



UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE ENFERMERÍA – EDUCACIÓN FÍSICA Y
DEPORTIVA

TESIS DOCTORAL

“ANÁLISIS VENTILATORIO DE LA PARTICIPACIÓN
RELATIVA DEL METABOLISMO AERÓBICO Y ANAERÓBICO
EN NIÑOS”

DIRECTORES:

Dr. D. JOSÉ NARANJO ORELLANA

Dr. D. RAFAEL GUIADO BARRILAO

Dr. D. CARLOS DE TERESA GALVÁN

LAURA M^a GUERRERO ALMEIDA

GRANADA 2007

INSTITUCIONES



UNIVERSIDAD DE GRANADA

**DEPARTAMENTO DE ENFERMERÍA –
EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA**



**CENTRO ANDALUZ DE MEDICINA
DEL DEPORTE**

DEDICATORIAS
γ
AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, hermana y familia.
Por todo vuestro cariño y apoyo.*

Con todo mi amor, para ti abuela.

Este trabajo está dedicado a todos los niños y niñas que por algún motivo no pueden jugar ni reír, y con especial cariño y dedicación a aquellos para los que el juego y el deporte se convierten en una necesidad...

Me gustaría mostrar mi más sincero agradecimiento:

A mis directores y compañeros en este maravilloso camino, Pepe, Rafael y Carlos. No se como expresar en un par de líneas mi gratitud por todo lo que he recibido de vosotros, así que, simplemente os doy las gracias por haberme permitido aprender y trabajar a vuestro lado. Sin el apoyo, la confianza, el cariño y la paciencia que he recibido de cada uno de vosotros no hubiese podido terminar, y este trabajo significa para mí algo más que una Tesis...GRACIAS.

A todas las personas que trabajan o han trabajado en el Centro Andaluz de Medicina del Deporte en Sevilla, en especial a Pepe, M^a Dolores, Paco, Ramón, Amelia, Marisa, Encarna, Covadonga, Rosi, Rosario, Inma, Ruth, Javier, Fernando... por vuestra colaboración desinteresada, el trato que he recibido, la sonrisa que siempre lleváis cargada de ánimo y apoyo, y por hacerme sentir una más, gracias.

A Carmen Adamuz, por permitir que llevase a cabo este proyecto en el CAMD, y por formar parte de él.

Al Departamento de Enfermería de la Universidad de Granada, por la colaboración y ayuda prestada en todo momento, por la agilidad y eficiencia en los trámites burocráticos que se han necesitado.

A todas las personas y centros que han colaborado para llevar a cabo la fase experimental y han hecho posible este trabajo, especialmente a las personas del Colegio Público Purísima Concepción, al profesor y compañero Julio Rueda; a los entrenadores de los equipos de fútbol de La Algaba y por supuesto a “sus niños y niñas”, que nos han hecho reír cada tarde. A Enrique y todas las personas del Colegio Nuestra Señora del Rosario que han participado, especialmente a los niños, niñas y padres. A mi gran amiga M^a del Mar, por colaborar desde el club de patinaje “El Paraguas”.

A todos mis compañeros de trabajo que han seguido este proceso de cerca y de los que he recibido el apoyo profesional y sobre todo personal necesario para poder iniciarme en la

docencia y formarme como persona. Os quiero, gracias por todo lo que me habéis aportado.

Al Departamento de Educación Física y Deporte de la Facultad de Ciencias de la Educación, de la Universidad de Sevilla, a todos mis compañeros por el apoyo y cariño que he recibido, que tanta falta me ha hecho en esta última fase; y a los que además me habéis formado, este trabajo en parte es vuestro también.

A Santiago Romero y José Sanchís, gracias por confiar en mí, apoyarme y haberme dado la oportunidad de formar parte de vuestro equipo.

A mis profesores de Fisiología del Ejercicio Físico, Luís Miguel López Mojares, Alejandro Lucía y Margarita Pérez Ruiz, por compartir vuestros conocimientos con nosotros, animarme y aconsejarme “que estudiara más fisiología en un futuro”...

A María, por todo tu cariño, apoyo, entrega y generosidad. Espero que celebremos este trabajo por tierras lejanas y nos acordemos de todos los planes que hemos hecho.

A mis amigos y amigas que siempre estáis conmigo, gracias por haber confiado en mí, acompañarme, apoyarme, cuidarme, y quererme tanto.

A todos los niños, niñas, padres y madres que han participado en este proyecto, por su interés, disposición, simpatía y generosidad. Sin vosotros no se hubiese podido hacer.

LISTA ABREVIATURAS UTILIZADAS

ATP: adenosintrifosfato.
AK: adenilatokinasa.
CAMD: Centro Andaluz de Medicina del Deporte.
CATf: carnitina-acetil transferasa.
CK: creatinkinasa.
CP: fosfocreatina.
CPT: carnitina palmitoiltransferasa.
CPK: creatina fosfokinasa.
CS: citrato sintasa.
D.S.: desviación estándar.
E.C.G.: electrocardiograma.
F: sexo femenino.
FC: frecuencia cardiaca (s.p.min).
FC_{max}: frecuencia cardiaca máxima (s.p.min).
FC UA: frecuencia cardiaca en el umbral anaeróbico (s.p.min).
Fru-2, 6-P₂: fructosa 2, 6-difosfato.
GLUT: proteína transportadora de glucosa.
GOT: glutamato oxalacetato transaminasa.
HBDH: hidroxibutirato deshidrogenasa.
HK: hexokinasa.
ICDH: NADP-isocitrato deshidrogenasa.
I.D.: número de historia.
kg: kilogramo.
km: kilómetro.
L o l: litro.
ml: mililitro ($1 \cdot 10^{-3}$ L).
LADH: lipoamido deshidrogenasa.
LDH: lactato deshidrogenasa.
M-LDH: isoforma M de la enzima LDH.
MK: malatokinasa.
H-LDH: isoforma H de la enzima LDH.
m: metro.

cm: centímetros ($1 \cdot 10^{-2}$ m).

cm³: centímetros cúbicos.

min.: minuto.

MLSS: máximo estado estable de lactato.

mmol: milimol ($1 \cdot 10^{-3}$ Mol).

mmol/kg: milimol relativo a la masa corporal (kg).

mmol/L: milimol relativo al volumen (L).

mmol/W: milimol relativo a la potencia (W).

M: sexo masculino.

MDH: malato deshidrogenasa.

OGDH: 2-oxoglutarato deshidrogenasa.

p: valor de p (t- Student).

P: potencia (W).

P_{max}: potencia máxima (W).

P_{max}/kg: potencia máxima relativa a la masa corporal (W/kg).

P_{pico}: potencia pico (W).

P_{UA}: potencia en el umbral anaeróbico (W).

P_{etCO₂}: presión de dióxido de carbono al final de la espiración (mmHg).

PFK: fosfofructokinasa.

PHI: hexosa fosfato isomerasa.

PK: piruvatokinasa.

RER: tasa de intercambio respiratorio.

RQ: cociente respiratorio.

r.p.m.: revoluciones por minuto.

SDH: succinato deshidrogenasa.

s.p.min: sístoles por minuto.

STMP: potencia muscular de corta duración.

TPDH: triosa fosfato deshidrogenasa.

UA: umbral anaeróbico.

VCO₂: producción de dióxido de carbono (L/min).

VE: ventilación (L/min).

VE_{max}: ventilación máxima (L/min).

VEO₂: equivalente ventilatorio de oxígeno.

VECO₂: equivalente ventilatorio de dióxido de carbono.

VT₂: segundo umbral ventilatorio.

VT/VD Est: espacio muerto fisiológico estimado.

VO₂: consumo de oxígeno (L/min).

VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno (L/min).

VO_{2pico}: pico de consumo de oxígeno (L/min).

VO_{2/kg}: consumo de oxígeno relativo a la masa corporal (ml/kg/min).

VO_{2max/kg}: consumo máximo de oxígeno relativo a la masa corporal (ml/kg/min).

VO_{2pico/kg}: pico de consumo de oxígeno relativo a la masa corporal (ml/kg/min).

VO_{2/kg UA}: consumo de oxígeno relativo a la masa corporal en el umbral anaeróbico (ml/kg/min).

W: vatio.

ÍNDICE

Dedicatorias y agradecimientos	3
Lista de abreviaturas utilizadas	8
Índice	12
1. INTRODUCCIÓN.	19
1.1. Breve reseña histórica de los orígenes de la Fisiología del Ejercicio Físico, en referencia al metabolismo energético.	20
1.2. Crecimiento y metabolismo.	23
1.3. Ejercicio y crecimiento.	28
1.3.1. Ejercicio de alta intensidad y corta duración y tiempo de recuperación.	30
1.4. Metabolismo aeróbico.	32
1.5. Metabolismo anaeróbico.	35
1.6. Problemas metodológicos asociados a la medición de la población infantil.	44
1.7. Planteamiento de la duda.	49
1.7.1. Metabolismo fetal.	50
1.8. ¿Tiene realmente base científica el argumento de la “inmadurez anaeróbica láctica” en la población infantil?	57
1.8.1. Análisis comparativo de los estudios tradicionales.	57
1.8.2. Análisis de estudios que relacionan la potencia muscular anaeróbica y los valores de lactato sanguíneo y muscular en la población infantil.	58
1.8.3. Análisis de estudios enzimáticos.	61
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.	69
2.1. Objetivos.	70
2.2. Hipótesis.	71
3. MÉTODO.	72
3.1. Muestra.	73
3.1.1. Selección de la muestra y distribución de los grupos.	73
3.2. Material e instrumental.	75
3.2.1. Instalación.	75
3.2.2. Instrumental.	75
3.2.2.1. Características sujetos. Antropometría.	75
3.2.2.2. Reconocimiento médico.	76
3.2.2.3. Prueba de esfuerzo.	76

3.2.2.3.1.	Ergómetro.	76
3.2.2.3.2.	Análisis ventilatorio.	76
3.2.2.3.3.	Determinación del umbral ventilatorio VT ₂ .	76
3.2.2.3.4.	Determinación de la frecuencia cardiaca.	76
3.2.2.3.5.	Determinación de la concentración de lactato sanguíneo.	77
3.2.2.4.	Material desechable.	77
3.3.	Diseño.	77
3.4.	Variables.	78
3.4.1.	Variables independientes.	78
3.4.2.	Variables dependientes.	78
3.4.3.	Variables contaminadoras o extrañas. Control experimental.	79
3.5.	Procedimiento.	80
3.5.1.	Distribución de las sesiones de trabajo.	80
3.5.2.	Prueba de esfuerzo.	80
3.5.3.	Protocolo.	80
3.6.	Análisis estadístico.	81
4.	RESULTADOS.	82
4.1.	Antropometría y características generales de la muestra.	83
4.1.1.	Datos antropométricos de la muestra.	84
4.1.2.	Características individuales generales de la muestra (sexo, número de historia (I.D.), edad, peso, talla y actividad física).	89
4.2.	Datos de la prueba de esfuerzo.	94
4.2.1.	Datos de VO ₂ relativo a la masa corporal (VO ₂ /kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	95
4.2.2.	Datos de VO ₂ relativo a la masa corporal (VO ₂ /kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	98
4.2.3.	Datos de VO ₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	101
4.2.4.	Datos de VO ₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	104
4.2.5.	Datos de VCO ₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	107
4.2.6.	Datos de VCO ₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	110
4.2.7.	Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	113

4.2.8. Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	116
4.2.9. Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo masculino.	119
4.2.10. Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo femenino.	122
4.2.11. Datos de presiones de CO ₂ al final de la espiración (PetCO ₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo masculino.	125
4.2.12. Datos de presiones de CO ₂ al final de la espiración (PetCO ₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo femenino.	128
4.2.13. Datos del equivalente ventilatorio de O ₂ (VEO ₂) por edades en la muestra de sexo masculino.	131
4.2.14. Datos del equivalente ventilatorio de O ₂ (VEO ₂) por edades en la muestra de sexo femenino.	134
4.2.15. Datos del equivalente ventilatorio de CO ₂ (VECO ₂) por edades en la muestra de sexo masculino.	137
4.2.16. Datos del equivalente ventilatorio de CO ₂ (VECO ₂) por edades en la muestra de sexo femenino.	140
4.2.17. Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo masculino.	143
4.2.18. Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo femenino.	146
4.2.19. Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo masculino.	149
4.2.20. Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo femenino.	152
4.3. Estadística de los datos de la prueba de esfuerzo.	155
4.4. Estudio de las relaciones particulares de VE vs VCO ₂ y FC vs VO ₂ /kg.	159
4.4.1. Estudio de las relaciones particulares de VE vs VCO ₂ .	160
4.4.2. Estudio de las relaciones particulares de FC vs VO ₂ /kg.	164
4.5. Datos máximos y en el umbral anaeróbico de la prueba de esfuerzo.	168
4.5.1. Valores de VO _{2pico} /kg, VO _{2pico} /kg en el umbral anaeróbico (VO _{2pico} /kg UA) y su porcentaje en la muestra de sexo masculino.	169
4.5.2. Valores de VO _{2pico} /kg, VO _{2pico} /kg en el umbral anaeróbico (VO _{2pico} /kg UA) y su porcentaje en la muestra de sexo femenino.	171
4.5.3. Comparación entre sexos del VO _{2pico} /kg y VO _{2pico} /kg UA en toda la muestra.	173
4.5.4. Valores de la potencia pico (P _{pico}), potencia pico en el umbral anaeróbico (P _{pico} UA), el porcentaje y potencia relativa a la masa corporal (W/kg) en la muestra de sexo masculino.	175

4.5.5. Valores de la potencia pico (P_{pico}), potencia pico en el umbral anaeróbico (P_{pico} UA), el porcentaje y potencia relativa a la masa corporal (W/kg) en la muestra de sexo femenino.	177
4.5.6. Comparación entre sexos de la P_{pico} , P_{pico} UA y P_{pico}/kg en toda la muestra.	180
4.5.7. Valores de la FC pico (FC_{pico}), FC pico en el umbral anaeróbico (FC_{pico} UA) y su porcentaje en la muestra de sexo masculino.	182
4.5.8. Valores de la FC pico (FC_{pico}), FC pico en el umbral anaeróbico (FC_{pico} UA) y su porcentaje en la muestra de sexo femenino.	184
4.5.9. Comparación entre sexos de la FC_{pico} y la FC_{pico} UA en toda la muestra.	186
4.5.10. Valores de lactato sanguíneo final y relativo a la potencia (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo masculino.	188
4.5.11. Valores de lactato sanguíneo final y relativo a la potencia (mmol/W) y masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo femenino.	192
4.5.12. Comparación entre sexos de la concentración de lactato sanguíneo final (mmol/L), y relativo a la potencia pico (mmol/W) y masa corporal (mmol/kg) en toda la muestra.	196
4.6. Estadística de los datos máximos y en el umbral anaeróbico de la prueba de esfuerzo.	201
4.7. Estudio comparativo de datos obtenidos de lactato en la muestra de esta investigación y una muestra de hombres atletas (ciclistas y triatletas) adultos varones.	205
4.7.1. Datos antropométricos, VO_{2pico} absoluto y relativo, P_{pico} , lactato final y relativo a la masa corporal y potencia desarrollada en adultos y muestra de niños y niñas de esta investigación.	206
4.7.2. Lactato final (mmol/L) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.	208
4.7.3. Lactato sanguíneo final relativo a la masa corporal (mmol/kg) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.	212
4.7.4. Lactato sanguíneo final relativo a la potencia pico desarrollada (mmol/W) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.	214
5. DISCUSIÓN.	216
5.1. Muestra.	217
5.2. Protocolo.	222
5.2.1. Análisis del protocolo de ejercicio.	222
5.2.2. Criterios de maximalidad de la prueba de esfuerzo.	223

5.3. Parámetros de la prueba de esfuerzo.	227
5.3.1. Consumo de oxígeno relativo a la masa corporal “VO₂/kg” (ml/kg/min).	227
5.3.2. Consumo de oxígeno absoluto “VO₂” (L/min).	228
5.3.3. Producción de CO₂ “VCO₂” (L/min).	228
5.3.4. Ventilación “VE” (L/min).	229
5.3.5. Espacio muerto fisiológico estimado “VD/Vt Est”.	229
5.3.6. Presión de CO₂ al final de la espiración “Pet CO₂” (mmHg).	230
5.3.7. Tasa de intercambio respiratorio “RER”.	230
5.3.8. Equivalente ventilatorio de O₂ “VEO₂”.	231
5.3.9. Equivalente ventilatorio de CO₂ “VECO₂”.	231
5.3.10. Frecuencia cardiaca “FC” (s.p.min).	231
5.4. Relación particular de la ventilación y la producción de CO₂: VE vs. VCO₂.	233
5.5. Relación particular de la frecuencia cardiaca y el consumo de O₂ relativo a la masa corporal: FC vs. VO₂/kg.	234
5.6. Datos máximos y en el umbral anaeróbico de la prueba de esfuerzo.	235
5.6.1. Valores máximos y en el umbral anaeróbico de VO₂pico/kg.	235
5.6.2. Valores máximos, en el umbral anaeróbico y relativos a la masa corporal (P_{pico}, P_{UA} y P_{pico}/kg).	236
5.6.3. Valores pico y en el umbral anaeróbico de la frecuencia cardiaca (FC_{pico} y FC_{pico} UA).	242
5.6.4. Valores de las concentraciones de lactato sanguíneo al final de la prueba de esfuerzo.	243
5.7. Estudio comparativo de los valores de las concentraciones de lactato sanguíneo en la población infantil analizada en este trabajo comparada con un grupo sujetos atletas (ciclistas y triatletas) de sexo masculino.	248
5.8. Análisis de los estudios que inspiraron la teoría de “la inmadurez anaeróbica glucolítica en la población infantil”.	250
5.9. Interpretación de los estudios enzimáticos y relación con los resultados obtenidos en este trabajo.	257
6. CONCLUSIONES.	261
7. PERSPECTIVAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.	266
8. REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS.	268
9. ÍNDICE DE TABLAS.	283

10. ÍNDICE DE FIGURAS.	288
11. ANEXOS.	293
11. 1. Anexo 1: Consentimiento para la realización de la prueba de esfuerzo.	294
11.2. Anexo 2: Cuestionario de antecedentes médicos.	296

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Breve reseña histórica de los orígenes de la Fisiología del Ejercicio Físico, en referencia al metabolismo energético.

La primera referencia bibliográfica, de la que tenemos constancia sobre el crecimiento y desarrollo, se encuentra en los tratados y ensayos de Galeno (131-210 a.C.), considerado uno de los primeros fisiólogos orientados al laboratorio¹. Sus ideas tuvieron gran influencia en los orígenes de los “tiempos modernos” de la Fisiología del Ejercicio Físico desde el Renacimiento hasta el periodo del descubrimiento científico en Europa. Así, Jerónimo Mercurial influenciado por él publica, entre otras obras, “Arte Gimnástico”, provocando una gran repercusión en la literatura posterior sobre el ejercicio y la salud en Europa y América en el siglo XIX. Sin embargo, la obra del andaluz Cristóbal Méndez “Libro del ejercicio corporal y de sus provechos”, escrito en 1553, citado por Álvarez et al², representa el primer trabajo que habla del ejercicio corporal de forma separada al contexto educativo o médico, en el que se entiende el ejercicio físico como una terapia para curar males, restablecedora y como prevención ante ciertas enfermedades.

