lacour, J., Montmayeur, A., Dormois, D., Gaçon, G., Padilla, S. & Viale, C. (1989). Validation de lépreuve de mesure de la vitesse maximale aérobie (VMA) dans un groupe de coureurs de haut niveau. *Science et Motricité*. 7, 3 - 8.
113. Lacour, J.R., Padilla, S., Chatard, J.C., Arsac, L. & Barthélémy, J.C. (1991). Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*. 62, 77 - 82.
114. Léger, L. (1999). Programación de las cargas de entrenamiento (Conferencia). *Curso de postgrado en preparación física de los deportes individuales*. INEF de Galicia, (Mayo 1999).

115. Léger, L., Seliger, V., & Brassard, L. (1979). Comparisons among VO_{2max} values for hockey players and runners. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*. 4, 18 - 23.
116. Léger, L., & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montréal track test. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*. 5, 77 - 84.
117. Léger, L. & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO_{2max} . *European Journal of Applied Physiology*. 49, 1 - 12.
118. Leger, L., Thibault, M.G., & Gode, M.J. (1982). Épreuve cycliste progressive sur piste pour déterminer la puissance aérobie maximale et fonctionnelle. *Medicine in Sport*. 56, 454 – 460.
119. Léger L. & Gadoury, C. (1989). Validity of the 20m shuttle run test with 1 min stages to predict VO_{2max} in adults. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*. 14, 1 - 26.
120. Lozano, R.E. (2009). Evaluación de la cualidad aeróbica del patinador de velocidad sobre ruedas, por medio de un test específico de campo. *Spagatta Magazine*. <http://spagatta.com/articulos/medicina.html>
121. Lozano, R.E. (2010). Test de campo (TIVRE Patín®) para valorar la cualidad aeróbica del patinador sobre ruedas. *Tesis Doctoral*. Universidad de León.
122. Lindsay, F.H., Hawley, J.A., Myburgh, K.H., Schomer, H.H., Noakes, T.D., & Dennis, S.C. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 28, 1427 - 1434.
123. Lucia, A., Hoyos, J., & Chicharro, J.L. (2000a). Physiological Response to Professional Road Cycling: Climbers vs. Time Trialists. *International Journal of Sports Medicine*. 21, 505 – 512.

124. Lucia, A., Hoyos, J., & Chicharro, J.L. (2000b). The slow component of O₂ in professional cyclists. *British Journal of Sports Medicine* 34, 367 – 374.
125. Lucia, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., & Chicharro, J.L. (2003). Tour de France versus Vuelta a España: Which Is Harder? *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 35, 872 – 878.
126. Lucia, A., San Juan, A.F., Montilla, M., Cañete, S., Santalla, A., Earnest, C. & Perez, M. (2004). In Professional Road Cyclists, Low Pedaling Cadences Are Less Efficient. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 36, 1048 – 1054.
127. Lucia, A., Gómez-Gallego, F., Chicharro, J.L., Hoyos, J., Celaya, K., Cordova, A., Villa, G., Alonso, J.M., Barriopedro, M., Perez, M, & Earnest, C.P. (2004). Is there an association between ACE and CKMM polymorphism and cycling performance status during 3-week races? *International Journal of Sports Medicine*. 25, 442 – 447.
128. Mader, A., & Heck, H. (1986). A theory of the origin of anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*. Suppl. 7, 45 - 65.
129. Maksud, M.G., Wiley, R.L., Hamilton, L.H. & Lockhart, B. (1970). Maximal VO₂, ventilation and heart rate of Olympic speed skating candidates. *Journal of Applied Physiology*. 29, 186 - 190.
130. Maksud, M.G., Hamilton, L.H., & Balke, B. (1971). Physiological responses of a male Olympic speed skater – Terry McDermott. *Medicine & Science in Sports*. 3, 107 - 109.
131. Maksud, M.G., Farrell, P., Foster, C., Pollock, M., Hare, J., Anholm, J., & Schmidt, D. (1982). Maximal VO₂, ventilation and heart rate of Olympic speed skating candidates. *Journal of Sports Medicine*. 22, 217 - 223.
132. Margaria, R., Aguemo, P., & Rovelli, E. (1996). Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *Journal of Applied Physiology*. 21 (5), 1662 - 1664.