Estados Unidos impulsó desde comienzos de 1800 la Fisiología del Ejercicio Físico con temas referentes a la nutrición y alimentación, el ejercicio y el entrenamiento y la salud e higiene personal. Grandes médicos fisiólogos americanos han contribuido a la literatura científica de la Fisiología del Ejercicio Físico, como Austin Flint Jr, que incluyó en su libro de 1877 numerosos detalles sobre el ejercicio como la influencia de la actividad muscular sobre la respiración. Flint citó los trabajos experimentales de los médicos y fisiólogos europeos más relevantes de la época, como a Claude Bernard, Justis von Liebig, Edward Pflüger, Carl von Voit, así como las importantes aportaciones al metabolismo de Antoine Lavoisier¹. Unos años más tarde, en 1892, George Wells Fitz montó el primer laboratorio formal de Fisiología del Ejercicio en el que se investigó los efectos del ejercicio sobre la función respiratoria, la fatiga muscular, el metabolismo y las funciones del sistema nervioso¹. El Laboratorio de Fatiga de Harvard, en 1927, legitimó la Fisiología del Ejercicio Físico como un área importante de investigación y estudio¹.

En el Laboratorio de Nutrición del Carnegie Institute de Washington D.C., establecido en 1904, se iniciaron los experimentos en nutrición y metabolismo energético y en 1913, se publica el primer estudio que aborda el trabajo muscular y el metabolismo durante el ejercicio en hombres adultos como “máquina”³. En 1948, J.M. Tanner publicó en el *Journal of Applied Physiology* su trabajo sobre las expresiones en forma de cocientes de los datos fisiológicos con referencia al tamaño y función corporal¹. En esa época, se realizan numerosos estudios sobre los efectos del entrenamiento físico en hombres jóvenes^{4,5}.

De forma paralela a Estados Unidos, los países nórdicos también tuvieron una gran influencia en la evolución de la Fisiología del Ejercicio Físico, siendo la Universidad de Copenhague su sede. Los catedráticos Johannes Lindhard y August Krogh investigaron el intercambio de gases en los pulmones, así como iniciaron los estudios sobre la contribución relativa de la oxidación de las grasas y los hidratos de carbono durante el ejercicio, entre otros temas. Krogh, que fue Premio Nobel en 1920, publicó en 1919 en la revista *Journal of Physiology* artículos sobre los mecanismos de difusión y el transporte de oxígeno en los músculos esqueléticos. Otros investigadores daneses importantes, como Erling Asmussen, Erik Hohwü-Christensen y Marius Nielsen realizaron numerosas investigaciones entre los años 1930 y 1970 referentes al metabolismo muscular en adultos, en parte, gracias a los experimentos desarrollados a mediados de los años 60 por los suecos Jonas Bergström y Eric Hultman con agujas de biopsia, que permite estudiar el músculo en condiciones de ejercicio y entrenamiento. En 1936, Christensen, junto con Krogh y Lindhard publican un importante trabajo sobre la dinámica fisiológica durante el ejercicio máximo, y con J.W. Hansen utilizan el consumo de oxígeno y el cociente respiratorio para describir los efectos de la alimentación, el nivel de entrenamiento y la intensidad y duración del ejercicio sobre la utilización de los hidratos de carbono y las grasas¹. Olé Bang, citado por McArdle¹, en 1936 describió el destino del lactato sanguíneo durante el ejercicio de distintas intensidades y duraciones en hombres. Unos años más tarde, a principios de los 60, Per-Olof Åstrand, publica, junto a otros autores, trabajos relacionados con la capacidad aeróbica durante el ejercicio en adultos⁶ y con el lactato sanguíneo después de un ejercicio prolongado también en adultos⁷. Los estudios realizados en la década de los

60, hablaban a favor de un incremento en la capacidad aeróbica máxima, en personas adultas, con el entrenamiento, siendo los valores muy variables según los autores. Una década más tarde, se desarrollaron numerosos trabajos que medían el metabolismo muscular, la dinámica de acumulación de lactato en condiciones de ejercicio, así como los efectos del entrenamiento físico sobre la capacidad anaeróbica en hombres y mujeres^{8,9,10,11}.

En la actualidad, la participación de las distintas vías metabólicas que tienen lugar durante el ejercicio en adultos, es un tema extensamente estudiado. Sin embargo, el interés por el estudio de la respuesta fisiológica de los niños al ejercicio ha sido menor comparado con el suscitado por la población adulta. A pesar de ello, existen numerosos trabajos dedicados a la población infantil en el campo de la Fisiología del Ejercicio Físico, pero nuestro interés se va a centrar en aquellos orientados al estudio de la participación de las distintas vías metabólicas durante el ejercicio. Todavía en la actualidad, la literatura al respecto es escasa y en ocasiones contradictoria. Uno de los problemas comunes que siempre ha perseguido a la población infantil, y que a menudo es la cabecera de numerosos trabajos, son los problemas éticos y metodológicos que entraña la utilizando de técnicas invasivas para determinar aspectos fundamentales en el estudio de las vías metabólicas (componentes enzimáticos y sustratos musculares), que ha llevado a tener que adaptar tests utilizados en adultos para medir la potencia y capacidad anaeróbica, como son el test de salto vertical, el test anaeróbico de Wingate, el test en carrera de 50 yardas...Esto, unido a la utilización de distintos protocolos de entrenamiento, la pequeña muestra poblacional generalmente utilizada en estos trabajos (ente otros aspectos que más adelante se van a especificar), hace que comparar los datos que la literatura ofrece de la respuesta al ejercicio en adultos con los niños, sin tener en cuenta aspectos tan fundamentales como la diferencia de fuerza y el desarrollo y madurez del sistema neuromuscular de la musculatura esquelética, a nuestro juicio no sea lo más adecuado.

1.2. Crecimiento y metabolismo.

Las características metabólicas durante el ejercicio en la etapa del crecimiento, es un tema que actualmente sigue siendo contradictorio y no existen todavía estudios concluyentes al respecto. Son numerosos los autores^{12,13,14,15,16,17,18} que han descrito, desde el inicio de su estudio, cambios en las vías metabólicas oxidativas y glucolíticas durante el crecimiento, señalando la etapa prepuberal como un periodo en el que no hay una especialización metabólica ni aeróbica ni anaeróbica¹⁸, pero muchos autores coinciden en que, en esta etapa, los niños están mejor adaptados para realizar ejercicios de tipo aeróbico, y existe una inmadurez de las vías anaeróbicas glucolíticas, que impide desarrollar el mismo rendimiento que los adolescentes y adultos, en ejercicios de carácter anaeróbico. Esta idea sólidamente aceptada de las características metabólicas en la etapa prepuberal, se apoya en distintos argumentos. El primero de ellos, hace referencia a las bajas concentraciones de lactato sanguíneo encontradas en niños comparadas con las de adolescentes y adultos. Siguiendo la revisión realizada por Eriksson¹⁹, el primer autor en estudiar en detalle el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), la ventilación máxima (VE_{max}), la frecuencia cardiaca máxima (FC_{max}), y la concentración de lactato sanguíneo durante un ejercicio máximo en niños de distintas edades, es Sid Robinson¹² con su trabajo realizado en 1938. Entre otras aportaciones, una de las que ha tenido mayor trascendencia e importancia es la referente a los valores menores de lactato sanguíneo obtenidos después de realizar un ejercicio (submáximo o máximo) en niños comparados con adultos. Según Bar-Or²⁰, “esta es la primera publicación que sugiere indirectamente que la tasa de glucólisis anaeróbica en los niños es deficiente comparada con la de los adultos”. Otro autor, de gran relevancia, que ha trabajado en esta línea y ha sentado posteriormente la base para otras investigaciones en el campo de la Fisiología del Ejercicio Físico durante el crecimiento, es Per Olof Åstrand²¹, cuya tesis doctoral, presentada en 1952, evaluaba la capacidad de trabajo físico de hombres y mujeres entre 4 y 33 años y en la que también se observan valores más bajos de lactato sanguíneo tras el ejercicio en niños comparados con los adultos. Este trabajo ha tenido una gran repercusión en el ámbito de la Fisiología del Ejercicio Físico durante el crecimiento y creó una línea de investigación tan importante que aún hoy siguen vigentes gran parte de las ideas o conclusiones relacionadas con la

implicación de las vías metabólicas en el crecimiento. Algunos fisiólogos tan destacados como Bengt Saltin, Bengt O. Eriksson, Philip D. Gollnick y Jan Karlsson, entre otros, son los seguidores de esta línea creada por Åstrand, y creadores de las ideas, actualmente vigentes, sobre la participación de las distintas vías energéticas durante el ejercicio en niños.

Posteriormente, se han realizado estudios^{22,23,24,25} que han confirmado estos resultados obtenidos por Robinson¹² y Åstrand²¹. Aunque existen a su vez, diversas publicaciones^{16,26,27,28,29} contradictorias referentes a la concentración de lactato sanguíneo, tanto en ejercicio submáximo como máximo, en relación con la edad.

Paralelamente, se han formulado diversas teorías acerca de las posibles causas que explican los menores valores de lactato obtenidos durante el ejercicio en el crecimiento. Algunos autores, como Tanaka y Shindo²⁵, en 1985 apuntan como posible causa de estos menores valores en niños, una menor formación de lactato durante el crecimiento. El grupo de investigación de los años 70 formado por Saltin, Eriksson, Karlsson et al, señalan por un lado, un déficit de oxígeno menor en respuesta al ejercicio³⁰ y por otro lado, una actividad menor de la enzima fosfofructoquinasa (PFK), limitante de la glucólisis, lo que significa que los niños tendrían una menor capacidad glucolítica³¹. Por otro lado, Hebestreit et al³², en 1998, observaron que el déficit de oxígeno entre niños varones (9 a 12 años) y hombres (19 a 27 años), era similar tras realizar varios ejercicios en cicloergómetro a altas intensidades. A su vez, los estudios enzimáticos existentes que miden la acción de la PFK en niños son muy escasos, de dudosa fiabilidad metodológica y muestran resultados contradictorios. Por tanto, debemos poner en duda la afirmación de la inmadurez de las vías anaeróbicas glucolíticas, basada en la menor formación de lactato en los niños, en el menor déficit de oxígeno y en la baja actividad de enzimas limitantes de la glucólisis como la PFK.

Otro de los argumentos que han ayudado a crear la base de la teoría sobre la participación de las distintas vías metabólicas durante el crecimiento, se refiere a las diferencias que existen, entre niños y adultos, en la utilización de los distintos sustratos metabólicos durante el ejercicio. Robinson¹² en su trabajo, describió un incremento

gradual en el cociente respiratorio (RQ) en sujetos varones, que andaban a 5,6 km/h, desde la edad de 6 años hasta la edad adulta. Martínez y Haymes³³ en 1992, muestran una tasa de intercambio respiratorio (RER) menor durante el ejercicio en niñas de 8 a 10 años, comparadas con mujeres de 20 a 32 años. Foricher et al³⁴ en 2003, estudian la utilización de sustratos de 14 niños varones prepúberes y 13 hombres adultos, todos ellos entrenados, durante 1 hora de ejercicio en cicloergómetro al 40 y 60% de la potencia aeróbica máxima (VO_{2max}), concluyendo que la utilización relativa de carbohidratos fue menor en los niños comparados con los adultos y además, los niños utilizaron más lípidos que los adultos. Aunque, en el estudio realizado por Timmons et al³⁵ en 2003, se muestra que la tasa de oxidación de carbohidratos exógenos en 12 niños varones de $9,8 \pm 0,1$ años durante un ejercicio en cicloergómetro de 60 minutos de duración al 70% del pico de consumo de oxígeno (VO_{2pico}), fue significativamente mayor y además supuso un aporte de energía total superior que en 10 hombres adultos de $22,1 \pm 0,5$ años. Los autores sugirieron que “la mayor implicación de los carbohidratos exógenos en niños debía ser importante para preservar el combustible endógeno y debía estar relacionado con el estatus puberal”.

Por otro lado, Bell et al³⁶ en 1980, señalan que los niños poseen un depósito de grasa mayor en la musculatura y un consumo de glucógeno menor comparados con los adultos. Eriksson et al³¹, muestran una actividad mayor de la enzima succinato-deshidrogenasa (SDH) en el músculo esquelético en niños de 11 años comparado con adultos sedentarios.

En resumen, estos autores establecen la idea de que los niños, durante el ejercicio, utilizan principalmente un metabolismo oxidativo basado en la degradación de los lípidos, y por tanto la tasa de utilización de los hidratos de carbono va aumentando con el crecimiento hasta alcanzar la edad adulta. Por lo que se establece que la población infantil presenta una mayor capacidad respiratoria en los músculos locomotores y una capacidad anaeróbica glucolítica deficiente.

Tanaka y Shindo²⁵ señalan que los niños prepuberales y puberales muestran un mayor umbral anaeróbico comparados con sujetos sedentarios (>18 años) y valores

similares a jóvenes entrenados de 16 años. Estos valores más altos del umbral anaeróbico, presentes en niños, se ha relacionado con una acción menor de la hormona testosterona sobre los músculos esqueléticos de la población infantil prepuberal, de forma que un aumento de dicha hormona durante el crecimiento, especialmente en la pubertad, aumentaría la capacidad glucolítica de la musculatura, como se ha observado en animales, al incrementar la proporción de fibras rápidas en el músculo esquelético³⁷ y los niveles musculares de la enzima fosforilasa³⁸, limitante de la glucogénesis. Por tanto, la pubertad, que tiene lugar durante la segunda década de vida, sería un periodo crítico o clave para los cambios en el metabolismo energético, para este y otros autores^{39,40}.

En resumen, a juzgar por todo lo aportado hasta ahora, durante el crecimiento se deben producir cambios en el metabolismo, pasando de una mayor implicación del metabolismo oxidativo (debido a la mayor concentración de enzimas oxidativas, a la mayor utilización de lípidos durante el ejercicio, al valor más alto del umbral anaeróbico en los niños...) a una mayor implicación de las vías anaeróbicas glucolíticas, relacionadas, por otra parte, con el nivel de maduración sexual (la producción de testosterona) que provocarían el desarrollo y maduración de esta vía metabólica, llegando a producir valores similares de lactato sanguíneo a los observados en sujetos adultos.

En este sentido, se llevaron a cabo algunas investigaciones con el fin de aclarar si existía una relación entre la producción de lactato muscular, con el nivel de maduración sexual y la producción de testosterona. Beneke et al⁴¹, en 1996, estudian el máximo estado estable de lactato (MLSS) en 34 sujetos varones entre 11 y 20 años, al realizar una prueba de esfuerzo máxima y varias submáximas, con determinación de lactato sanguíneo capilar. Se mostró que el máximo estado estable de lactato era independiente de la edad, pero la carga absoluta de trabajo en el máximo estado estable de lactato aumentaba con la edad. Este resultado, contradice las teorías propuestas por los estudios anteriores, que hablan de la maduración de las vías anaeróbicas glucolíticas con la edad, y según Van Praagh et al⁴² “la evidencia que sugiere un vínculo causal entre la habilidad de generar lactato durante el ejercicio y la maduración sexual es

débil”. Además, cada vez son más los autores que tienen en cuenta los factores neuromusculares, entre otros, más que los cambios en las distintas vías metabólicas, para dar una explicación a las diferencias en la respuesta al ejercicio de la población infantil comparada con la adulta.

Estas ideas y argumentos sobre las características metabólicas durante el crecimiento, están ampliamente aceptadas y es común encontrarlas en gran parte de la literatura tanto en el campo de la Fisiología del Ejercicio Físico, como en el ámbito de la Educación Física y el entrenamiento deportivo en la población infantil, siendo muy pocos los autores, como es el caso de Beneke et al⁴¹, entre otros, los que las ponen en duda.

1.3. Ejercicio y crecimiento.

Durante el crecimiento y la maduración, el estudio del ejercicio de muy corta duración y alta intensidad, no ha recibido por parte de los investigadores la misma atención que el estudio de la función aeróbica⁴². Esto choca con el tipo de actividades y juegos que desarrollan los niños de forma natural y espontánea, que suelen ser ejercicios de alta intensidad y corta duración, más que actividades de media o baja intensidad y larga duración. Así lo describe Bailey et al⁴³, en el trabajo de observación que realizan en el año 1995, donde encuentran que las actividades de baja y media intensidad, llevadas a cabo por niños de 6 a 10 años, tienen una duración media de 6 segundos, y 3 segundos las de alta intensidad.

Este planteamiento inicial, lo contemplan desde hace algunos años, diversos autores, entre los que se encuentran Ratel et al⁴⁴, Armstrong et al⁴⁵, De Ste Croix et al⁴⁶, Martin et al⁴⁷ y Van Praagh et al⁴² (que realizan una revisión muy exhaustiva sobre la potencia muscular de corta duración durante el crecimiento) entre otros.

Esta situación paradójica tiene varios motivos. Uno de ellos se debe a que el VO_{2max} , se ha considerado como un parámetro de medida de la forma física relacionado con la salud en los adultos, y se ha establecido que el ejercicio de carácter aeróbico, tiene numerosos beneficios y previene enfermedades cardiovasculares y metabólicas, por lo tanto, ha habido un intento de establecer este tipo de actividad desde la niñez. Por otro lado, actualmente se realizan mediciones directas del VO_{2max} en laboratorio sin dificultad, y estos protocolos se han adaptado a la población infantil. Sin embargo, el ejercicio de corta duración y alta intensidad, es decir, el ejercicio de tipo anaeróbico, se ha relacionado más con el rendimiento deportivo en los adultos, y esto se ha trasladado a la población infantil. A este hecho, se suma por un lado, la dificultad que existe para medir la producción de energía de las vías anaeróbicas durante un ejercicio máximo, y por otro lado, los problemas éticos y metodológicos que entraña la utilización de técnicas invasivas, en niños y adolescentes⁴². Por tanto, los investigadores en este campo, se han centrado en medir la potencia muscular de corta duración (STMP) mediante tests estandarizados, más que en medir el aporte energético⁴². Según Van

Praagh et al⁴², los tests en cicloergómetro, son los más comunes, aunque no existe un test ideal, y debemos conocer las limitaciones que presenta cada uno.

Siguiendo a este autor, en su trabajo se define la potencia muscular como “la habilidad del sistema neuromuscular para producir el mayor impulso posible en un periodo de tiempo”. Y la potencia muscular de corta duración o potencia pico (P_{pico}), como “la mayor potencia mecánica que puede ser desarrollada durante un ejercicio de hasta 30 segundos de duración”⁴². Habría que puntualizar, que los niños, por un lado, poseen un sistema nervioso inmaduro, y por otro lado, no están tan capacitados como los adultos para someterse a condiciones de estrés, sobre todo en un laboratorio.