133. Marion, G.A., & Leger, L.A. (1988). Energetics of indoor track cycling in trained competitors. *International Journal of Sports Medicine*. 9, 234 – 239.
134. Matiegka, J. (1921). The testing of physical efficiency. *American Journal of Physical Anthropology*. 4, 223 - 230.
135. McDaniel, J., Durstine, J.L., Hand, G.A., & Martin, J.C. (2002). Determinants of metabolic cost during submaximal cycling. *Journal of Applied Physiology*. 93, 823 – 828.
136. McDougall, D., Wenger, H., & Green, H. (1995). *Evaluación Fisiológica del Deportista*. Barcelona: Paidotribo.
137. McLellan, T.M., Cheung, S.S., & Jacobs, I. (1995). Variability of time to exhaustion during submaximal exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 20, 39 – 51.
138. McLellan, T.M., & Jacobs, I. (1993). Reliability, reproducibility and validity of the individual anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology*. 67, 125 – 131.
139. Mechelen W., Hlobil H., & Kemper H. C. (1986). Validation of two running tests as an intimate of maximal aerobic power in children. *European Journal Applied Physiology*. 55, 503 - 506
140. Millet, G.P., Gelsan, R., Ferrier, R., Candau, R., & Varray, A. (2003). Effects of drafting on energy expenditure in in-line skating. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*. 43, 285 - 290.
141. Mitchell, J.H., Sproule, B.J., & Chapman, C.B. (1958). The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *The Journal of Clinical Investigation*. 37, 538 – 547.
142. Moeller, J.L., Rifat, S.F., & Heiden, E. A. (2004). *Winter Sports Medicine Handbook*. McGrawHill.

143. Montfort-Steiger, V., Williams, C.A., & Armstrong, N. (2005). The reproducibility of an endurance performance test in adolescent cyclists. *European Journal of Applied Physiology*. 94, 618 – 625.
144. Montmayer, A., & Villaret, M. (1990). Étude de la vitesse maximale aérobie derriere cycliste: valeur predictive sur la performance en course a pied. *Science et Motricite*, 10, 27 -31.
145. Mora Vicente, J. (1992). Umbral Anaeróbico. Determinación de éste utilizando el test en pista de Léger-Boucher. En Estudios Monográficos sobre las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. COPLEF Andalucía, 219 - 251.
146. Morgan, D.W., Baldini, F.D., Martin, P.E. & Kohrt, W.M. (1989). Ten kilometer performance and predicted velocity at VO_{2max} among well-trained male runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 21, 78 - 83.
147. Moseley, L., & Jeukendrup, A.E. (2001). The reliability of cycling efficiency. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33, 621 – 627.
148. Mühlbauer, T., Panzer, S., Naundorf, F., & Grützmaker, N. (2009). Geschwindigkeitsverteilung und Wettkampferfolg auf der Sprintdistanz im Eisschnelllauf. Pacing and Success for the Sprint in Ice Speed Skating. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*. 60, (1).
149. Mühlbauer, T., Panzer, S., & Schindler, C. (2010). Pacing pattern and speed skating performance in competitive long-distance events. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (1), 114-119.
150. Navarro, F. (1991). Control y Evaluación del Entrenamiento en Natación. I Jornadas de Natación, Málaga.
151. Navarro, F. (1998). *La Resistencia*. Madrid. Ed. Gymnos.
152. Nebelsick-Gullet, L.J., Housh, T.J., Johnson, G.O., & Bauge, S.M. (1988). A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity. *Ergonomics*. 31, 1413 – 1419.