Los estudios que han medido la potencia anaeróbica desarrollada mediante tests anaeróbicos (Test Anaeróbico de Wingate, Margaria...) coinciden todos en la progresión o aumento del rendimiento (potencia pico y potencia media alcanzadas) con la edad⁴⁰. Ante estos resultados, junto con las concentraciones más bajas de lactato sanguíneo, que frecuentemente se suelen encontrar en los niños al finalizar estos tests anaeróbicos, la interpretación que frecuentemente se suele hacer, es que los niños presentan limitaciones en su habilidad para desarrollar energía a través de las vías anaeróbicas glucolíticas. Williams⁴⁸ en 1997, añade al respecto, que para explicar las diferencias de rendimiento entre niños y adultos, se alude frecuentemente a las diferencias musculares cualitativas más que a las cuantitativas, pero que no existe alguna investigación que aclare este hecho. Gaul et al²³, comparan el rendimiento anaeróbico de 18 niños de 11 y 12 años y 19 hombres adultos usando un test en cicloergómetro máximo de 90 segundos. Los adultos alcanzaron valores superiores tanto de potencia como de concentración de lactato sanguíneo, en valores absolutos y relativos a la masa corporal. Doré et al⁴⁹, en 2000, estudian en qué medida las características antropométricas influyen en el desarrollo de la potencia pico de pedaleo durante el crecimiento. Tras someter a 506 sujetos varones de 7,5 a 18 años a tres sprints máximos en cicloergómetro, midiendo la potencia pico alcanzada, observan que las características antropométricas (masa magra y volumen magro de la pierna) aumentan significativamente con la edad hasta los 16 años, ocurriendo el mismo patrón con la potencia pico. Los autores concluyen que, aunque la masa magra y la edad contribuyen

en un 92,2% en la P_{pico} , se deben considerar cambios cualitativos de la función muscular durante la maduración. En esta línea, Martin et al⁵⁰ en 2003, señalan que “cuando las características antropométricas son controladas (volumen magro de la pierna, longitud de la pierna y porcentaje de grasa corporal), la potencia pico y sus dos componentes (velocidad óptima y fuerza óptima) todavía aumentan con la edad. Esto indica que deben considerarse otros factores de naturaleza cualitativa al determinar la potencia pico, la velocidad óptima y la fuerza óptima”.

1.3.1. Ejercicio de alta intensidad y corta duración, y tiempo de recuperación.

Otro de los temas que ha causado una gran controversia y ha apoyado durante algunos años la teoría de la inmadurez anaeróbica en los niños, ha sido la cuestión acerca de las diferencias que presentan los niños y adultos en la habilidad para recuperarse de un ejercicio de alta intensidad. Está generalmente aceptado que la recuperación después de un ejercicio corto de alta intensidad, en la población infantil se produce más rápidamente que en los adultos. Esto se ha demostrado en distintos trabajos siguiendo protocolos diferentes^{51,52,53,54}, y la interpretación que frecuentemente se le ha dado, ha sido que los niños prepúberes deben tener una actividad muscular glucolítica menor, una capacidad muscular oxidativa superior, alcanzando una resíntesis de fosfocreatina (PC) más rápida, en comparación a los adultos⁵⁴. Sin embargo, Hebestreit et al⁵¹, en 1993, apuntan la posibilidad de que los niños eliminen de una forma más rápida los metabolitos después del ejercicio que los adultos. Tres años más tarde, Hebestreit et al⁵², observan que la recuperación de la concentración de electrolitos plasmáticos y el volumen plasmático, comienza antes en 5 sujetos varones prepúberes (primer minuto) que en los hombres adultos de 24,9 años (tercer minuto) tras realizar un test anaeróbico de Wingate.

A modo de resumen, se puede decir que la potencia muscular de corta duración y alta intensidad es un aspecto fundamental de la capacidad física de los niños⁴². Numerosos autores están de acuerdo en que ésta aumenta con la edad, estableciendo que las diferencias existentes en el rendimiento entre niños y adultos, se deben principalmente a una actividad muscular glucolítica más baja en los niños, aunque no existen datos concluyentes que lo demuestren, y los argumentos que aportan (concentración de lactato sanguíneo...) son discutibles. Debido a los problemas éticos y metodológicos que supone realizar mediciones del aporte energético de las vías glucolíticas, las investigaciones han estado enfocadas al estudio del rendimiento anaeróbico utilizando para ello, tests en cicloergómetro principalmente. Van Praagh et al⁴², señala que la potencia muscular de corta duración y el rendimiento anaeróbico, están cuantitativamente influenciadas por diversos factores como la edad, el sexo y el entrenamiento y determinadas también por variables mecánicas y biológicas innatas. Además, estudios más recientes muestran que estas diferencias en el rendimiento entre niños y adultos se atribuyen especialmente a factores que dependen de la talla (tamaño muscular) y factores independientes de la talla (genéticos, hormonales).

1.4. Metabolismo aeróbico.

Åstrand²¹ en 1952, citado por Eriksson et al³⁰, describe que “la potencia aeróbica en niños es la misma o mayor, expresada por kilo de peso corporal que en adultos”. En 1972, Eriksson¹⁹, hace una revisión de todos los trabajos que miden la respuesta al ejercicio submáximo y máximo en niños, empezando por el trabajo de Robinson¹² en 1938. Según Eriksson, el trabajo de Åstrand²¹ es uno de los más fiables, ya que realiza un estudio sistemático de varios pasos de la ruta del oxígeno.

A partir de esta aportación realizada por Åstrand²¹ comienzan una serie de estudios encaminados a medir los efectos del entrenamiento sobre la capacidad aeróbica en la población infantil. Actualmente, está aceptado que los niños y niñas durante el ejercicio, implican más las vías metabólicas oxidativas, por tanto poseen un metabolismo aeróbico más activo que el glucolítico.

El parámetro que se ha utilizado comúnmente, para medir el rendimiento de la capacidad aeróbica y la forma física es el VO_{2max} . Krahenbuhl et al⁵⁵ definen la potencia aeróbica máxima como “la tasa mayor de oxígeno consumido por el cuerpo en un periodo de tiempo dado durante el ejercicio involucrando una porción significativa de la masa muscular”. El VO_{2max} ha sido extensamente estudiado, tanto por su papel limitador de la capacidad de desarrollar tareas aeróbicas, como por haberse considerado el mejor índice de salud relacionado con la forma física⁵⁵. Los estudios realizados con adultos han demostrado que no es un parámetro que pueda mejorar tanto como otros en la etapa adulta, de ahí la importancia de desarrollar este parámetro lo máximo posible durante la infancia, lo que ha llevado a realizar numerosos estudios con ese objetivo.

Las variaciones del VO_{2max} se relacionan con la edad cronológica⁵⁶. En valores absolutos, el VO_{2max} , aumenta durante el crecimiento. Los datos proporcionados por McArdle⁵⁶, referentes a estudios longitudinales, hablan de un aumento del VO_{2max} absoluto en la población infantil de sexo masculino desde 1.0 L/min a los 6 años, hasta 3,2 L/min a los 16 años. Sin embargo en la población infantil de sexo femenino, el VO_{2max} absoluto, alcanza un pico a los 14 años de edad y desciende con la edad.

Respecto a los valores relativos, al expresar el VO_{2max} en relación al peso, los valores permanecen constantes entre los 6 y 16 años, a unos 53 ml/kg/min, en la población infantil de sexo masculino, sin embargo el comportamiento de este parámetro en la población infantil de sexo femenino es distinto, descendiendo gradualmente desde unos 52 ml/kg/min a los 6 años, hasta 40,5 ml/kg/min a los 16 años. Esta diferencia entre sexos se explica habitualmente con la acumulación mayor de grasa en las mujeres⁵⁶.

Todas estas premisas han hecho que durante la historia, los estudios en el campo de la Fisiología del Ejercicio Físico en la población infantil, se hayan centrado en medir los efectos del entrenamiento sobre la potencia aeróbica máxima, creando las teorías vigentes en la actualidad sobre la mayor implicación de las vías metabólicas oxidativas frente a la inmadurez de las vías energéticas glucolíticas, durante el ejercicio en la población infantil.

Sin embargo, al analizar estos trabajos que encuentran un aumento del VO_{2max} con el entrenamiento aeróbico en la población infantil, vemos que los porcentajes de aumento no sobrepasan el 10% en la mayoría de los estudios, alcanzando en otros el 15%. En una revisión realizada por Pate y Ward⁵⁷ en 1990, encuentran en niños prepúberes un aumento medio del VO_{2max} del 10,4% en niños entrenados y un promedio de incremento del 2,7% en los grupos control. Mientras que en la población adolescente, en grupos entrenados se observó un incremento promedio del 14,4%, sin cambios significativos en los grupos control.

Wirth et al⁵⁸, en 1978, aportan valores del incremento del VO_{2max} un 11% más altos que en otros estudios, como resultado del entrenamiento regular de natación en 51 niños y jóvenes entre 8 y 18 años.

Obert et al⁵⁹, realizan en 2003 un estudio en el que participan 35 niños entre 10 y 11 años. Un grupo de 19 (10 niñas y 9 niños) se someten a un entrenamiento de 13 semanas (3 horas a la semana, a una intensidad de más del 80% de la FC_{max}) y los 16 restantes (7 niñas y 9 niños) forman un grupo control. Los resultados muestran un incremento del VO_{2max} en niños del 15% y del 8% en niñas.

Ante esta disparidad de datos, es importante obtener información basada en la evidencia. En este sentido, Baquet et al⁶⁰, realiza en 2003 un metaanálisis de 51 estudios, de los que finalmente quedan 22, en el que se analizan las adaptaciones inducidas por el entrenamiento en el trabajo aeróbico en niños. La principal conclusión de este estudio con respecto al VO_{2max} , es que la mejora media alcanza valores del 8 al 10% en los estudios que pretendían efectos significativos del entrenamiento y tan sólo era del 5% en los demás.

Por tanto, si aceptamos que un metaanálisis es la herramienta mas rigurosa para resolver situaciones como esta, debemos concluir que no existe base científica suficiente para defender una mejora sustancial del VO_{2max} en los niños con relación al entrenamiento aeróbico, idea apoyada por otros autores⁶¹, que afirman que el entrenamiento tampoco tendría efectos sobre el VO_{2max} durante la pubertad.

1.5. Metabolismo anaeróbico.

Robinson¹², en 1938, fue el primero en estudiar este tema en detalle. En su trabajo midió la concentración de lactato sanguíneo, además de la potencia aeróbica máxima, parámetros ventilatorios y cardiovasculares, durante un ejercicio máximo en niños de diferentes edades. A partir de entonces, y paralelamente a los trabajos que se fueron desarrollando en adultos, tanto sobre la capacidad aeróbica, como en el análisis enzimático y funcional de la musculatura esquelética, se iniciaron estudios en niños y niñas con el propósito de comparar las respuestas al ejercicio entre los dos grupos de edad.

Åstrand²¹ en 1952, publicó uno de los trabajos más importantes por las repercusiones que ha tenido posteriormente en el establecimiento de algunas ideas actuales sobre las diferencias metabólicas entre niños y adultos, y en concreto, sobre la idea de “la inmadurez de la vía anaeróbica glucolítica”. Este trabajo inspiró a muchos científicos a seguir esta línea de investigación, y de él se han obtenido conclusiones que han sentado posteriormente una base de trabajo y de pensamiento en el campo de la Fisiología del Ejercicio Físico aplicada a los niños y en la Educación Física escolar, entre ellas, encontramos que “la potencia aeróbica es la misma o mayor en niños expresada por kilo de masa corporal que en adultos” y que “la concentración de lactato sanguíneo en ejercicio submáximo y máximo es menor en niños sedentarios comparados con adultos sedentarios y entrenados”.

Otros autores en las décadas de los 50 y 60, se centraron en determinar la capacidad de trabajo físico en niños con mediciones en cicloergómetro a cargas submáximas⁶², y en estudiar la relación entre la capacidad aeróbica y las respuestas cardiorrespiratorias a la actividad moderada en niños de 11 años, a través de determinaciones de la potencia máxima aeróbica y anaeróbica⁶³.

Estos trabajos, junto al realizado por Danforth y Lyon⁶⁴ en 1964, sirvieron posteriormente a otros autores para argumentar que la causa de la supuesta “inmadurez de la vía anaeróbica glucolítica en niños” podría deberse a una menor actividad de la

enzima PFK. Los autores, basándose en un estudio anterior⁶⁵ (en el que se medían las enzimas fosforilasa y PFK en el músculo sartorio de una rana) señalaron que la actividad de la enzima PFK era limitante de la glucólisis cuando el músculo ejecutaba entre 18 y 60 contracciones por minuto. Este trabajo, describía la activación de la fosforilasa y el control de la rápida tasa glucolítica en la musculatura caudofemoral de ratón durante una contracción tetánica, llegando a la conclusión de que cuando la musculatura llegaba a fatigarse, ambas reacciones de la fosforilasa y PFK reducían su actividad.

Gracias a estas aportaciones y a la introducción en 1962 de la técnica de biopsias de aguja, se iniciaron durante los años 70 una serie de estudios que han marcado hasta la actualidad la base del pensamiento acerca de la función muscular, actividad enzimática y metabolismo muscular durante el ejercicio en niños. Estos trabajos se desarrollaron paralelamente a los ya iniciados en los años 60, pero que tuvieron su auge durante los 70, sobre el entrenamiento físico, actividad enzimática y la composición de la musculatura esquelética en adultos^{8,9,10,11}, con el fin de determinar las causas y establecer las supuestas diferencias que parecían existir entre niños y adultos durante el ejercicio.

En 1971, Eriksson, Grimby y Saltin⁶⁶, realizaron un trabajo en el que se obtuvieron, por primera vez, mediciones directas del gasto cardíaco durante el ejercicio en niños, y se detallaba la función cardiovascular. Eriksson, Karlsson y Saltin³⁰ ese mismo año, basándose en las aportaciones mencionadas de Astrand²¹, iniciaron un estudio con el objetivo de recoger información acerca de la respuesta metabólica en niños durante el ejercicio. Así, tras someter a ocho niños sanos de 13,6 años a un ejercicio gradual máximo en cicloergómetro, realizar biopsias musculares y tomar muestras de lactato sanguíneo, observaron que la concentración máxima de lactato muscular al final de la prueba fue de 11,3 mmol/kg. En el trabajo no se mostraron las concentraciones de lactato sanguíneo. Se encontró que los niños con mayores valores de lactato muscular eran los que tenían los mayores volúmenes testiculares (que variaban de 5,3 a 15,8 cm³). La explicación que los autores dieron a las menores concentraciones de lactato muscular obtenidas, fue una menor producción de lactato. Esto, unido a la

relación encontrada entre la máxima concentración de lactato muscular y el índice de volumen testicular, hizo sugerir que la maduración sexual jugaba un papel importante.

De estos dos trabajos^{30,66}, los autores sugirieron que existían diferencias definidas tanto cardiovasculares como en el metabolismo muscular entre adultos y niños.

Eriksson, Gollnick y Saltin³¹ dan un paso más en este sentido y siguiendo los hallazgos de los estudios in vitro de Danforth y Lyon⁶⁴, llevaron a cabo un nuevo trabajo con dos intenciones. La primera, fue determinar los efectos del entrenamiento en el metabolismo de la musculatura esquelética en ocho niños de 11 a 13 años. Los resultados fueron que la concentración de glucógeno, fosfocreatina y adenosintrifosfato (ATP) en reposo aumentó, y la concentración de lactato sanguíneo y muscular fue un 23 y 56% mayor al finalizar el ejercicio tras el periodo de entrenamiento. Y la segunda, analizar la actividad enzimática tanto aeróbica (SDH), como anaeróbica (PFK), antes y después de un periodo de entrenamiento, en cinco niños y compararlas con las obtenidas por Gollnick et al.⁶⁷ en adultos anteriormente. Tras el entrenamiento, la actividad de las enzimas SDH y PFK aumentó un 30 y 83% respectivamente. Los valores obtenidos de la enzima PFK en estos niños antes del periodo de entrenamiento, según los autores fueron de 2,5 a 3 veces inferiores que los obtenidos en adultos. La conclusión final de los autores fue que tuvieron lugar adaptaciones locales en la musculatura esquelética de estos niños después del entrenamiento, y que aunque muchos de estos cambios fueron similares a los ocurridos en adultos y animales, existieron algunas diferencias. Por último, apuntaron que se debía investigar más el aumento observado de la capacidad glucolítica como consecuencia del entrenamiento durante el crecimiento.

En 1972, Eriksson publicó su trabajo "*Physical training, oxygen supply and muscle metabolism in 11-13-year old boys*"¹⁹, basado en cinco estudios, entre los que se encuentran el citado anteriormente. Hay que destacar la importancia de esta obra, ya que recoge aspectos sobre la respuesta al ejercicio de individuos jóvenes y los efectos del entrenamiento físico comparándolos con los correspondientes trabajos realizados en adultos. El objetivo del estudio, fue seguir la ruta del oxígeno desde el aire externo hasta

el metabolismo celular muscular y analizar el metabolismo anaeróbico muscular. Los datos recogidos de los cinco estudios fueron:

1. La adaptación de la ventilación, intercambio gaseoso y circulación central durante el ejercicio submáximo y máximo.
2. La estructura fibrilar de la musculatura esquelética, actividad enzimática y aporte de energía anaeróbica durante el ejercicio.
3. La relación entre las diferentes dimensiones corporales y la capacidad funcional individual; y
4. la manera en la cual esas diferentes funciones son afectadas por un periodo de entrenamiento físico.

Respecto a la producción de energía anaeróbica, Eriksson dio una explicación, por primera vez hasta entonces, a los resultados obtenidos anteriormente referentes a este tema. Sobre la capacidad anaeróbica aláctica de los niños, señaló que era similar a la observada en adultos y que poseían similares concentraciones de ATP y PC en reposo. Sin embargo, apuntó que la capacidad anaeróbica láctica, si fue más baja que la mostrada normalmente por adultos. Según los resultados, las concentraciones de lactato sanguíneo y muscular tanto en ejercicio submáximo como máximo en niños, fueron menores, y se relacionó bien con las medidas del déficit de oxígeno. Así, los valores máximos obtenidos, antes del entrenamiento, para el déficit de oxígeno, lactato sanguíneo y muscular fueron, 1,48 L, 8,0 mmol/L, y 8,8 mmol/kg respectivamente. Después del entrenamiento, se produjo un incremento de estos valores máximos, que fueron 1,64 L, 9,5 mmol/L y 13,7 mmol/kg, respectivamente. Estos resultados, el autor los interpretó diciendo que “el aumento de la concentración de lactato muscular, sin cambios en el lactato sanguíneo al finalizar el ejercicio, demostró un aumento del metabolismo láctico en otros tejidos o un incremento del metabolismo del lactato en la célula muscular”. Esto, según el autor fue apoyado por el incremento de la capacidad oxidativa de las fibras tipo I.

Eriksson¹⁹, recoge en su trabajo varias reflexiones, que se habían planteado acerca de las posibles razones que explicaban estas diferencias en las concentraciones de lactato sanguíneo y muscular entre los niños y adultos. Por un lado, una habilidad

reducida para generar lactato. Por otro, una tasa mayor del metabolismo intra y extramuscular y por último, un nivel de dilución mayor, debido a un contenido total de agua superior. Entre la opción de la capacidad reducida para formar lactato y un metabolismo más rápido, el autor, señaló la primera causa como la más probable, basado en que la enzima limitante de la glucólisis (PFK), mostró una actividad de un 40% del valor observado en adultos. Por tanto, la actividad menor de la enzima PFK fue la explicación para la menor capacidad anaeróbica láctica de los niños. Sin embargo, respecto a los factores envueltos en su desarrollo, se sabía muy poco, y estaban basados en los resultados obtenidos de cinco niños, que tras seis semanas de entrenamiento, aumentaron su actividad un 83%. Ante este resultado, se sugirió que “el entrenamiento físico debía jugar un importante papel”.

Otro factor, que se apuntó como ayuda a esta hipótesis, fue la capacidad más baja que poseían los niños para realizar un trabajo supramáximo.

En 1980, Eriksson²⁷ señaló de nuevo esta idea.

Por tanto, la supuesta “inmadurez del metabolismo anaeróbico láctico”, debido a una actividad menor de la enzima PFK, como explicación a los valores más bajos de lactato sanguíneo y muscular encontrados en niños comparados con los valores obtenidos en adultos al realizar un ejercicio submáximo o máximo, frente a un metabolismo aeróbico más activo, unido a una utilización mayor de ácidos grasos como sustrato energético durante el desarrollo del ejercicio en estos, ha sido aceptada desde entonces como una teoría válida, por numerosos profesionales tanto del ámbito de la Fisiología del Ejercicio Físico, como por educadores y especialistas en la Educación Física y el Deporte.

Desde entonces, se han venido realizando hasta la actualidad numerosos trabajos que podemos clasificar en tres grandes grupos. El primero, lo forman un gran número de estudios^{22,23,24,25,28,52,54}, basados en medir la potencia y capacidad anaeróbica en niños mediante tests adaptados de adultos, como son los tests en cicloergómetro (Test Anaeróbico de Wingate), test de salto vertical...En los que se comparan tanto las

respuestas fisiológicas al ejercicio (VO_{2max} , la concentración de lactato sanguíneo...) como el rendimiento conseguido (potencia) en la prueba entre niños y, adolescentes y adultos, sin considerar, en algunas ocasiones, las diferencias de fuerza muscular y maduración neuromotora (entre otras características) que existen entre las distintas edades.

El segundo grupo de trabajos, lo constituyen los que utilizan técnicas invasivas (biopsias musculares) con el fin de obtener una información más fiable y real del metabolismo muscular en los niños y así, poder compararlos con los adultos. Para ello, estos estudios se centran en el análisis de la actividad enzimática, la estructura fibrilar y los sustratos musculares tanto en reposo como en ejercicio, y los efectos del entrenamiento físico sobre estos parámetros, en la musculatura esquelética durante el crecimiento.

Fueron los estudios enzimáticos de Gollnick et al⁶⁷ y Eriksson et al³¹, los que establecieron que los niños mostraban unos valores de la enzima PFK en la musculatura esquelética, tres veces menor a los valores encontrados en adultos, y que, sin embargo, la actividad de la enzima SDH, no sufría alteraciones significativas con la edad. A partir de entonces, se iniciaron una serie de estudios, unos encaminados en demostrar esta teoría, otros, contrarios a ella, pero la realidad es que todavía hoy no se conoce con exactitud lo que ocurre en la célula muscular durante el ejercicio en niños.

El último estudio enzimático que hemos encontrado, está publicado en el año 2005, por Kaczor et al⁶⁸, y pone de manifiesto el desacuerdo que todavía existe acerca del efecto de la edad en la capacidad enzimática de la musculatura esquelética, en particular, durante el crecimiento y maduración desde la infancia a la edad adulta.

En este estudio⁶⁸, se parte de la premisa de que “la menor capacidad enzimática glucolítica en la población infantil debe conducir a una disminuida potencia anaeróbica”. Esta idea, la fundamentan con un grupo de estudios enzimáticos. En unos, se encuentran valores de PFK tres veces menores en la población infantil comparados con los adultos y una actividad enzimática, sin cambios significativos, de la SDH por la

edad^{31,67}. Y en otros, se obtienen por un lado, una menor actividad enzimática anaeróbica glucolítica en niños [PFK, lactato deshidrogenasa (LDH)] y por otro lado, una mayor actividad enzimática aeróbica (SDH, fumarasa) comparada con la obtenida en adultos jóvenes^{31,69}. Sin embargo, existen datos contradictorios a estos, en los que se demuestra una actividad similar de las enzimas PFK, LDH y citratosintasa (CS) en niños comparados con adultos⁷⁰.

El objetivo de este trabajo⁶⁸, fue examinar los efectos de la edad en la capacidad enzimática de enzimas anaeróbicas no glucolíticas, como la creatinquinasa (CK) y adenilatocinasa (AK), además de la actividad de la enzima LDH, de un transportador de lípidos mitocondrial, la carnitina palmitoiltransferasa (CPT), y de la enzima oxidativa 2-oxoglutarato deshidrogenasa (OGDH).

Para Kaczor et al⁶⁸, el interés por el análisis de las enzimas oxidativas (CPT y OGDH) fue debido a que el efecto de la madurez sobre la actividad máxima de las enzimas aeróbicas, no estaba claro y no existían estudios anteriores con mediciones de las enzimas OGDH (considerada la enzima limitante del ciclo del ácido tricarbóxico o Ciclo de Krebs) y CPT en niños comparados con adultos. Para ello, se realizaron biopsias del músculo abdominal oblicuo interno de pacientes operados de hernias. La muestra la formaron 32 sujetos sedentarios, de edades comprendidas entre los 3 y 54 años. De los cuales, 20 eran niños (3-11 años) y 12 adultos (29-54 años).

Los resultados de los datos enzimáticos mostraron que los valores de las enzimas LDH, AK, CK y OGDH fueron mayores en los adultos que en los niños, no hubo diferencias significativas en la máxima actividad de la enzima CPT entre niños y adultos, siendo los valores en niños ligeramente inferiores. La media del contenido proteico total fue un 21% menor en los niños ($p < 0,005$). Sin embargo, al expresar la actividad de estas enzimas relativas al contenido proteico total, no hubo grandes diferencias significativas entre niños y adultos, solo la enzima LDH permaneció significativamente diferente, siendo de 3 a 5 veces menor en niños ($p < 0,0001$).

Los autores⁶⁸ concluyeron el trabajo diciendo que “la actividad de las enzimas anaeróbicas CK, AK, y LDH en niños fueron menores que en adultos. Ese menor rendimiento anaeróbico en niños comparado con los adultos debía ser causa de una

menor masa muscular, un menor contenido proteico, o un menor porcentaje de fibras rápidas musculares. Sin embargo, la menor actividad estadísticamente significativa de LDH parece ser el mejor factor del descenso del rendimiento anaeróbico. La actividad de OGDH medida en los sujetos (niños) fue ligeramente menor y la actividad de la CPT fue similar en niños comparados con adultos”, pero cuando se relativizan los datos al contenido proteico total, no hubo diferencias significativas. La tasa de CPT/LDH fue mucho mayor en niños y la tasa de CPT/OGDH tendió a ser mayor. Por tanto, para ellos, “estos resultados apoyaban la idea de que los niños poseían una menor capacidad enzimática glucolítica y una mayor habilidad para oxidar lípidos durante el ejercicio. Sin embargo, los mecanismos que subyacen las diferencias enzimáticas aportados aquí entre niños y adultos no estaban claros”.

El tercer tipo de estudios, se centra en los aspectos de desarrollo de la potencia aeróbica máxima en los niños. Desde la aportación de Åstrand²¹ sobre la potencia aeróbica en niños, han sido muchos los que han seguido esta idea y la han apoyado. Eriksson¹⁹ incluso llegó a plantear si en los niños, el entrenamiento físico, podría incrementar su capacidad de transporte de oxígeno más rápidamente que en los adultos. Al comprobar que tras un periodo de entrenamiento de 4 meses, los niños habían incrementado su VO_{2max} relativo a la masa corporal un 14%, y los valores de incremento que se habían observado en adultos eran entre un 10 y un 20%, se llegó a la conclusión de que el proceso de crecimiento no hacía a los niños más receptivos a la influencia del entrenamiento. Por tanto, la hipótesis entonces planteada por Eriksson, basada en la idea de que los niños debían incrementar su VO_{2max} más que los adultos, no se confirmó. Existen numerosos estudios que han aportado datos acerca de las características del metabolismo aeróbico en niños, las respuestas cardiovasculares y ventilatorias al ejercicio de estos y una de las cuestiones que ha suscitado más polémicas, ha sido el efecto del entrenamiento sobre la máxima potencia aeróbica en los niños.

De las aportaciones que han cobrado más fuerza y solidez, podemos destacar las siguientes ideas recogidas en el trabajo de Fellmann et al¹⁸, en 1994: “El metabolismo aeróbico en niños, evaluado mediante mediciones del consumo máximo de oxígeno

(VO_{2max}) es el mismo que en adultos o más desarrollado cuando el VO_{2max} es relacionado con la masa corporal o la masa magra...”, “durante la pubertad, el metabolismo aeróbico permanece sin cambios”. “Las respuestas cardiovasculares se caracterizan por valores de la frecuencia cardíaca máximas e infra-máximas más altos, y un volumen sistólico y presión arterial más bajos que en adultos”.

En 1997, Turley et al⁷¹, estudiaron las respuestas cardiovasculares al ejercicio máximo y submáximo en niños y adultos, aportando que el gasto cardíaco fue significativamente más bajo, a un nivel de VO_2 dado (L/min) en niños comparados con hombres y en niñas comparadas con mujeres. Ese menor gasto cardíaco en los niños, fue compensado por una mayor diferencia arteriovenosa de oxígeno, así, se mostró una mayor frecuencia cardíaca y la resistencia periférica total y un menor volumen sistólico en el grupo de los niños comparados con el de los adultos. La conclusión de los autores fue “que las respuestas cardiovasculares submáximas son diferentes en niños y adultos y que esas diferencias están relacionadas con un corazón más pequeño y una menor cantidad absoluta de musculatura realizando una tasa dada de trabajo en los niños”.

1.6. Problemas metodológicos asociados a la medición de la población infantil.

Existen numerosas dificultades metodológicas cuando se trata de estudiar la actividad física en la población infantil y estas dificultades están presentes en la mayoría de los estudios analizados, pudiendo ocasionar unos resultados equivocados.

En primer lugar está la dificultad de aislar la actividad física del resto de factores que influyen en el desarrollo y crecimiento. En la mayoría de los estudios, todas las mejoras obtenidas, se atribuyen a los efectos de la actividad física, sin tener en cuenta los efectos del crecimiento y maduración sobre los distintos órganos y sistemas del organismo del niño. No podemos olvidar que existe una influencia bidireccional, de forma que la actividad física tiene efectos sobre el crecimiento pero al mismo tiempo el proceso de crecimiento influye en la capacidad de realizar actividad física. Esto se soluciona realizando estudios longitudinales, en los que se pueda analizar y distinguir los efectos de la madurez y crecimiento, y el entrenamiento, como apuntan Baquet et al⁶⁰ en su metaanálisis, en el que se señala la carencia y necesidad de este tipo de estudios.

Otro factor muy importante, es la dificultad de cuantificar la cantidad de actividad física realizada por los niños, ya que con frecuencia se alude a la actividad realizada en los programas reglados del protocolo de la investigación, pero no podemos controlar la cantidad de actividad física realizada a lo largo del día, que probablemente sea mayor, debido a la naturaleza lúdica de la actividad del niño.

Hebestreit⁷² señala tres motivos en la dificultad para medir a la población infantil. En primer lugar, hace mención al tamaño corporal más pequeño en relación al equipamiento de medida. En segundo lugar, apunta que los niños muestran un pico de forma relativamente pobre en contraste con las menores cargas de trabajo y los menores incrementos de las mismas en los ergómetros. En tercer lugar, al autor alude a la capacidad menor de atención y a veces, una motivación más baja durante el ejercicio que los adultos, sobre todo en protocolos de ejercicios largos y monótonos. En este sentido, Naughton et al⁷³ sugieren que los procedimientos de medición basados en

juegos, deben aportar resultados más consistentes en la medición de la población infantil. En una parte del estudio⁷³, se determinó la variabilidad de rendimiento en un test anaeróbico de Wingate, en niños de seis a doce años, se observó que ante la presencia de un videojuego (que los niños veían en una pantalla) mientras pedaleaban, el coeficiente de variación del índice de fatiga mostrado en los niños descendió significativamente.

Siguiendo la revisión realizada por Hebestreit⁷², las variables comúnmente analizadas en los estudios en la población infantil, son la potencia máxima, el pico de consumo de oxígeno y el umbral ventilatorio o láctico, existiendo datos sobre la población infantil sana en relación con la edad, sexo y talla corporal en distintos protocolos de ejercicio. Sin embargo, estos datos, según el autor⁷², están basados frecuentemente en muestras muy pequeñas.

Respecto a la duración del protocolo de ejercicio, Hebestreit⁷² habla de una duración total entre 6 y 10 minutos para “evitar una fatiga muscular prematura en los niños”, señalando los protocolos de corta duración para medir el rendimiento. En este sentido, se menciona el Test de Wingate para medir la potencia muscular de corta duración⁷².

Algunos métodos de medición empleados son de dudosa validez en la población infantil, por ejemplo el Test Anaeróbico de Wingate⁷⁴, ya que está muy condicionado por la potencia muscular y los niños tienen una masa muscular obviamente menor que los adultos.

Respecto al metabolismo anaeróbico, debido a los problemas éticos y metodológicos que implican las técnicas invasivas para medir la producción de energía anaeróbica en ejercicios de máxima intensidad, los investigadores se han centrado clásicamente en la medición de la potencia muscular de corta duración por medio de mediciones estandarizadas, planteamiento muy bien recogido por Van Praagh et al⁴². Pero en este sentido se observa una carencia de validez, seguridad y estandarización metodológica en las mediciones de la potencia muscular de corta duración en niños y

adolescentes, con la mayoría de protocolos basados en cicloergómetros y con limitaciones metodológicas como la alta dependencia de la motivación individual.

El test más utilizado es el Test Anaeróbico de Wingate⁷⁴, que consiste en pedalear lo más rápidamente posible durante 30 o 45 segundos contra una fuerza de frenado que se establece en función de la masa corporal y las características del sujeto, tratando de buscar una relación óptima de fuerza-velocidad. La población para la que se creó es para adultos, sin embargo desde su publicación inicial en 1974, ha sido perfeccionado y adaptado a diversas poblaciones. Al depender de la fuerza y velocidad de pedaleo, es importante tener en cuenta que los niños poseen una menor fuerza (debido a factores hormonales, neuromusculares, de coordinación, eficacia mecánica...) lo que, a su vez, condiciona la velocidad desarrollada. Por tanto, son discutibles los datos aportados por aquellos estudios que comparan los resultados obtenidos entre adultos y niños, sin tener en cuenta estas consideraciones, y nos genera cierto escepticismo establecer una relación de causalidad entre la potencia registrada con un test de Wingate y los niveles de lactato en sangre en la población infantil.

La diferencia observada entre niños y adolescentes durante los test de potencia muscular de corta duración, se relacionan más con factores neuromusculares, hormonales y de coordinación motora, que con un indicador de una producción reducida de lactato por el mecanismo de la glucólisis⁴². La evidencia sugiere que el vínculo entre la habilidad de generar lactato durante el ejercicio y la maduración sexual es débil.

La potencia muscular desarrollada traduce la habilidad del sistema neuromuscular para producir el mayor impulso posible en un tiempo dado y debemos tener en cuenta que, en comparación con los adultos, los niños no son siempre capaces de ponerse bajo condiciones de estrés, particularmente en laboratorios.

Partiendo de esta base, algunos autores han realizado estudios en los que se someten a niños y adultos a tests de duración más larga (60", 90"), y en estos trabajos, se observan valores de lactato sanguíneo mayores comparados con los valores de lactato que se obtienen con tests de 30" en niños.

En el estudio realizado por Mero⁷⁵ en 1988 se analiza la producción de lactato sanguíneo y la recuperación en una población de 19 niños entrenados (y 6 de grupo control), todos prepúberes, tras realizar 2 test en cicloergómetro con 15" y 60" de duración, y un test en cinta rodante con una duración media de 23'20". Los resultados mostraron que el pico de lactato sanguíneo se alcanzó en el test de 60" de duración (13,1 mmol/L en el grupo entrenado y 12,8 mmol/L en el grupo control) y que existe una correlación positiva entre la producción de lactato sanguíneo, el nivel de testosterona y el área de la fibra muscular tipo II.

En otro estudio, realizado por Dotan et al²⁴ en 2003, en el que 14 niños prepúberes y 12 hombres con similares VO_{2max} relativos se someten al Test de Wingate de 30", los valores máximos de lactato sanguíneo son de 10,7 en niños y 14,7 mmol/L en hombres.

Gaul et al²³ someten a 18 niños prepúberes y 19 hombres a un test máximo en cicloergómetro de 90" de duración. Miden la potencia y capacidad anaeróbica a 10", 30" y 90" y se observa que los valores encontrados a 30 y 90" difieren menos que los valores encontrados a 10" y no están de acuerdo con los autores que hablan de la inmadurez del metabolismo anaeróbico como causa de los menores niveles de lactato sanguíneo encontrados en niños. Estos autores, apuestan por factores bioquímicos, la madurez neuromuscular y la motivación como posibles causas de los resultados obtenidos.

Respecto a los estudios sobre la potencia aeróbica y su mejora con el entrenamiento en la población infantil, se ha escrito mucho, y en la actualidad, es la pauta general a seguir tanto en la actividad física escolar como en numerosos programas de actividades extraescolares y de entrenamientos de distintos deportes. Sin embargo, la evidencia científica no habla muy a favor de esta idea, encontrando en primer lugar limitaciones de carácter metodológico en la mayoría de los estudios que se han realizado con el fin de encontrar las mejoras o adaptaciones inducidas por el entrenamiento sobre la capacidad aeróbica en la población infantil. Baquet et al.⁶⁰, en su metaanálisis "*Endurance Training and Aerobic Fitness in Young People*" realizado en

el año 2003, observan numerosos errores metodológicos. De 51 estudios iniciales, finalmente quedan 22, y las causas de exclusión son las siguientes:

- La carencia de un grupo control.
- Los protocolos de entrenamiento no están claramente descritos y con frecuencia no son apropiados.
- La utilización de procedimientos estadísticos inapropiados.
- Las muestras son frecuentemente muy pequeñas.
- Estudios con una población entrenada o especial.
- Estudios sin mediciones del $VO_{2\text{pico}}$.
- Con frecuencia se parte de supuestos previos cuya veracidad no ha sido contrastada.
- Sólo la mitad de los estudios indican el estadio madurativo.

Las conclusiones de dicho metaanálisis son en primer lugar que el entrenamiento aeróbico lleva a una mejora media del 5-6% del $VO_{2\text{pico}}$ en niños o adolescentes. Esta mejora media alcanza el 8-10% de $VO_{2\text{pico}}$ cuando solo se tienen en cuenta los estudios que aportan efectos del entrenamiento significativos. Sin embargo, esta mejora sigue siendo menor a la conseguida por adultos. Por otro lado, apuntan que el ejercicio aeróbico, normalmente consiste en correr, nadar o pedalear distancias largas a moderada intensidad (80-85% de la FC_{max}), mientras que los efectos del entrenamiento se miden a través de valores del $VO_{2\text{pico}}$. Finalizan con la sugerencia de realizar estudios que comparen el entrenamiento interválico y continuo en la población infantil, además de la necesidad de realizar estudios longitudinales que investiguen la relación entre la madurez y el entrenamiento con programas seguidos cuidadosamente.

1.7. Planteamiento de la duda.

Estos trabajos, entre otros, han creado la base, sobre la que especialistas en el ámbito de la Educación Física, plantean su trabajo metodológico y didáctico con la población infantil, basado en el trabajo de la capacidad aeróbica, siguiendo la tendencia de aquellos autores que aportan efectos positivos del entrenamiento sobre el $VO_{2\text{pico}}$, en la etapa prepuberal^{76,77,78}.