153. Nemoto, I., Iwaoka, K., Funato, K., Yoshioka, N., & Miyashita, M. (1988). Aerobic threshold, anaerobic threshold, and maximal oxygen uptake of Japanese speed-skaters. *International Journal of Sports Medicine*. 9 (6), 433 - 437.
154. Nesi, X., Bosquet, L., & Pelayo, P. (2005). Preferred pedal rate: an index of cycling performance. *International Journal of Sports Medicine*. 26, 372 – 375.
155. Noakes, T.D., Myburgh, K.H. & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO_{2max} test predicts running performance. *Journal Sports Science*. 8, 35 - 45.
156. Nobes, K.J., Montgomery, D.L, Pearsall, D.J., Turcotte, R.A., Lefebvre, R., & Whittom, F. (2003). A Comparison of Skating Economy On-Ice and On the Skating Treadmill. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 28 (1), 1 - 11.
157. Noordhof, D.A., Foster, C., Hoozemans, M.J., & de Koning, J.J. (2013). Changes in speed skating velocity in relation to push-off effectiveness. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 8, 188 - 194.
158. Noordhof, D.A., Foster, C., Hoozemans, M.J., & de Koning, J.J. (2014). Changes in speed skating velocity in relation to push-off effectiveness. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 9, 68 - 78.
159. Orie, J., Hofman, N., de Koning, J.J., & Foster, C. (2014). Thirty-Eight years of training distribution in Olympic Speed Skaters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 9, 93-99
160. Padilla, S., Bourdin, M., Barthélémy, J.C., & Lacour, J.R. (1992). Physiological correlates of middle-distance running performance. A comparative study between men and women. *European Journal of Applied Physiology*. 65, 561 - 566.

161. Padilla, S., Mujica, I., Cuesta, G., Polo, J.M., & Chatard, J.C. (1996). Validity of a velodrome test for competitive road cyclists. *European Journal of Applied Physiology*. 73,446–451.
162. Padilla, S., Mujika, I., Cuesta, G., & Goiriena, J.J. (1999). Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 31, 878 – 885.
163. Padilla, S., Mujika, I., Orbañanos, J., & Angulo, F. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 32, 850 – 856.
164. Perrey, S., Grappe, F., Girard, A., Bringard, A., Gros Lambert, A., Bertucci, W., & Rouillon, J.D. (2003). Physiological and metabolic responses of triathletes to a simulated 30-min time-trial in cycling at self-selected intensity. *International Journal of Sports Medicine*. 24, 138 – 143.
165. Piucco, T., dos Santos, S.G., & de Lucas, R.D. (2014). Patinação de velocidade in-line: uma revisão sistemática. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*. 7 (4), 162-169.
166. Pollack, M. L. (1977). Characteristics of elite class distance runners. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 301, 278 – 282.
167. Powers, S.K., Dodd, S., & Garner, R. (1984). Precision of ventilator and gas exchange alterations as a predictor of the anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology*. 52, 173 - 177.
168. Pringle, J.S.M., & Andrew, M. (2002). Jones Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology*. 88, 214 – 226.
169. Probst, H.; Comminot, C.H. & Rojas, J. (1989). Conconi-test auf dem Fahrradergometer. *Schwiez Z Sportmed*. 37, 141 - 147.

170. Renoux, J.C., Petit, B., Billar, V. & Koralsztein, J. P. (2000). Calculation of times to exhaustion at 100 % and 120 % maximal aerobic speed. *Ergonomics*. 43 (2), 160 - 166.
171. Ricci, J., & Leger, L.A. (1983). VO_{2max} of cyclists from treadmill, bicycle ergometer and velodrome tests. *European Journal of Applied Physiology*. 50, 283 – 289.
172. Rocha, M.S. (1975). Peso ósseo do brasileiro de ambos os sexos de 17 a 25 años. *Arquivos de Anatomía e Antropología*. Rio de Janeiro – RJ. 1, 445 - 451.
173. Rodríguez F.A., Iglesias X. & Tuimil J.L. (2002). *Gross oxygen cost of graded track running in endurance-trained runners and non runners*. In: Koskolou M., Geladas N., Klissouras V. (eds.), Proceedings of the 7th Annual Congress of the European College of Sport Science. (1) 140. Atenas: ECSS, University of Athens.
174. Rowell, L.B., (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews*. 54 - 75.
175. Rundell, K.W. (1996). Compromised oxygen uptake in speed skaters during treadmill in-line skating. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 28 (1), 120 - 127.
176. Rundell, K.W. & Pripstein, L.P. (1995). Physiological responses of speed skaters to treadmill low walking and cycle ergometry. *International Journal of Sports Medicine*. 16, 304 - 308.
177. Rundell, K.W., Nioka, S., & Chance, B. (1997). Hemoglobin/myoglobin desaturation during speed skating. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 29 (2), 248 - 258.
178. Saltin, B. & Astrand, P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*. 23, 353 - 358.
179. Saltin, B. (1986). Physiological adaptation of physical conditioning: Old problems revisited. *Acta Medica Scandinavica Suppl*. 711, 11 - 24.