Estas aportaciones, sólidamente aceptadas, han formado el conocimiento actual de la implicación de las distintas vías energéticas que tienen lugar durante el ejercicio en la población infantil, a lo largo del crecimiento. De todo lo expuesto, nos llama especialmente la atención las afirmaciones referidas a la supuesta “inmadurez del metabolismo anaeróbico” así como los argumentos que la explican, que además, a nuestro juicio, plantea numerosos interrogantes.

Empezando por una cuestión de tipo evolutivo, nos hemos llegado a plantear si una vía metabólica filogenéticamente anterior y presente en organismos de lo más simples, madure con posterioridad a otra mucho más compleja y de aparición posterior en seres mucho más evolucionados. No parece tener demasiado sentido, entonces, que los niños posean un metabolismo anaeróbico inmaduro a favor de un metabolismo aeróbico más activo, y que más tarde, durante la adolescencia madure esta vía metabólica para alcanzar en la adultez su mayor grado de desarrollo. Este planteamiento, por un lado choca con las leyes de la evolución, que sitúan a los mamíferos en el final de una evolución metabólica gradual, en la cual, se pasó de un metabolismo celular anaeróbico al aeróbico, y en el que se considera que “el incremento en la tasa metabólica como resultado de un incremento en el aporte de oxígeno es un principio general de la evolución, que, aparte de sus beneficios adaptativos posteriores, protege a los tejidos de un exceso de oxígeno y el consecuente estrés oxidativo”⁷⁹. Por otro lado, choca con la evidencia del metabolismo fetal, que habla principalmente de un metabolismo anaeróbico durante la gestación.

1.7.1. Metabolismo fetal.

Existen varios trabajos que describen el metabolismo durante el periodo gestacional y hablan acerca de los sustratos metabólicos utilizados por el feto y los cambios que se producen en estos después del nacimiento. Uno de ellos, es el realizado por Ascuitto y Ross-Ascuitto⁸⁰, en 1996, en el que se revisan los cambios ocurridos tanto en la actividad enzimática, la morfología y función mitocondrial, como en la disponibilidad de sustratos que forman la base de los cambios en el metabolismo durante el desarrollo del corazón. El corazón se considera el primer órgano en el embrión en asumir su función definitiva. Las contracciones del músculo cardíaco requieren una eficiente vía de obtención de ATP para mantener su actividad mecánica. Durante la gestación, el corazón fetal utiliza los carbohidratos (glucosa y lactato) como su principal vía energética, en contra de lo que ocurre en el corazón de un adulto, cuya fuente energética principal son los ácidos grasos. Esto lo apoya otro estudio⁸¹, que apunta a “la glucosa como el principal sustrato energético en el feto y es esencial para el metabolismo y crecimiento normal del feto”. Esta transición del metabolismo de los carbohidratos a los ácidos grasos, responde a una necesidad de ajuste a la vida extrauterina.

La glucosa, como principal sustrato energético, una vez en el citosol, tiene varias opciones: la glucólisis, la síntesis de glucógeno o la lanzadera de pentosa-fosfato. En general, la mayoría de la glucosa utilizada por el corazón pasa a través de la glucólisis. El piruvato puede convertirse en lactato gracias a la acción de la enzima LDH, siendo esta reacción reversible. Así, las alteraciones fisiológicas que tienen lugar durante el desarrollo fetal, provocan cambios funcionales importantes tanto en las enzimas glucolíticas como oxidativas. La enzima hexokinasa (HK), cambia de isoforma durante el desarrollo fetal (HK-I a HK-II). La proteína transportadora de la glucosa GLUT-1, cambia a GLUT-4, la cual muestra afinidad con la HK-II, con la aparición de la sensibilidad a la insulina en el periodo postnatal. La enzima piruvatocinasa (PK), también sufre un cambio de PK-4 a PK-3 siendo la isoforma fetal PK-4, menos sensitiva a la inhibición por el ATP, que la isoforma adulta PK-3. Las enzimas HK y PK muestran su actividad más alta durante la gestación, disminuyendo después del

nacimiento aproximadamente el doble en las dos primeras semanas de vida, indicando un descenso en la implicación de la glucólisis y por tanto, se produce un aumento en la necesidad de implicación del metabolismo oxidativo. Esto se demuestra con el aumento de la actividad (de dos a cuatro veces) de las enzimas oxidativas CS y malato deshidrogenasa (MDH)⁸⁰.

La enzima reguladora de la glucólisis más importante es la PFK. Su actividad es mayor (aumenta el doble durante el desarrollo fetal) y está menos afectada por los reguladores que la inhiben en el corazón del feto comparado con el adulto. La Fructosa 2,6-difosfato (Fru-2,6-P₂) es un importante estimulador y la forma fetal de PFK muestra mayor sensibilidad a los cambios en la concentración de la Fru-2,6-P₂, y por tanto, posee una mayor actividad⁸⁰.

Durante el desarrollo fetal, la actividad de la enzima LDH es mayor y sufre pocos cambios. Se produce un incremento progresivo en la proporción de la isoforma M-LDH, y su alta actividad implica una mayor producción de lactato desde el piruvato. Durante el periodo postnatal, se produce un cambio en el patrón de la isoforma LDH, hacia una mayor proporción de la isoforma H-LDH, cuya acción es más eficiente en la oxidación del lactato en los tejidos con predominancia del metabolismo oxidativo⁸⁰.

El glucógeno endógeno ha mostrado ser una fuente de glucosa importante en el corazón del feto y del neonato⁸⁰.

Comparado con el corazón del adulto, el corazón fetal muestra un menor número de mitocondrias con un tamaño más pequeño, además se caracterizan por una inmadurez estructural, que va aumentando conforme se alcanza el final de la gestación, entonces se muestra una maduración estructural, indicativa de los cambios producidos en la actividad enzimática asociada con el metabolismo oxidativo. Aunque éste se muestra operativo al final de la gestación, todavía, ciertos aspectos del metabolismo de los ácidos grasos no están completamente desarrollados⁸⁰.

Se ha visto que los niveles circulantes de glucosa, lactato y ácidos grasos, varían llamativamente desde el feto a la vida adulta. En el feto, la glucosa y el lactato, son los sustratos dominantes para el crecimiento y desarrollo. El corazón fetal recibe la mayor parte de glucosa de la circulación materna, y en menor proporción del hígado fetal. El lactato que el feto utiliza, proviene en parte de la circulación materna, pero en mayor proporción de la placenta, que es una fuente rica de lactato bajo condiciones aeróbicas. En general, la concentración de lactato existente en la vena umbilical supera a la arterial, “esto muestra que el feto es un neto consumidor más que un productor de lactato”. Los autores⁸⁰ encuentran que este resultado puede parecer contradictorio al concepto tradicional en el que la anaerobiosis es el componente dominante del metabolismo fetal. La cuestión que se plantean es ¿por qué la placenta produce lactato desde la glucosa bajo condiciones aeróbicas? Y lo más importante ¿qué ventajas potenciales podría producir en el feto?

Respecto a la oxidación de lactato y carbohidratos en la musculatura cardíaca, el momento de la gestación en el que cobra importancia no está aún definido y depende de la especie. Se ha demostrado que la proporción de lactato oxidada en el corazón, es mayor que la de glucosa en distintos animales. Esto indica la importancia del lactato como sustrato metabólico en el corazón fetal. Sin embargo, no se le da una explicación a estas altas tasas de oxidación de lactato. Los autores⁸⁰ contemplaron la posibilidad de que al final de la gestación el miocardio fetal haya desarrollado una importante capacidad oxidativa o que sea una manifestación de la elevada concentración de lactato en la circulación fetal. En el corazón maduro, el lactato es la fuente energética principal cuando los niveles de lactato sanguíneo aumentan, durante o justo después del ejercicio, esto puede representar una adaptación para facilitar el aclaramiento de este producto metabólico final. En el periodo neonatal, la transición al metabolismo oxidativo está completada., los niveles de lactato sanguíneo descienden y la concentración de ácidos grasos aumenta hasta cerca de los valores normales en adultos, reflejando el contenido lipídico de la leche materna. A pesar de esta transición hacia un metabolismo aeróbico, el corazón del neonato todavía mantiene una capacidad elevada para la producción energética anaeróbica⁸⁰.

Otros estudios se han centrado en la relación que existe entre un crecimiento fetal debilitado y una posterior capacidad muscular glucolítica reducida, así como los riesgos de padecer síndrome metabólico. En un estudio⁸² cuyo objetivo fue investigar la bioenergética muscular en dieciséis mujeres normoglucémicas con un índice ponderal bajo al nacer y nueve con un índice alto, los resultados mostraron un descenso en la producción de ácido láctico y ATP glucolítico en el grupo con el bajo índice ponderal al nacer. Y se sugirió la posibilidad de que los mecanismos que controlan la utilización de sustratos y el metabolismo en la edad adulta, sean programados durante la vida prenatal. Otro estudio⁸³ sugiere “alteraciones en la vía glucolítica en la placenta de fetos que sufren una restricción del crecimiento intrauterina”.

Aparte del argumento evolutivo y el argumento del metabolismo fetal expuestos, hay otro aspecto que nos hace pensar que “la inmadurez del metabolismo anaeróbico en niños” es un planteamiento cuestionable, ya que la causa de esta “inmadurez” radicaría en una menor actividad de la enzima PFK. Existe una enfermedad de base genética llamada enfermedad de Tauri o enfermedad de almacenamiento del glucógeno de tipo VII, en la que precisamente existe un déficit congénito de PFK y cursa con depósitos de glucógeno (por falta de metabolización) junto con adinamia, cansancio y falta de tolerancia al esfuerzo por baja actividad del metabolismo de la glucosa y el glucógeno. Esto es debido a que la PFK, por su situación (ver Figura 1) en un punto común a ambas vías metabólicas de los hidratos de carbono, influye tanto en el metabolismo aeróbico como anaeróbico glucolítico. No parece que sea esto lo que ocurre de forma natural en los niños sanos, ya que la actividad espontánea y natural que los suele caracterizar, no corresponde en absoluto con estos síntomas.

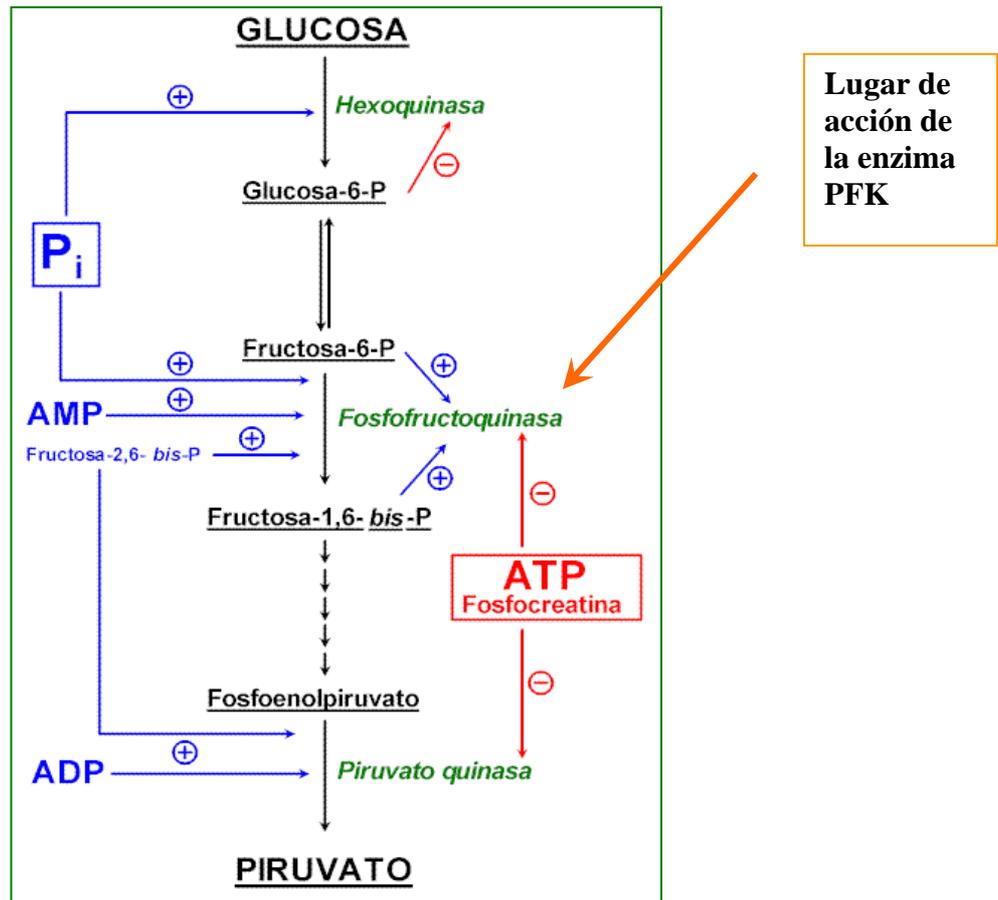


FIGURA 1: Esquema de la glucólisis (<http://web.usal.es/~evillar/regulaci.htm>) y situación de la PFK.

Otro de los factores importantes a considerar, es el tratamiento que se le ha dado desde siempre a la actividad realizada por los niños. La literatura sobre pediatría y actividad física se ha interesado más por estudiar la capacidad de los niños para soportar trabajos o actividades de larga duración y moderada intensidad que por el estudio de ejercicios de alta intensidad y corta duración. Este hecho no deja de ser sorprendente, ya que como apunta Hebestreit⁷², “los niños raramente se ocupan en tareas de máxima intensidad y prolongada duración”, sin embargo, sus juegos cotidianos y tareas habituales y espontáneas son actividades cortas de alta intensidad divididas por intervalos de actividades de baja intensidad⁴³.

Según Van Praagh et al⁴², hay numerosas razones que justifican esta situación paradójica, como la escasa importancia que se le ha dado en los trabajos a la potencia anaeróbica frente a la potencia aeróbica máxima. A esto se une las dificultades éticas que presenta la utilización de técnicas invasivas para estudiar la potencia anaeróbica. Finalmente, aunque se ha sugerido que este tipo de actividad física tiene un importante efecto sobre el crecimiento y desarrollo durante la niñez, muchos pediatras y médicos del deporte consideran que la función anaeróbica está más relacionada con el rendimiento y menos relacionada con la salud que la función aeróbica.

Actualmente, la literatura al respecto ya empieza a considerar la actividad de tipo anaeróbico como la manifestación más natural y espontánea en los niños. En un estudio reciente de Ratel et al⁴⁴, en 2004, ya se habla de las aplicaciones metodológicas de este tipo de actividades (de corta duración y alta intensidad) en el marco de la actividad escolar, llegando a decir que un entrenamiento basado en estas actividades puede mejorar el rendimiento anaeróbico en los niños (la potencia muscular, fuerza y velocidad). Incluso, un programa de actividades repetidas de corta duración y alta intensidad en la Educación Física, debe ser considerado para la mejora tanto aeróbica como anaeróbica en niños.

En resumen, las reglas de la evolución hablan de una vía metabólica anaeróbica anterior a la oxidativa. El metabolismo fetal parece ser predominantemente anaeróbico (cambiando durante el último periodo de la gestación hacia un metabolismo aeróbico, cuyo combustible principal parece ser el lactato) y pone de manifiesto una gran actividad del ciclo de Cori en el último tercio de la gestación, lo que nos lleva a pensar en la posibilidad de que sea esta alta actividad del ciclo de Cori la que se mantenga en el niño después del nacimiento siendo responsable de los fenómenos relativos al lactato que se han interpretado como una baja o “inmadura” capacidad anaeróbica. Quizás lo que ocurra sea que el ser humano vaya perdiendo esta capacidad con el paso del tiempo hasta alcanzar los niveles del adulto. Por otro lado, la enfermedad de Tauri, parece indicar que los niños no muestran un déficit de la enzima PFK a juzgar por las características que presentan sus movimientos y juegos espontáneos.

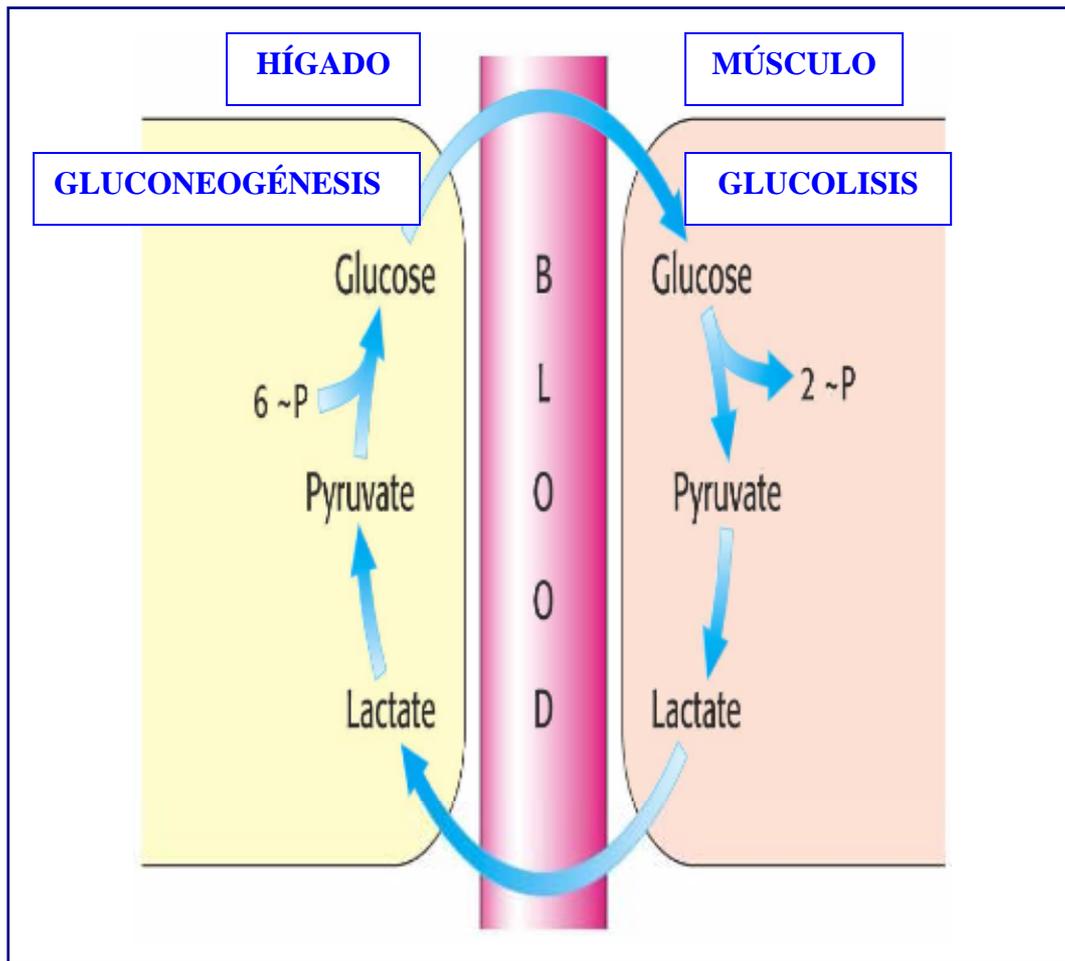


FIGURA 2: Ciclo de Cori, adaptado de <http://web.usal.es/~evillar/regulaci.htm>.

1.8. ¿Tiene realmente base científica el argumento de la “inmadurez anaeróbica láctica” en la población infantil?

Partiendo de la revisión bibliográfica realizada, pensamos que durante mucho tiempo se han venido aceptando con un amplio consenso ideas cuya base experimental es al menos discutible. Ante esto, la pregunta principal que nos hacemos es: ¿tienen realmente base científica esas afirmaciones o estamos dando por buenos conceptos que no tienen un fundamento sólido? Para responder a esta pregunta debemos analizar por un lado, los trabajos iniciales que fundamentaron estas ideas. Y por otro, los trabajos que posteriormente las han apoyado.

1.8.1. Análisis comparativo de los estudios tradicionales.

Este aspecto se va a desarrollar detenidamente en la discusión, pero vamos a exponer brevemente los resultados obtenidos, referentes a los valores de lactato sanguíneo y muscular, tanto de niños como de adultos, que se obtuvieron en los trabajos que iniciaron el estudio de las vías metabólicas en la población infantil, y fueron comparados con los trabajos realizados en la época con sujetos adultos, que posteriormente dio origen a la teoría de la “inmadurez de las vías anaeróbicas glucolíticas” en la población infantil.

Antes de desarrollar este análisis, debemos reconocer y alabar la labor de los investigadores como Sid Robinson, Per-Olof Åstrand, Bengt Saltin, Bengt O. Eriksson, Philip D. Gollnick y Jan Karlsson, entre otros, que han sido un referente en el campo de la Fisiología del Ejercicio Físico y a ellos, le debemos el conocimiento actual de las respuestas fisiológicas y metabólicas de la población infantil al ejercicio. Por tanto, este análisis no pretende poner en duda la calidad científica de estos, sino, revisar el origen de algunas afirmaciones que plantean dudas desde hace tiempo, como han dejado plasmado otros investigadores en el campo de la Fisiología del Ejercicio Físico en la población infantil.

Los estudios realizados que postularon que los niños alcanzaban menores concentraciones de lactato sanguíneo y muscular tras realizar un ejercicio submáximo y máximo comparados con adultos, aportan los siguientes datos:

- Las concentraciones de lactato sanguíneo obtenidas en sujetos adultos varían de los $8,8 \pm 2,6^{84}$ hasta los $14,6 \pm 0,6^{11}$ mmol/L. Estos datos, son similares a los obtenidos en niños en algunos estudios, que varían de los $8,0^{19}$ mmol/L a los $13,1 \pm 2,6^{75}$ mmol/L.
- Respecto a los valores de lactato muscular, los niños alcanzaron valores de $11,3^{30}$ mmol/kg (de 6,3 a 14,6 mmol/kg), 8,8 mmol/kg en niños sedentarios y $13,7^{31}$ mmol/kg (de 10 a 17 mmol/kg) después de un periodo de entrenamiento. Los valores obtenidos en adultos, varían de $12,0^{10}$ mmol/kg (de 10,8 a 13,3 mmol/kg) hasta los 16,1 mmol/kg (de 14,4 a 18,4 mmol/kg) En otro estudio, se alcanzaron concentraciones de $22,7 \pm 1,6$ y $16,9 \pm 0,7^{11}$ mmol/kg, en hombres entrenados y sedentarios respectivamente.

1.8.2. Análisis de estudios que relacionan la potencia muscular anaeróbica y los valores de lactato sanguíneo y muscular en la población infantil.

Estos resultados, hacen que nos planteemos la interpretación que se les dio en su momento y que sirvió de base para estudios posteriores que se centraron en la medición de la potencia muscular de corta duración y máxima intensidad por medio de pruebas estandarizadas en niños, para estimar la capacidad glucolítica (láctica) de estos, a través de los valores de lactato sanguíneo obtenidos tras realizar dichos ejercicios. Este planteamiento está muy bien recogido en el trabajo “*Short-Term Muscle Power During Growth and Maturation*” que realizaron Van Praagh et al⁴², en 2002. En este sentido, los autores apuntan una carencia de validez, seguridad y estandarización metodológica en las mediciones de la potencia muscular de corta duración en niños y adolescentes, con la mayoría de protocolos basados en cicloergómetros y con limitaciones

metodológicas como la alta dependencia de la motivación individual, o la economía de carrera o de pedaleo más baja en la población infantil.

El test más utilizado en este tipo de estudios, ha sido el Test Anaeróbico de Wingate⁷⁴, que, a parte de las limitaciones ya mencionadas en el apartado “1.6. Problemas metodológicos”, presenta un problema con la inercia en el arranque, que requiere la aplicación de una fuerza alta en poco tiempo para vencer desde el reposo la carga impuesta.

Lexell et al⁸⁵, estudiaron los mecanismos por los que se producía el incremento en volumen del tejido muscular y el desarrollo funcional de las fibras musculares desde la niñez a la edad adulta, en 22 sujetos varones, sanos con edades comprendidas entre los 5 y 37 años. Se determinó que el incremento en el área muscular durante el crecimiento, era causado por un aumento en el tamaño medio fibrilar. Esto se acompañó de un desarrollo funcional fibrilar, en el cual, la proporción de fibras tipo II, aumentó significativamente desde los 5 años, con un 35%, hasta los 20, con un 50%, debido a la transformación de fibras tipo I a tipo II.

Por tanto, son de dudosa credibilidad los datos aportados por aquellos estudios que comparan los resultados obtenidos entre adultos y niños, sin tener en cuenta estas consideraciones, y mucho más arbitrario nos parece establecer una relación entre la potencia registrada con un test de Wingate y los niveles de lactato en sangre en los niños.

Además, el lactato sanguíneo refleja todos aquellos procesos por los cuales el lactato es producido y eliminado⁸⁶. Por lo que, la concentración de lactato sanguíneo después del ejercicio solo ofrece una indicación cualitativa del grado de estrés ocurrido en el metabolismo anaeróbico por un ejercicio particular, más que una medida cuantitativa de la glucólisis⁴². Por tanto, no se puede asumir que la concentración de lactato sanguíneo después del ejercicio en la población infantil es solo el resultado de una producción de lactato intramuscular menor⁴².

Hay otro dato, y es la hipótesis seguida desde hace muchos años acerca de la relación entre el aumento de la habilidad glucolítica debido a los cambios hormonales

que ocurren en la adolescencia. Se ha observado en recientes estudios, que al separar la influencia del tamaño corporal, no existe una relación significativa entre el nivel de testosterona salivar y los niveles de lactato después de un ejercicio máximo o submáximo⁴².

Beneke et al, realizaron dos trabajos, el primero⁴¹ de ellos, en 1996, y el segundo⁸⁷, en el año 2000. Ambos se llevaron a cabo, con el objetivo de evaluar los efectos de la edad sobre el máximo estado estable de lactato. Para ello, sometieron a 34 sujetos varones con edades comprendidas entre los 11 y 20 años, en el primer estudio, y a 74 sujetos varones con edades entre los 9 y 32 años, en el segundo estudio, a un test incremental en cicloergómetro. En ambos estudios se obtuvieron los mismos resultados, la edad fue independiente del máximo estado estable de lactato, y según los autores, este resultado apoyaba la teoría de la implicación de factores neuromusculares en la contribución a los cambios observados frecuentemente en las respuestas al ejercicio durante el crecimiento y la madurez física, más que a cambios en el metabolismo glucolítico y oxidativo. La evidencia sugiere que el vínculo entre la habilidad de generar lactato durante el ejercicio y la maduración sexual es débil.

La potencia muscular desarrollada traduce la habilidad del sistema neuromuscular para producir el mayor impulso posible en un tiempo dado y debemos tener en cuenta que, en comparación con los adultos, los niños no son siempre capaces de ponerse bajo condiciones de estrés, particularmente en laboratorios.

Las conclusiones a las que llegan Van Praagh et al⁴² en su trabajo, son las siguientes:

- La potencia muscular de corta duración es un aspecto fundamental en la capacidad física del niño.
- Existe un acuerdo general en que la potencia muscular de corta duración incrementa durante el crecimiento y la maduración y es significativamente mayor en niños que en niñas durante y después del periodo de la adolescencia.
- Las mediciones directas de la capacidad de las vías metabólicas anaeróbicas presentan dificultades metodológicas y éticas, por tanto, más

que medir el aporte energético, los investigadores se han centrado en medir la fuerza o la potencia muscular mediante test estandarizados.

- Los test en cicloergómetro son los más utilizados, permiten realizar mediciones independientemente de la masa corporal, pero no hay un criterio objetivo de maximalidad disponible, por lo que, los investigadores deben confiar en la motivación y cooperación del niño.
- La potencia muscular y el rendimiento anaeróbico son cuantitativamente influenciados por diferentes factores, como la edad, el sexo y el entrenamiento. Sin embargo, la potencia muscular está también determinada por variables biológicas innatas y mecánicas.
- Se conoce poco acerca de los mecanismos que subyacen las diferencias relacionadas con la edad y el sexo en relación con la maduración de las vías metabólicas musculares. Recientes estudios han mostrado que las diferencias encontradas al realizar un test de potencia muscular entre niños y adultos, se atribuyen a factores dependientes del tamaño (tamaño muscular) y factores independientes del tamaño (factores genéticos, hormonales).
- El incremento en la distribución de fibras tipo II, en ambos sexos, con la edad, debe dar ventaja a los sujetos mayores frente a los jóvenes al realizar actividades de potencia y fuerza rápida.
- Debido a la mayor área de fibras tipo IIb, los niños parecen tener una ventaja potencial respecto a las niñas durante la adolescencia.

1.8.3. Análisis de estudios enzimáticos.

Gollnick et al⁶⁷, estudiaron por primera vez las características metabólicas y la composición fibrilar de la musculatura humana en sujetos sedentarios y entrenados y su relación con la actividad de grupos musculares específicos y las características del rendimiento. Para ello, 74 sujetos varones con edades comprendidas entre los 17 y 58 años, formaron nueve grupos según la edad y el estado de forma física. Las muestras para las biopsias musculares, se tomaron del vasto lateral del cuádriceps y del músculo

deltoides, aunque solo vamos a tener en cuenta las muestras obtenidas del vasto lateral, ya que es la musculatura analizada en los estudios realizados en población infantil. Se analizaron las concentraciones de las enzimas SDH y PFK, obteniendo los siguientes resultados para el grupo de los 26 sujetos sedentarios, cuyas edades oscilaban entre los 24 y los 52 años, obtuvieron valores de PFK medios de $25,3 \pm 2,1$, y el rango fue desde los 14,3 a los 38,0 $\mu\text{mol/g/min}$. Los valores correspondientes a la enzima SDH fueron de $4,3 \pm 0,6 \mu\text{mol/g/min}$. Dentro del grupo de sujetos entrenados, los menores niveles de PFK, se obtuvieron en el grupo compuesto por 12 atletas, con una edad media de 25 años, que competían en diferentes deportes. Estos valores alcanzaron $19,9 \pm 3,6 \mu\text{mol/g/min}$, y el rango fue de 14,3 a 28,3. Los correspondientes valores de SDH en este grupo fueron de $6,0 \pm 0,3 \mu\text{mol/g/min}$. Mientras que el grupo que alcanzó los valores más altos y homogéneos, fue el de nadadores, compuesto por 5 sujetos, de edades comprendidas entre los 18 y 23 años. Estos valores alcanzaron los $29,3 \pm 0,4 \mu\text{moles/g/min}$, y los valores de SDH fueron $7,6 \pm 0,5 \mu\text{mol/g/min}$.

Estos resultados, se compararon con los datos obtenidos por Eriksson et al³¹, ya analizados, en 5 niños con edades entre los 10,9 y 11,5 años, sin determinar el índice de maduración sexual. Según los autores, durante las 6 semanas que dura el experimento, solo mostraron un incremento significativo en el $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($p < 0,01$), sin cambios en los parámetros antropométricos. Los valores que dieron los autores, fueron las medias obtenidas de las enzimas PFK y SDH, antes, a las 2 semanas y a las 6 semanas del entrenamiento. Estos valores alcanzaron (expresados en micromol/g/min):

- PFK: $8,42 \pm 1,46$ y SDH: $5,43 \pm 0,41$ (antes del entrenamiento).
- PFK: $12,46 \pm 1,09$ y SDH: $5,84 \pm 0,57$ (a las 2 semanas de entrenamiento).
- PFK: $15,41 \pm 1,62$ y SDH: $7,01 \pm 0,42$ (a las 6 semanas de entrenamiento).

Pero, dado el pequeño tamaño de la muestra, deberíamos fijarnos en el rango de valores (expresados en micromol/g/min):

- PFK: 6,05 - 19,76 y SDH: 3,85 - 6,27 (antes del entrenamiento).
- PFK: 9,68 - 14,72 y SDH: 4,52 - 7,40 (a las 2 semanas de entrenamiento).
- PFK: 10,21 - 18,78 y SDH: 6,16 - 8,06 (a las 6 semanas de entrenamiento).

Las diferencias son mayores al comparar los sujetos sedentarios de ambos grupos, pero estas diferencias se hacen menores, al comparar a los sujetos entrenados, teniendo en cuenta que se comparaban por un lado, grupos de 12 sujetos adultos, con un grupo de 5 niños, cuya maduración sexual desconocemos. Por otro lado, hubiese sido más correcto comparar niños con el mismo estado de entrenamiento que los adultos. Ya que estos niños solo habían entrenado 6 semanas, 20 minutos de media, tres veces a la semana. Y este estado de forma, es difícil compararlo con los distintos grupos de sujetos adultos entrenados en las distintas modalidades deportivas.

Ante estos datos, nos parece muy arriesgado que se obtengan conclusiones generales en las que se admita una menor capacidad glucolítica en niños causada por una actividad menor de la enzima PFK, atendiendo únicamente a estos valores dados de la enzima PFK en la musculatura esquelética. Hay autores, que desde los años 70, se han hecho este mismo planteamiento. Haralambie⁷⁰, en 1982, en su trabajo "*Enzyme activities in skeletal muscle of 13-15 years old adolescents*" criticó que los datos existentes hasta la época, sobre el metabolismo energético muscular en niños y adolescentes, estaban basados en determinaciones cuyos procedimientos no eran muy adecuados y además, las muestras utilizadas eran muy pequeñas. Según él, este hecho ya lo había observado el propio Eriksson¹⁹, al exponer que sus resultados "debían ser interpretados con precaución, y no se podían sacar conclusiones generales".

Haralambie⁷⁰, hizo una observación muy interesante sobre las posibles causas del aumento de la producción máxima de lactato durante el ejercicio en niños, después de un periodo de entrenamiento. Se había demostrado que el entrenamiento provocaba un incremento en la masa muscular, una mayor actividad de la enzima PFK en la musculatura esquelética y una mayor concentración de glucógeno en el tejido muscular. Por tanto, era difícil predecir cuál de estos cambios, ejercía una influencia decisiva en la producción de lactato durante un esfuerzo físico máximo.

Por otro lado, había otros estudios que habían aportado datos de otras enzimas glucolíticas en niñas adolescentes, de 11 a 14 años, en los que no se habían observado diferencias con adultos de ambos sexos^{88,89}.

Estos resultados, junto a la escasa información existente acerca de otras enzimas del metabolismo energético, como las oxidativas, llevaron a Haralambie a realizar su estudio⁷⁰. En él, se realizaron biopsias del vasto lateral del cuádriceps, a 14 jóvenes adolescentes (7 de sexo femenino) en fase puberal, entre los 13 y 15 años y 14 adultos (7 de sexo femenino) entre 22 y 42 años. Se determinó la actividad de distintas enzimas glucolíticas (CK, hexosa fosfato isomerasa (PHI), PFK, aldolasa, triosa fosfato deshidrogenasa, 3-fosfogliceratokinasa, PK, enolasa, LDH y hidroxibutirato deshidrogenasa), oxidativas [lipoamido deshidrogenasa (LADH), CS), NADP-isocitrato deshidrogenasa (ICDH), fumarasa, MDH y NADH-deshidrogenasa] y enzimas del metabolismo de los ácidos grasos y aminoácidos.

Las enzimas glucolíticas mostraron valores similares en adultos y adolescentes, siendo algunas de estas, ligeramente superiores, en los adolescentes. A excepción de la enzima enolasa, no se encontraron diferencias significativas en la actividad enzimática muscular entre sexos. Parece ser que el sexo femenino mostró menores actividades de la enzima enolasa que los varones adolescentes y adultos. Sin embargo, al comparar los grupos de edad, por sexos de forma separada, no se observaron diferencias.

De las enzimas oxidativas, a excepción de la CS, todas mostraron mayores actividades en el grupo de adolescentes que en los adultos, LADH (= 0,05), ICDH (<0,001), fumarasa (<0,05), MDH (<0,05) y NADH-deshidrogenasa (<0,05) sin existir diferencias entre sexos.

No se encontraron diferencias en la actividad enzimática del metabolismo de los ácidos grasos, ni entre sexos, ni grupos de edad. Sin embargo, las actividades enzimáticas del metabolismo de los aminoácidos, tendieron a ser mayores en el grupo de adolescentes, siendo la actividad de la enzima aspartato aminotransferasa mayor significativamente.

La determinación de la enzima PFK se realizó en 8 adolescentes y 8 adultos (4 sujetos de sexo masculino en cada grupo) y los procedimientos usados necesitaron para el cálculo de la actividad enzimática, un coeficiente de absorción molar de 12,29 l/mol/cm a 334 nm. Los resultados enzimáticos fueron expresados en micromol/g/min a

37 °C. Los valores obtenidos para esta enzima en adolescentes y adultos fueron de $38,6 \pm 4,4$ y $45,5 \pm 10,9$ $\mu\text{mol/g/min}$, respectivamente (sin diferencias significativas).

Estos resultados, muestran una actividad enzimática de la PFK mayor que la descrita por Eriksson et al³¹, sin embargo, los autores lo achacan a la diferencia de edad entre la muestra poblacional que Eriksson et al³¹ utilizaron en su trabajo (niños prepuberales de 11 a 13 años), y en este trabajo los niños estaban todos en fase puberal, con edades comprendidas entre los 13 y 15 años. Aunque, hay que volver a señalar, que en el trabajo de Eriksson et al³¹, no se midió la maduración sexual de los 5 niños.

Para Haralambie⁷⁰, existe una gran semejanza entre los valores superiores de la enzima SDH en niños entre 11 y 15,5 años, comparados con adultos, descritos por Eriksson et al.^{19,31}, y los resultados de su estudio, en el que a excepción de la enzima CS, las del ciclo del ácido tricarboxílico “mostraron perceptiblemente actividades mayores y se pudo constatar que la oxidación de los residuos acetiles ocurrían probablemente a una tasa superior en adolescentes que en adultos”.

Estas afirmaciones, sin embargo, chocan con la realidad, en la que los valores, mostrados por Eriksson³¹, de la enzima SDH en niños entre 11 y 15,5 años, oscilaron entre los $5,4 \pm 0,4$ y $7,0 \pm 0,4$ $\mu\text{mol/g/min}$ (en niños de 11,2 y 11,3 años, sedentarios y después de entrenar 6 semanas en un cicloergómetro) y $5,8 \pm 0,5$ en niños de 15,5 años. Y en adultos, estos valores alcanzaron los $4,3 \pm 0,6$ (en adultos sedentarios) y $6,0 \pm 0,3$ hasta los $11,0 \pm 1,0$ $\mu\text{mol/g/min}$ (en adultos entrenados en distintas modalidades deportivas y ciclistas, respectivamente).