180. Schabort, E.J., Hawley, J.A., Hopkins, W.G., Mujika, I., & Noakes, T.D. (1998). A new reliable laboratory test of endurance performance for road cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 30, 1744 – 1750.
181. Simoneau, J.A., Lortie, G., Boulay, M.R., & Bouchard, C. (1983). Tests of anaerobic alactacid and lactacid capacities: description and reliability. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences*. 8, 266 – 270.
182. Skinner, J.S., & McLellan, T.M. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 51, 234 - 248.
183. Smith, J.C., Dangelmaier, B.S., & Hill, D.W. (1999). Critical power is related to cycling time trial performance. *International Journal of Sports Medicine*. 20, 374 – 378.
184. Stapelfeldt, B., Schwirth, A., Schumacher, Y.O., & Hillebrecht, M. (2004). Workload demands in mountain bike racing. *International Journal of Sports Medicine*. 25, 294 - 300.
185. Stangier, C., Abel, T., Mierau, J., Gutmann, B., Holmann, W., & Strüder, H.K. (2014). Comparison of sport-specific and non-specific exercise testing in inline speed skating. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 25
186. Sundet, J.M., Magnus, P., & Tambs, K. (1994). The heritability of maximal aerobic power: A study of Norwegian twins. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 35, 850 - 865.
187. Taylor, H.L., Buskirk, E.R., & Henschel, A. (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *Journal of Applied Physiology*. 8, 73 - 80.
188. Teutsch, U., Knechtle, B., Rüst, C.A., Rosemann, T., & Lepers, R. (2013) Age group athletes in inline skating: decrease in overall and increase in master athlete participation in the longest inline skating race in Europe – the Inline One-Eleven. *International Journal of General Medicine*. 6, 345 - 355.

189. Thoden, J.S. (1995). Evaluación de la Potencia Aeróbica (139-277) MacDougall, D., Wenger, H., Green, H. (1995). *Evaluación Fisiológica del Deportista*. Barcelona: Paidotribo.
190. Tuimil, J.L. (1999). Efectos del entrenamiento continuo e interválico sobre la velocidad aeróbica máxima de carrera. *Tesis Doctoral*. Universidade da Coruña.
191. Tuimil, J.L. & Rodríguez F.A. (2000). Effects of equated continuous and interval training on running velocity at maximal aerobic speed and on its time to exhaustion. In: Avela J., Komi P.V., Komulainen J. (eds.). Proceedings of the 5th Annual Congress of the European College of Sport Science. 751. Jyväskylä: ECSS, University of Jyväskylä.
192. Tuimil J.L. & Rodríguez F.A. (2001). *Effect of two types of interval training on maximal aerobic speed and on time to exhaustion*. In: Mester J., King G., Strüder H., Tsalakidis E., Osterburg A. (eds.), Book of Abstracts of the 6th Annual Congress of the European College of Sport Science & 15th Congress of the German Society of Sport Science, 660. Cologne: ECSS, Sport und Buch Strauss.
193. Tuimil J.L. & Rodríguez F.A. (2003). La velocidad aeróbica máxima de carrera (VAM): Concepto, evaluación y entrenamiento. *Revista del Entrenamiento Deportivo*. 17 (1).
194. Van Ingen Schenau, G.J. (1982). The influence of air friction in speed skating. *Journal of Biomechanics*. 15, 449 - 458.
195. Van Ingen Schenau, G.J., de Groot, G. & Hollander, A.P. (1983). Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*. 50 (3), 343 - 54.
196. Van Ingen Schenau, G.J., de Groot, G. & de Boer, R.W. (1985). The control of speed in elite female speed skaters. *Journal of Biomechanics*. 18, 91 - 96.