Por los datos de este estudio⁷⁰, se observa que los adolescentes (13-15 años) tienen una capacidad glucolítica mayor a lo que se creía generalmente, además sus músculos son capaces de oxidar piruvato a una tasa superior comparados con los adultos. Los autores manejan la idea que otras vías metabólicas están más activas en los adolescentes que en los adultos.

La conclusión del autor⁷⁰, fue: “las actividades enzimáticas glucolíticas en el músculo vasto lateral del cuádriceps, en adolescentes de 13 a 15 años de ambos sexos, no difieren significativamente de los encontrados en adultos. Por otro lado, muchas enzimas envueltas en la oxidación del piruvato, muestran actividades significativamente superiores en los adolescentes. Esto permite hipotetizar que durante un estado de hiperfuncionalidad muscular, la tasa de piruvato a lactato/oxidación del piruvato es menor que en adultos. Este es presumiblemente uno de los factores que explicaría, por un lado, los menores niveles absolutos de lactato sanguíneo y muscular, en adolescentes comparados con los adultos a varias cargas de trabajo, y por otro lado, el rápido comienzo de producción de energía oxidativa al comienzo del ejercicio, como propusieron Macek et al¹⁴”.

Unos años más tarde, Berg et al⁶⁹, estudiaron la actividad enzimática muscular (CK, PHI, aldolasa, PK, LDH, CS y fumarasa) en una muestra de 33 sujetos sanos activos, divididos en tres grupos con edades medias de 6,4 (8 sujetos, de los cuales 4 eran varones); 13,5 (12 sujetos, de los cuales 5 eran varones) y 17,1 (13 sujetos, con 5 varones) años. Las muestras se obtuvieron del vasto lateral del cuádriceps, con la finalidad de investigar las variaciones que sufrían con la edad. Los resultados mostraron incrementos significativos en la actividad de las enzimas aldolasa ($p < 0,05$) y PK ($p < 0,01$) y un descenso significativo en la actividad de la fumarasa ($p < 0,01$) con la edad. Para los autores, aunque se halla documentado bien la importancia de la evolución puberal en la capacidad glucolítica, la muestra prepuberal investigada en este trabajo, no muestra la esperada “actividad enzimática glucolítica menor”. En contra de los datos de Eriksson et al³¹, pero de acuerdo con Haralambie^{70,88}, la mayor actividad en la síntesis de ATP y actividad enzimática glucolítica, en particular, para la actividad de la enzima LDH, se encontró en la edad de 12 a 14 años. En las edades de 4 a 8 años, se incrementó la actividad enzimática del ciclo de los ácidos tricarbónicos, y Haralambie^{70,88} las encontró en niñas de 11 a 14 años comparados con adultos de ambos sexos.

Los autores señalan, que no solo la edad biológica, sino que también la actividad diaria habitual, pueden influenciar directamente la tasa enzimática muscular. Además penen de manifiesto su acuerdo con Haralambie⁷⁰, en que parece necesario tener en

cuenta otros factores metabólicos aparte de la actividad muscular glucolítica cuando se interpretan los resultados obtenidos tras un esfuerzo en la población infantil.

Los valores enzimáticos encontrados en los distintos estudios se pueden ver en la tabla 1, que resume todos los datos, que hemos encontrado, aportados por los distintos trabajos que han medido la actividad enzimática tanto en la población infantil y adolescente, como aquellos que los han comparado con la población adulta.

Tabla 1: Cuadro resumen de los estudios enzimáticos

AUTORES	MUESTRA	SEXO	EDAD (años)	PRUEBA	ESTADO DE FORMA FISICA	MUESTRA BIOPSIA	ENZIMAS	VALORES		P	
								Niños/Adolescentes	Adultos		
Eriksson et al. ³¹	5	masculino	11,2 ± 0,1 (10,9 - 11,5)	Test en cicloergómetro 60 rpm.	Entrenamiento durante 6 semanas en bicicleta (3 veces en semana, 20 min/días)	músculo vasto lateral del cuádriceps en reposo (1ª: antes entrenamiento; 2ª: 2 semanas; 3ª: 6 semanas)	PFK μmol(g x min)	1ª: 8,42 ± 1,46 (6,95-19,76)			
							SDH μmol(g x min)	2ª: 12,46 ± 1,09 (9,68-14,72)			
								3ª: 15,41 ± 1,62 (10,21-18,78)			
Gollnick et al. ⁶⁷	12	masculino	27 (24 - 30)		sedentarios	músculo vasto lateral del cuádriceps	PFK μmol(g x min)	25,3 ± 2,1			
	14	masculino	39 (31 - 52)		sedentarios		SDH μmol(g x min)	4,3 ± 0,6			
	12	masculino	25 (17 - 30)		distintos deportes		PFK	25,2 ± 1,9			
	4	masculino	24 (18 - 33)		ciclistas		SDH	4,4 ± 0,3			
	4	masculino	26 (25 - 27)		canoistas		PFK	19,9 ± 3,6			
	8	masculino	23 (19 - 33)		corredores		SDH	6,0 ± 0,3			
	5	masculino	21 (18 - 23)		nadadores		PFK	23,9 ± 1,4			
	4	masculino	25 (23 - 29)		levantadores peso		SDH	11,0 ± 1,0			
	11	masculino	52 (47 - 58)		carreras orientación		PFK	22,2 ± 4,7			
							SDH	5,8 ± 0,9			
	Komi et al. ⁸⁴	20 parejas de mellizos	masculino	17,8 (15 - 24)			músculo vasto lateral del cuádriceps	CPK (mol/g min)	0,03 ± 0,01	< 0,01	
11 parejas de mellizos		femenino	19,4 (15 - 24)				ME	74,2 ± 23,6	NS		
Haralambie et al. ⁸⁹	7	masculino	18 - 45			músculo vasto lateral cuádriceps en cirugía	HK	0,10 ± 0,06	NS		
	10	femenino	18 - 41				LDH	1,25 ± 0,5	NS		
	8	femenino	11 - 14				LDH	0,70 ± 0,2	< 0,05		
Haralambie G. ⁸⁵	12	femenino	12,9 ± 1,4 (11-14)			músculo vasto lateral cuádriceps en cirugía	LDH-1	16,2 ± 12,2	< 0,05		
	10	femenino	36,2 ± 7,0				CPK	0,02 ± 0,01			
							ME	80,6 ± 23,7			
Haralambie G. ⁷⁰	14	ambos (7 y 7)	13 - 15			músculo vasto lateral cuádriceps en cirugía	Enzimas Gucolíticas (U/g w. w.)	198,6 ± 15,4			
	14	ambos (7 y 7)	22 - 42				CK	175,8 ± 49,0			
							PHI	168,5 ± 40,8			
							PFK	165,0 ± 40,0			
							Aldolasa	298,4 ± 91,9			
							TPDH	125,9 ± 19,4	H		
							3-fosfoglicerato kinasa	48,3 ± 7,7	< 0,03		
							Enzimas Oxidativas	49,9 ± 14,0	< 0,05		
							LDH	11,5	11,12		
							CK	7770 ± 1725	6655 ± 1748	NS	
							PHI	290 ± 48,7	310,7 ± 79,0	NS	
							PFK	38,6 ± 4,4	45,5 ± 10,9	NS	
							Aldolasa	68 ± 13,0	64,3 ± 14,6	NS	
							TPDH	567 ± 169,3	549 ± 170,9	NS	
							3-fosfoglicerato kinasa	397,6 ± 101,4	383 ± 106,6	NS	
							PK	203,2 ± 39,7	188,2 ± 55,0	NS	
							Enolasa	237,7 ± 39,1	220,3 ± 62,6	NS	
						LDH	301,5 ± 76,6	278 ± 101	NS		
						HBDH	78,3 ± 15,0	64,7 ± 18,6	NS		
						Enzimas Oxidativas	LADH	18,2 ± 7,2	13,0 ± 3,68	< 0,05	
							CS	28,5 ± 7,33	25,0 ± 5,34	NS	
							ICDH	41,9 ± 7,4	29,1 ± 7,5	< 0,001	
							Fumarasa	54,3 ± 11,8	43,6 ± 10,8	< 0,02	
							MDH	624,0 ± 106,6	438,7 ± 148,7	< 0,005	
							NADH-deshidrogenasa	106,2 ± 24,2	76,4 ± 24,5	< 0,03	
							Enzimas del metabolismo de los ácidos grasos	Acetil-CoA triolasa	9,22 ± 1,5	10,4 ± 3,4	NS
							CATf	4,75 ± 1,17	4,97 ± 1,61	NS	
							3-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa	18,5 ± 3,9	18,3 ± 2,3	NS	
							Enzimas del metabolismo de los aminoácidos	Alanina aminotransferasa	13,1 ± 3,5	10,5 ± 4,0	NS
							Aspartato aminotransferasa	188,3 ± 23,9	133,3 ± 32,0	< 0,001	
							Glutamato deshidrogenasa	3,32 ± 0,94	2,53 ± 1,10	NS	
Berg et al. ⁶⁹	G1: 8	ambos (4 y 4)	6,4 ± 2,1		Activos hasta 1 - 5 días antes	músculo vasto lateral cuádriceps en cirugía	CK (μmol/min/g)	G1: 5208 ± 774	NS		
	G2: 12	ambos (5 y 7)	13,5 ± 1,3				PHI	G2: 6886 ± 2251	NS		
	G3: 13	ambos (5 y 8)	17,1 ± 0,8				PHI	G3: 6351 ± 3063	NS		
							Aldolasa	G1: 252 ± 127	NS		
								G2: 315 ± 65,2	NS		
								G3: 288 ± 92,9	NS		
								G1: 35,5 ± 11,9	< 0,01		
								G2: 60,5 ± 15,0	NS		
								G3: 53,6 ± 23,2	NS		
								G1: 130 ± 61,6	< 0,05		
								G2: 192 ± 52,5	NS		
								G3: 188 ± 58,2	NS		
								G1: 137 ± 39,7	< 0,05		
								G2: 333 ± 87,5	NS		
								G3: 215 ± 57,9	NS		
							G1: 28,3 ± 6,8	NS			
							G2: 22,5 ± 10,0	NS			
							G3: 22,1 ± 8,2	NS			
							G1: 57,6 ± 9,5*	< 0,05			
							G2: 45,7 ± 12,4	NS			
							G3: 41,0 ± 13,4*	NS			
Kaczor et al. ⁶⁸	G1: 20	masculino	3 - 11		sedentarios	músculo abdominal oblicuo interno en cirugía	Enzimas anaerobicas (μmol/min/g)	LDH	14,0 ± 51,3	< 0,0002	
	G2: 12	masculino	29 - 54				AK	59,2 ± 98,1	< 0,006		
							CK	346,7 ± 592,4	< 0,0005		
							Enzimas anaerobicas	OGDH	0,48 ± 1,50	< 0,04	
								CPT	0,15 ± 0,51	NS	
								Contenido proteico	110,6 ± 17,4	< 0,005	

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Realizada la revisión del estado actual del conocimiento relacionada con nuestro problema, podemos plantear los siguientes objetivos e hipótesis.

2.1. Objetivos.

1. Analizar e intentar establecer la causa de las diferencias existentes en el desarrollo de potencia, observadas entre niños y adultos, en pruebas de carga máxima.
2. Comparar las concentraciones de lactato sanguíneo obtenidas en los niños y niñas de esta investigación, en relación con la bibliografía existente y con un grupo de sujetos adultos atletas.
3. Dar respuesta a las diferencias, habitualmente informadas, en las concentraciones de lactato sanguíneo entre niños y adultos.
4. Analizar los componentes aeróbicos y anaeróbicos durante un ejercicio progresivo, hasta el agotamiento, a través del análisis ventilatorio realizado.
5. Estudiar la eficacia de la ventilación para eliminar CO₂ en estas edades.
6. Establecer una explicación más ajustada sobre la implicación de las vías metabólicas durante el ejercicio en niños, relacionando los resultados obtenidos en este trabajo, con los distintos datos que aporta la literatura al respecto.

2.2. Hipótesis.

Con intención de dar respuesta a los objetivos planteados en este trabajo, vamos a establecer las siguientes hipótesis de partida:

1. Las diferencias de potencia observadas entre niños y adultos en pruebas de carga máxima (como el Test Anaeróbico de Wingate) pueden deberse al desarrollo y maduración del sistema muscular más que a diferencias reales en la potencia anaeróbica.
2. Las menores concentraciones de lactato en sangre informadas habitualmente en los niños en relación con los adultos, pueden deberse a la utilización de un test inadecuado para los niños, por lo que el lactato sanguíneo acumulado al final de una prueba progresiva hasta el agotamiento debe ser similar al de los adultos.
3. El análisis de los componentes aeróbico y anaeróbico durante un esfuerzo progresivo siguiendo el modelo trifásico de Skinner y McLellan⁹⁰, debe mostrar en los niños un comportamiento similar al de los adultos.
4. La eficacia de la ventilación para eliminar CO₂ debe ser similar en niños y adultos.

3. MÉTODO

3. MÉTODO.

3.1. Muestra.

3.1.1. Selección de la muestra y distribución de los grupos.

El proceso de selección de la muestra se realizó en diferentes colegios y clubes deportivos (fútbol, atletismo y patinaje) de la provincia de Sevilla. Para la selección se establecieron una serie de requisitos previos, como son:

- Edad. Se establecieron seis grupos de edades (7, 8, 9, 10, 11 y 12 años).
- Sexo. Cada grupo lo formaron sujetos de ambos sexos, estableciendo un mínimo de 10 sujetos de cada sexo por grupo de edad. De forma que cada grupo de edad lo formaba un mínimo de 20 sujetos (10 de cada sexo).
- Ausencia de enfermedad. Para ser seleccionados, los sujetos no debían presentar ninguna enfermedad o patología que pudiera suponer un riesgo ante el esfuerzo físico. Para ello, se presentó por parte de los padres o tutores un informe de antecedentes médicos del propio sujeto y familiares, además se realizó un reconocimiento médico previo para controlar este condicionante.
- Raza. Todos los sujetos de la muestra son de raza caucasiana.

Finalizado el proceso de selección, se informó a los sujetos y a los padres y/o tutores sobre el objetivo del estudio, el reconocimiento médico que se iba a llevar a cabo y el desarrollo de la prueba. Para ello, se entregó un consentimiento que debían presentar el día del estudio, firmado por los padres y/o tutores, junto al documento de antecedentes médicos del sujeto y familiares.

Así, la muestra quedó configurada por 164 sujetos de raza blanca, sanos, 86 de sexo masculino y 78 de sexo femenino, con edades comprendidas entre los 7 y los 12 años, agrupados por edad y sexo, como se detalla en la Tabla 2.

TABLA 2: Agrupación por edad y sexo de la muestra poblacional (n = 164).

TOTAL MUESTRA (n = 164)							
Sexo	Edad						TOTAL
	7	8	9	10	11	12	
M	14	14	18	11	19	10	86
F	11	16	11	12	17	11	78
TOTAL	25	30	29	23	36	21	164

Los sujetos pertenecían a la provincia de Sevilla, y su elección ha sido aleatoria entre varios centros educativos (Colegio Público Purísima Concepción, ubicado en el municipio de La Algaba y el Colegio Concertado Nuestra Señora del Rosario, situado en la ciudad) y clubes deportivos de la provincia (Escuela Deportiva de Fútbol en el municipio de La Algaba, Club de Atletismo San Pablo y la Escuela de Patinaje “El Paraguas”).

Aparte de la muestra estudiada para este trabajo, y exclusivamente con el objetivo de comparar algunos parámetros (concentración de lactato sanguíneo final y potencia máxima desarrollada durante la prueba), se han utilizado los resultados obtenidos en una prueba de esfuerzo similar a la realizada en este trabajo por parte de un grupo de 15 adultos varones deportistas de élite (ciclistas y triatletas). Este grupo fue estudiado con anterioridad a la realización de este trabajo, en el mismo centro, bajo las mismas condiciones y por el mismo personal investigador.

3.2. Material e instrumental.

3.2.1. Instalación.

La instalación utilizada para el estudio, ha sido el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio del Centro Andaluz de Medicina del Deporte (CAMD), Sevilla.

3.2.2. Instrumental.

3.2.2.1. Características de los sujetos. Antropometría:

- **Peso:** balanza con precisión de 100 gramos.
- **Talla:** tallímetro con escala milimetrada.

3.2.2.2. Reconocimiento médico:

- **Presión arterial:** manómetro de mercurio.
- **Electrocardiograma (E.C.G.):** Estudio de 12 derivaciones en un PC-E.C.G.-1200, de la casa NORAV MEDICAL LTD.



FIGURA 3: Realización de un E.C.G. a un sujeto experimental.

- **Espirometría:** con un espirómetro modelo DATOSPIR 120 C de la casa Sibelmed®.



FIGURA 4: Realización de una espirometría a un sujeto experimental.

3.2.2.3. Prueba de esfuerzo:

- 3.2.2.3.1. Ergómetro:** Cicloergómetro electrónico ER 800® de la casa Jaegger (Bitz, Germany).
- 3.2.2.3.2. Análisis ventilatorio:** Analizador de gases Vmax Spectra® de la casa Sensor Medics (Yorba Linda, California, USA) con análisis paramagnético del CO₂ y por célula química para el oxígeno. Los parámetros ventilatorios se obtuvieron por integración del flujo recogido mediante un flujómetro de diferencia de temperatura.
- 3.2.2.3.3. Determinación del umbral ventilatorio (VT₂):** El VT₂ se determinó de acuerdo con el método ventilatorio de Skinner y McLellan⁹⁰.
- 3.2.2.3.4. Determinación de la frecuencia cardíaca:** La frecuencia cardíaca se recogió mediante un monitor de pulso cardíaco 810i® Polar.

3.2.2.3.5. Determinación de la concentración de lactato sanguíneo:
Minifotómetro Dr. Lange LP20® (Berlin, Germany) con filtro de 520 nm.



FIGURA 5: Prueba de esfuerzo de un sujeto experimental.

3.2.2.4. Material desechable:

- Guantes de látex.
- Algodón.
- Alcohol.
- Capilares de 10 μ l.
- Boquillas de cartón (espirometría).

3.3. Diseño.

Esta investigación se ha desarrollado bajo un diseño experimental, concretamente se trata de un ensayo cuasiexperimental (no hay grupo control y no es aleatorio), analítico y transversal.

La variable independiente es el ejercicio.

3.4. Variables.

3.4.1. Variables independientes:

- Intensidad del ejercicio (W).
- Edad. Seis niveles:
 - 7 años.
 - 8 años.
 - 9 años.
 - 10 años.
 - 11 años.
 - 12 años.
- Sexo. Dos niveles:
 - Masculino.
 - Femenino.

3.4.2. Variables dependientes:

- Datos registrados en la prueba de esfuerzo:
 - Potencia final (W).
 - Potencia final relativa a la masa corporal (W/kg).
 - VO₂ absoluto (L/min) y relativo a la masa corporal (ml/kg/min).
 - Producción de CO₂ (L/min).
 - Ventilación (BTPS) (L/min).
 - Espacio muerto fisiológico estimado (VD/Vt Est).
 - Presión de CO₂ al final de la espiración (Pet CO₂) (mmHg).
 - Equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂).
 - Equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂).
 - Frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min).
 - Tasa de intercambio respiratorio (RER).
 - Lactato final (mmol/L).
 - Lactato final relativo a la masa corporal (mmol/kg).