197. Van Ingen Schenau, G.J., de Boer, R.W., & de Groot, G. (1987). On the technique of speed skating. *International Journal of Sports Biomechanics*. 3, 419 - 431.
198. Van Ingen Schenau, G.J., de Boer, R.W., Geijssel, J.S., & de Groot, G. (1988). Supramaximal test results of male and female speed skaters with particular reference to methodological problems. *European Journal of Applied Physiology*. 57, 6 - 9.
199. Van Ingen Schenau, G.J., Bakkwe, F.C., de Groot, G., & de Koning, J.J. (1992). Supramaximal cycle test do not detect seasonal progression in performance in groups of elite speed skaters. *European Journal of Applied Physiology*. 64, 119 - 134.
200. Van Horne, S., & Stefanyshyn, D.J. (2005). Potential method of optimizing the klapskate hinge position in speed skating. *Journal Applied Biomechanics*. 21 (3), 211 - 222.
201. Voronov, A.V., Lavrozsky, E.K., & Zatsiorsky, V.M. (1995). Modelling of rational variants of the speed-skating technique. *Journal of Sport Sciences*. 13, 153 - 170.
202. Vorbridge (2012). <http://www.vorbridge.com/>
203. Ward, M.P., Milledge, J.S., & West, J.B. (1995). *High altitude medicine and physiology*. 2^a. Ed. Londres: Chapman an Hall Medical.
204. Wasserman, K., & McIlroy, M.B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal of Cardiology*. 14, 844 - 852.
205. Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Casaburi, R., & Whipp, B.J. (1999). *Principles of exercise testing and interpretation*. 3rd ed. Philadelphia: Lea and Febiger.
206. Wells, C.L., & Pate, R.R. (1988). *Training for performance of prolonged exercise*, In: Lamb, D., & Murry, R., (Eds.). *Perspectives in*

- exercise science and sports medicine, vol 1: prolonged exercise. Indiana: Benchmark Press, 1988.
207. Weltman, A., Snead, D., Seip, R., Schurrer, R., Weltman, J., Ruttand, R., & Rogol, A. (1990), Percentages of maximal heart rate, heart ratereserve and VO2max for determining endurance training intensity in male runners. *International Journal of Sports Medicine*. 11, 218 – 222.
208. Wilber, R.L., Zawadzki, K.M., Kearney, J.T., Shannon, M.P. & Disalvo, D. (1997). Physiological profiles of elite off-road and road cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 29, 1090 – 1094.
209. Williams, J.H, Barnes, W.S., & Signorile, J.F. (1988). A constant-load ergometer for measuring peak power output and fatigue. *Journal of Applied Physiology*. 65, 2343 – 2348.
210. Würch, A. (1974). La femme et le sport. *Mèdicine Sportive*. París, 5 (1).
211. Yuda, J., Yuki, M., Aoyanagi, T., Fujii, N., & Ae, M. (2007). Kinematic Analysis of the Technique for Elite Male Long-Distance Speed Skaters in Curving. *Journal of Applied Biomechanics*. 23, 128 - 138.
212. Yuhasz, M.S. (1962). The effects of sports training on body fat in man with prediction of optimal body weight. *Tesis Doctoral*. Urbana, University of Illinois.
213. Zapalo III, P.P. (1999). Desing and Validation of a Multi-Stage Skating Specific Test to Predict Aerobic Power in Competitive Figure Skaters. *Doctoral Thesis*, Faculty of Kinesiology Calgary, Alberta.
214. Zhou, S., & Weston, S.B. (1997). Reliability of using the D-max method to define physiological responses to incremental exercise testing. *Physiological Measurements*. 18, 145 – 54.
215. Zuiker, T.P. (2014). The effects of different speed skating push-off techniques on the mechanical power, power distribution and energy expenditure. *Master Thesis*, Delft University of Technology, Netherlands.

11

Anexos

11. Anexos.

11.1. Tabla Test Incremental para la determinación de la VAM_p.

Tab.11.1. Tiempos de paso, distancias y velocidades del test incremental para la determinación de la VAM_p.

<i>Distancia</i>		<i>Distancia</i>		<i>Distancia</i>		<i>Distancia</i>	
<i>m</i>	<i>Tiempo</i>	<i>m</i>	<i>Tiempo</i>	<i>m</i>	<i>Tiempo</i>	<i>m</i>	<i>Tiempo</i>
<i>Velocidad</i>	<i>min/s/ds</i>	<i>Velocidad</i>	<i>min/s/ds</i>	<i>Velocidad</i>	<i>min/s/ds</i>	<i>Velocidad</i>	<i>min/s/ds</i>
<i>km·h⁻¹</i>		<i>km·h⁻¹</i>		<i>km·h⁻¹</i>		<i>km·h⁻¹</i>	
0-50 15	12''	100	24''	150	36''	200	48''
250 16	60''	300	1'11''25	350	1'22''50	400	1'33''75
450	1'45''	500 17	1'56''25	550	2'07''06	600	2'17''64
650	2'28''22	700	2'38''80	750	2'49''38	800 18	2'59''96
850	3'10''01	900	3'20''01	950	3'30''01	1000	3'40''01
1050	3'50''01	1100 19	4'00''00	1150	4'09''47	1200	4'18''94
1250	4'28''41	1300	4'37''88	1350	4'47''35	1400 20	4'56''82
1450	5'05''98	1500	5'14''98	1550	5'23''98	1600	5'32''98
1650	5'41''98	1700	5'50''98	1750 21	5'59''98	1800	6'08''55
1850	6'17''12	1900	6'25''69	1950	6'34''26	2000	6'42''83
2050	6'51''40	2100 22	6'59''97	2150	7'08''29	2200	7'16''47
2250	7'24''65	2300	7'32''83	2350	7'41''01	2400	7'49''19
2450 23	7'57''37	2500	8'05''30	2550	8'13''12	2600	8'20''94
2650	8'28''76	2700	8'36''58	2750	8'44''40	2800	8'52''22
2850 24	9'00''03	2900	9'07''53	2950	9'15''03	3000	9'22''53
3050	9'30''03	3100	9'37''53	3150	9'45''03	3200	9'52''53
3250 25	10'00''02	3300	10'07''22	3350	10'14''42	3400	10'21''62
3450	10'28''82	3500	10'36''02	3550	10'43''22	3600	10'50''42
3650 26	10'57''62	3700	11'04''63	3750	11'11''55	3800	11'18''47
3850	11'25''39	3900	11'32''31	3950	11'39''23	4000	11'46''15
4050	11'53''07	4100 27	12'00''00	4150	12'06''66	4200	12'13''32
4250	12'19''98	4300	12'26''64	4350	12'33''30	4400	12'39''96
4450	12'46''62	4500	12'53''28	4550 28	12'59''94	4600	13'06''36

II Anexos

4650	13'12''78	4700	13'19''20	4750	13'25''62	4800	13'32''04
4850	13'38''46	4900	13'44''88	4950	13'51''30	5000 29	13'57''72
5050	14'03''99	5100	14'10''19	5150	14'16''39	5200	14'22''59
5250	14'28''79	5300	14'34''99	5350	14'41''19	5400	14'47''39
5450	14'53''59	5500 30	14'59''79	5550	15'05''80	5600	15'11''80
5650	15'17''80	5700	15'23''80	5750	15'29''80	5800	15'35''80
5850	15'41''80	5900	15'47''80	5950	15'53''80	6000 31	15'59''80
6050	16'05''60	6100	16'11''60	6150	16'17''20	6200	16'23''00
6250	16'28''80	6300	16'34''60	6350	16'40''40	6400	16'46''20
6450	16'52''00	6500 32	16'57''80	6550	17'03''48	6600	17'09''10
6650	17'14''62	6700	17'20''34	6750	17'25''96	6800	17'31''58
6850	17'37''20	6900	17'42''82	6950	17'48''44	7000	17'54''06
7050 33	17'59''68	7100	18'05''11	7150	18'10''56	7200	18'16''01
7250	18'21''46	7300	18'26''91	7350	18'32''36	7400	18'37''81
7450	18'43''26	7500	18'48''71	7550	18'54''16	7600 34	18'59''61
7650	19'04''91	7700	19'10''20	7750	19'15''49	7800	19'20''78
7850	19'26''07	7900	19'31''36	7950	19'36''65	8000	19'41''94
8050	19'47''23	8100	19'52''52	8150 35	19'57''81	8200	20'03''01
8250	20'08''15	8300	20'13''29	8350	20'18''43	8400	20'23''57
8450	20'28''71	8500	20'33''85	8550	20'38''99	8600	20'44''13
8650	20'49''27	8700	20'54''41	8750 36	20'59''55	8800	21'04''56
8850	21'09''56	8900	21'14''56	8950	21'19''56	9000	21'24''56
9050	21'29''56	9100	21'34''56	9150	21'39''56	9200	21'44''56
9250	21'49''56	9300	21'54''56	9350 37	21'59''56	9400	22'04''43
9450	22'09''29	9500	22'14''15	9550	22'19''01	9600	22'23''87
9650	22'28''73	9700	22'33''59	9750	22'38''45	9800	22'43''31
9850	22'48''17	9900	22'53''03	9950 38	22'57''89	10000	23'02''67
10050	23'07''40	10100	23'12''13	10150	23'16''86	10200	23'21''59
10250	23'26''32	10300	23'31''05	10350	23'35''78	10400	23'40''51
10450	23'45''24	10500	23'49''97	10550	23'54''70	10600 39	23'59''43
10650	24'04''05	10700	24'08''66	10750	24'13''27	10800	24'17''88

II Anexos

10850	24'22''49	10900	24'27''10	10950	24'31''71	11000	24'36''32
11050	24'40''93	11100	24'45''54	11150	24'50''15	11200	24'54''76
11250 40	24'59''37	11300	25'03''88	11350	25'08''38	11400	25'12''88
11450	25'17''38	11500	25'21''88	11550	25'26''38	11600	25'30''88
11650	25'35''38	11700	25'39''88	11750	25'44''38	11800	25'48''88
11850	25'53''38	11900 41	25'57''88	11950	26'02''32	12000	26'06''71
12050	26'11''10	12100	26'15''49	12150	26'19''88	12200	26'24''27
12250	26'28''66	12300	26'33''05	12350	26'37''44	12400	26'41''83
12450	26'46''22	12500	26'50''61	12550	26'55''00	12600 42	26'59''39
12650	27'03''68	12700	27'07''96	12750	27'12''24	12800	27'16''52
12850	27'20''80	12900	27'25''08	12950	27'29''36	13000	27'33''64
13050	27'37''92	13100	27'42''20	13150	27'46''48	13200	27'50''76
13250	27'55''04	13300 43	27'59''32	13350	28'03''51	13400	28'07''69
13450	28'11''87	13500	28'16''05	13550	28'20''23	13600	28'24''41
13650	28'28''59	13700	28'32''77	13750	28'36''95	13800	28'41''13
13850	28'45''31	13900	28'49''49	13950	28'53''67	14000 44	28'57''85
14050	29'01''98	14100	29'06''07	14150	29'10''16	14200	29'14''25
14250	29'18''34	14300	29'22''43	14350	29'26''52	14400	29'30''61
14450	29'34''70	14500	29'38''79	14550	29'42''88	14600	29'46''97
14650	29'51''06	14700	29'55''15	14750 45	29'59''24	14800	30'03''25
14850	30'07''25	14900	30'11''25	14950	30'15''25	15000	30'19''25
15050	30'23''25	15100	30'27''25	15150	30'31''25	15200	30'35''25
15250	30'39''25	15300	30'43''25	15350	30'47''25	15400	30'51''25
15450	30'55''25	15500 46	30'59''25	15550	31'03''21	15600	31'07''11
15650	31'11''02	15700	31'14''93	15750	31'18''84	15800	31'22''75
15850	31'26''66	15900	31'30''57	15950	31'34''48	16000	31'38''39
16050	31'42''30	16100	31'46''21	16150	31'50''12	16200	31'54''03
16250 47	31'57''94	16300	32'01''80	16350	32'05''62	16400	32'09''44
16450	32'13''26	16500	32'17''08	16550	32'20''90	16600	32'24''72
16650	32'28''54	16700	32'32''36	16750	32'36''18	16800	32'40''00
16850	32'43''82	16900	32'47''64	16950	32'51''46	17000	32'55''28

II Anexos

17050 48	32°59'10"	17100	33°02'86"	17150	33°06'61"	17200	33°10'36"
17250	33°14'11"	17300	33°17'86"	17350	33°21'61"	17400	33°25'36"
17450	33°29'11"	17500	33°32'86"	17550	33°36'61"	17600	33°40'36"
17650	33°44'11"	17700	33°47'86"	17750	33°51'61"	17800	33°55'36"
17850 49	33°59'11"	17900	34°02'79"	17950	34°06'46"	18000	34°10'13"