- Lactato final relativo a la potencia desarrollada (mmol/W).

3.4.3. Variables contaminadoras o extrañas. Control experimental:

- Variables situacionales:
 - Condiciones ambientales. Temperatura del laboratorio y humedad. La temperatura del laboratorio se mantuvo entre los 20 y 25 °C y la humedad fue del 70%.
- Variables del sujeto:
 - Edad. Si controlada.
 - Actividad Física. Si controlada. El estado de forma física de los sujetos se ha clasificado por su implicación en alguna actividad deportiva reglada, tanto por las respectivas federaciones como por los clubes deportivos, en cuyo caso, se ha señalado la modalidad deportiva y las horas semanales dedicadas (ver Tabla 7). Y los sujetos que no reunían estas características, se han clasificado como “no practicantes”. Aunque existe una diferencia notable en el grado de actividad física de los niños y niñas que viven en el municipio de La Algaba y los que viven en la ciudad. Destacando que los primeros, en una gran mayoría, juegan y/o participan en diferentes actividades físicas no regladas, en su tiempo de ocio. Sin embargo, los niños y niñas que viven en la ciudad y no practican una actividad física reglada, son en gran mayoría sedentarios.
 - Lugar y hora de realización de la prueba. Todas las pruebas se realizaron en el mismo laboratorio, por la tarde, a partir de las 16.00 horas, hasta las 19.00 horas.
 - Madurez. No controlado.

3.5. PROCEDIMIENTO

3.5.1. Distribución de las sesiones de trabajo:

Las pruebas se realizaron durante los meses de Enero a Junio, y de Octubre a Diciembre de 2005. Todas tuvieron lugar por la tarde (16.00-19.00 horas) y la sistemática de revisión empleada incluyó un cuestionario de antecedentes médicos (personales y familiares) remitidos a los padres con anterioridad al examen, una revisión médica compuesta por medidas de talla, peso, presión arterial y un electrocardiograma de reposo (espirometría en función de los antecedentes) y una prueba de esfuerzo en laboratorio. El estudio ha sido aprobado por el Comité Ético del Centro Andaluz de Medicina del Deporte.

3.5.2. Prueba de esfuerzo:

El instrumento de medida ha consistido en realizar una prueba de esfuerzo progresiva máxima con escalones de 1 minuto en un cicloergómetro electrónico ER 800® de la casa Jaegger (Bitz, Germany), con medición de gases, ventilación, frecuencia cardíaca y lactato sanguíneo al final de la prueba.

3.5.3. Protocolo:

El protocolo establecido para la realización de la prueba, ha consistido en dos partes. Una primera parte de toma de contacto con el personal investigador, instalación y material, donde una vez situado en el cicloergómetro, se explicaba al sujeto el procedimiento de la prueba. La segunda parte, consistía en la realización de la prueba, iniciándose a 25 vatios durante un minuto, con incrementos de 10 W/min. La frecuencia mínima de pedaleo se estableció en 50 r.p.min, considerando no válida aquellas pruebas

que bajaban de esta frecuencia mínima antes de alcanzar el final. En estos casos, no se volvió a repetir la prueba, y los datos no fueron incluidos en los resultados.

En todas las pruebas se estimuló a los sujetos verbalmente para lograr que se realizara hasta el agotamiento. Al finalizar la prueba se obtuvo una muestra de sangre capilar de la yema del dedo corazón para el análisis de lactato.

Durante la prueba se recogió de forma continua la ventilación en un analizador Vmax Spectra® de la casa Sensor Medics (Yorba Linda, California, USA) con análisis paramagnético del CO₂ y por célula química para el oxígeno. Los parámetros ventilatorios se obtuvieron por integración del flujo recogido mediante un flujómetro de diferencia de temperatura. La frecuencia cardíaca se recogió mediante un monitor de pulso cardíaco 810i® Polar, insertando los datos cada 15 segundos. El lactato en sangre se analizó a partir de una muestra capilar en un minifotómetro Dr. Lange LP20® (Berlin, Germany) con filtro de 520 nm.

Todos los resultados fueron almacenados en una base de datos para su análisis, empleando el programa Excel 2003 de Microsoft Office®.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se ha realizado un análisis estadístico descriptivo, calculando medias, desviaciones estándar (D.S.), varianza y la prueba t de Student para dos muestras de varianza distinta, considerando significativa una $p < 0,05$.

También se han realizado regresiones lineales para el estudio de las relaciones entre los parámetros de FC y VO₂/kg, y entre VE y VCO₂.

4. RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1. Antropometría y características generales de la muestra.

4.1.1. Datos antropométricos de la muestra.

TABLA 3: Datos antropométricos de la muestra.

MUESTRA (n = 162)					
Edad (años)	Sexo	Peso (kg)		Talla (cm)	
		MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.
7	M	30,77	6,73	129,84	5,78
	F	29,50	6,96	124,75	6,28
8	M	32,72	7,64	133,35	6,30
	F	30,23	8,73	132,54	7,75
9	M	38,30	7,77	137,17	8,14
	F	36,06	9,36	134,64	6,07
10	M	37,55	8,34	140,97	7,81
	F	43,13	10,15	144,98	7,96
11	M	45,59	11,76	147,59	8,17
	F	42,68	8,32	148,52	8,44
12	M	49,99	16,05	154,00	10,67
	F	45,77	10,58	150,79	9,55

En la Tabla 3 se muestran las medidas antropométricas de los distintos grupos de edad y sexo, expresados por las medias y las desviaciones estándar correspondientes. La masa corporal en ambos sexos va aumentando con la edad, pasando de $30,77 \pm 6,73$ (7 años) a $49,99 \pm 16,05$ kg (12 años) en el grupo de sexo masculino (M) y de $29,50 \pm 6,96$ (7 años) a $45,77 \pm 10,58$ kg (12 años) en el grupo de sexo femenino (F). La altura en ambos sexos tiene un comportamiento similar al peso. El grupo de sexo masculino alcanza una altura media a los 7 años de $129,84 \pm 5,78$ cm, llegando a los 12 años hasta los $154,00 \pm 10,67$ cm. El grupo de sexo femenino alcanza a los 7 años una altura media de $124,75 \pm 6,28$ cm y a los 12 años $150,79 \pm 9,55$ cm.

TABLA 4: Valor de p (t-Student) para el peso (kg) y la talla (cm) para cada grupo de edad y su consecutivo, y entre el primer y último grupo de edad, en la muestra de sexo masculino.

p NIÑOS		
Edad	Peso (kg)	Talla (cm)
7 y 8	0,48	0,14
8 y 9	0,05	0,15
9 y 10	0,81	0,23
10 y 11	0,04	0,04
11 y 12	0,46	0,12
7 y 12	0,004	0,00002

La Tabla 4 muestra el valor de p, de todos los sujetos de sexo masculino, de cada grupo de edad y su consecutivo y al final de la tabla, en color verde, se representa el valor de p entre el primer y último grupo de edad, para los parámetros de peso (kg) y talla (cm). Se representan de color rojo aquellos valores que muestran diferencias significativas. Respecto al peso, existen diferencias significativas entre los grupos de 8 y 9; 10 y 11; y 7 y 12 años ($p \leq 0,05$). Al comparar la talla se encuentran diferencias significativas entre los 10 y 11 años ($p \leq 0,05$) y entre los 7 y 12 años ($p \leq 0,001$).

TABLA 5: Valor de p (t-Student) para el peso (kg) y la talla (cm) para cada grupo de edad y su consecutivo, y entre el primer y último grupo de edad, en la muestra de sexo femenino.

p NIÑAS		
Edad	Peso (kg)	Talla (cm)
7 y 8	0,81	0,01
8 y 9	0,12	0,44
9 y 10	0,10	0,002
10 y 11	0,90	0,26
11 y 12	0,42	0,53
7 y 12	0,001	0,000001

La Tabla 5 muestra el valor de p, de todos los sujetos de sexo femenino, de cada grupo de edad y su consecutivo y al final de la tabla, en color verde, se representa el valor de p entre el primer y último grupo de edad, para los parámetros de peso (kg) y talla (cm). Se representan de color rojo aquellos valores que muestran diferencias significativas. Respecto al peso, solo se observan diferencias significativas entre el primer y último grupo de edad ($p \leq 0,001$). Al comparar la talla se encuentran diferencias significativas entre los grupos de 7 y 8; 9 y 10 ($p \leq 0,05$); y entre el primer y último grupo de edad ($p \leq 0,001$)

TABLA 6: Comparación entre sexos del peso (kg) y talla (cm) de toda la muestra por edades.

p NIÑOS-NIÑAS		
Edad	Peso (kg)	Talla (cm)
7	0,65	0,05
8	0,41	0,76
9	0,52	0,36
10	0,16	0,24
11	0,40	0,74
12	0,49	0,48

La Tabla 6 muestra el valor de p (t-Student) para el peso y la talla entre sexos en cada grupo de edad. Se representa de color rojo aquellos valores que muestran diferencias significativas, observando que solo en el grupo de 7 años, existen diferencias relativas a la talla ($p \leq 0,05$) entre sexos.

4.1.2. Características individuales generales de la muestra (sexo, número de historia (I.D.), edad, peso, talla y actividad física).

TABLA 7: Características individuales generales de la muestra (sexo, número de historia (I.D.), edad, peso, talla y actividad física).

MUESTRA TOTAL (n = 164)					
Sexo	I.D.	Edad	Peso (kg)	Talla (cm)	Actividad física
F	T129	12	49,20	153,00	AEROBIC / 2h
F	T117	10	50,40	156,50	AEROBIC / 3h
F	T174	7	34,30	129,00	BAILE / 2h.
F	T054	11	31,10	148,40	ESC. VOLEIBOL / 3H
F	T061	11	49,40	157,00	ESC. VOLEIBOL / 3H
F	T062	11	51,00	158,80	ESC. VOLEIBOL / 3H
F	T065	11	34,60	141,00	ESC. VOLEIBOL / 3H
F	T055	12	50,90	149,00	ESC. VOLEIBOL / 3H
F	T006	9	27,00	136,00	ESC.ATLETISMO / 4,5h
M	T005	9	46,00	148,00	ESC.ATLETISMO / 4,5h
F	T004	10	32,50	146,00	ESC.ATLETISMO / 4,5h
F	T003	10	40,50	152,00	ESC.ATLETISMO / 4,5h
F	T022	11	43,50	162,00	ESC.ATLETISMO / 4,5h
M	T133	9	31,70	127,60	ESC.FUTBOL / 10h
M	T145	11	40,20	147,20	ESC. FUTBOL / 9 h
M	T037	7	27,30	132,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T039	7	26,30	131,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T041	7	35,50	127,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T042	7	23,20	124,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T074	7	39,60	131,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T075	7	24,40	122,90	ESC.FUTBOL / 3h
M	T076	7	31,60	125,50	ESC.FUTBOL / 3h
M	T079	7	43,30	135,60	ESC.FUTBOL / 3h
M	T034	8	26,50	125,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T035	8	35,70	140,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T040	8	32,40	136,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T044	8	31,40	132,50	ESC.FUTBOL / 3h
M	T048	8	37,50	135,40	ESC.FUTBOL / 3h
M	T052	8	21,00	119,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T053	8	54,20	145,30	ESC.FUTBOL / 3h
M	T070	8	31,50	134,80	ESC.FUTBOL / 3h
M	T071	8	29,20	134,10	ESC.FUTBOL / 3h
M	T080	8	27,90	129,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T028	9	34,70	131,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T029	9	29,00	127,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T030	9	34,00	130,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T032	9	34,20	141,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T045	9	36,70	140,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T046	9	36,70	130,60	ESC.FUTBOL / 3h
M	T047	9	33,30	136,00	ESC.FUTBOL / 3h

M	T049	9	47,20	136,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T050	9	37,30	127,30	ESC.FUTBOL / 3h
M	T051	9	58,90	146,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T077	9	45,20	153,60	ESC.FUTBOL / 3h
M	T078	9	28,20	132,70	ESC.FUTBOL / 3h
M	T026	10	28,40	134,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T027	10	33,10	146,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T036	10	38,50	140,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T139	10	47,00	144,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T031	11	35,70	147,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T033	12	64,10	152,00	ESC.FUTBOL / 3h
M	T072	12	37,60	143,60	ESC.FUTBOL / 3h
M	T073	12	39,50	151,20	ESC.FUTBOL / 3h
F	T064	9	45,70	140,30	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T056	10	54,00	144,50	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T068	10	38,30	128,40	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T069	10	39,50	137,80	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T058	11	32,50	142,50	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T059	11	37,30	144,90	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T066	11	42,10	146,00	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T067	11	40,00	140,50	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T057	12	32,70	135,70	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T060	12	43,00	148,70	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
F	T063	12	44,60	149,00	ESC.FUTBOL / 4,5-6h
M	T025	7	32,40	136,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T011	10	43,80	146,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T012	10	50,90	154,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T021	10	35,10	141,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T024	10	36,60	140,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T008	11	49,00	141,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T009	11	58,00	152,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T010	11	36,70	139,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T013	11	33,00	142,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T015	11	36,30	144,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T016	11			ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T018	11	56,70	152,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T019	11	32,20	141,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T020	11	39,50	157,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T023	11	44,70	138,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
M	T007	12	30,00	136,00	ESC.FUTBOL / 4,5h
F	T126	11	39,00	137,30	FLAMENCO / 2h.
F	T103	9	34,30	133,70	FLAMENCO/ 3h.
M	T151	9	34,10	36,70	FUTBOL / 4,5 h
M	T163	12	65,50	159,20	FUTBOL / 5 h
M	T164	12	51,10	165,00	FUTBOL / 5 h
M	T165	12	80,20	166,60	FUTBOL / 5 h
M	T166	12	33,50	147,30	FUTBOL / 5 h
M	T167	12	53,00	168,70	FUTBOL / 5 h
F	T088	9	26,90	129,50	GIM. DEPORTIVA / 3h
M	T152	11	49,60	146,50	KARATE / 2h

M	T095	7	29,30	122,70	NATAACION / 2h
F	T096	9	31,80	128,60	NATAACION / 2h
M	T128	10	45,00	144,80	NATAACION / 2h
M	T127	11	56,80	148,40	NATAACION / 2h
M	T094	12	45,40	150,40	NATAACION / 2h
M	T120	7	25,60	122,70	NATAACION / 2h
M	T099	11	77,10	159,10	NATAACION / 2h
F	T168	7	19,90	113,00	NATAACION / 2h
F	T143	8	30,50	131,50	NATAACION / 2h
F	T169	7	38,00	127,10	NATAACION / 3h
F	T107	7	19,20	114,30	NO PRACTICA
F	T146	7	38,70	133,60	NO PRACTICA
F	T154	7	29,10	124,70	NO PRACTICA
F	T157	7	36,80	128,80	NO PRACTICA
F	T170	7	29,80	123,40	NO PRACTICA
F	T171	7	28,60	123,20	NO PRACTICA
F	T172	7	27,50	129,70	NO PRACTICA
F	T173	7	22,60	125,50	NO PRACTICA
M	T101	7	21,30	132,00	NO PRACTICA
F	T089	8	35,80	139,70	NO PRACTICA
F	T090	8	53,70	135,80	NO PRACTICA
F	T091	8	25,70	133,20	NO PRACTICA
F	T092	8	31,20	139,80	NO PRACTICA
F	T104	8	41,10	144,60	NO PRACTICA
F	T106	8	22,70	125,50	NO PRACTICA
F	T110	8	26,30	123,60	NO PRACTICA
F	T111	8	30,50	137,50	NO PRACTICA
F	T112	8	22,00	123,50	NO PRACTICA
F	T142	8	22,80	128,40	NO PRACTICA
F	T144	8	39,90	148,80	NO PRACTICA
F	T148	8	23,70	125,60	NO PRACTICA
F	T149	8	21,30	126,00	NO PRACTICA
M	T087	8	30,00	132,00	NO PRACTICA
M	T097	8	38,20	137,50	NO PRACTICA
M	T098	8	29,10	133,30	NO PRACTICA
M	T119	8	33,50	133,00	NO PRACTICA
F	T115	9	41,20	144,10	NO PRACTICA
F	T147	9	56,50	143,10	NO PRACTICA
F	T153	9	37,20	127,20	NO PRACTICA
F	T155	9	25,50	133,00	NO PRACTICA
M	T043	9			NO PRACTICA
M	T138	9	42,20	147,80	NO PRACTICA
M	T150	9	41,70	140,60	NO PRACTICA
F	T038	10	34,60	137,00	NO PRACTICA
F	T084	10	35,00	146,80	NO PRACTICA
F	T105	10	66,70	155,20	NO PRACTICA
F	T113	10	48,50	148,00	NO PRACTICA
F	T114	10	34,00	145,00	NO PRACTICA
F	T132	10	43,50	142,50	NO PRACTICA
M	T134	10	24,70	123,60	NO PRACTICA

M	T141	10	30,00	137,30	NO PRACTICA
F	T082	11	47,00	151,70	NO PRACTICA
F	T083	11	53,50	156,80	NO PRACTICA
F	T108	11	50,30	149,50	NO PRACTICA
F	T121	11	28,50	130,20	NO PRACTICA
F	T122	11	40,90	153,70	NO PRACTICA
F	T123	11	47,40	150,50	NO PRACTICA
F	T124	11	57,50	154,10	NO PRACTICA
M	T081	11	38,50	144,80	NO PRACTICA
M	T125	11	37,20	136,00	NO PRACTICA
M	T140	11	56,90	167,20	NO PRACTICA
F	T093	12	54,90	162,00	NO PRACTICA
F	T102	12	60,30	164,70	NO PRACTICA
F	T116	12	31,60	140,00	NO PRACTICA
F	T118	12	42,20	150,00	NO PRACTICA
F	T130	12	61,00	163,80	NO PRACTICA
F	T131	12	33,10	142,80	NO PRACTICA
F	T160	8	27,10	129,20	PATINAJE /3h
F	T161	8	29,30	128,00	PATINAJE /3h
F	T156	9	39,60	137,50	PATINAJE /3h
F	T162	9	31,00	128,00	PATINAJE /3h
M	T086	7	31,30	134,60	TENIS / 3h
M	T109	7	39,70	140,70	TENIS / 3h
M	T085	11	42,50	154,50	TENIS MESA / 2h

En la Tabla 7 se describe por orden de columnas, el sexo masculino o femenino; el número de historia; la edad; el peso; la talla y el tipo de actividad física que practica (detallando el deporte y a continuación las horas semanales dedicadas) de todos los sujetos de la muestra, ordenados por el último parámetro. En el caso de los sujetos que no realizan actividades o deportes reglados, se denominan como no practicantes (NO PRACTICA). Las actividades o deportes desarrollados por la muestra son: aeróbic (2), baile (1), voleibol (5), atletismo (5), fútbol (73), flamenco (2), gimnasia deportiva (1), karate (1), natación (10), patinaje (4), tenis (2) y tenis de mesa (1). Los sujetos que no realizan ninguna actividad o deporte reglado son 57.

Los datos que no se han podido recoger, aparecen señalados de color amarillo.

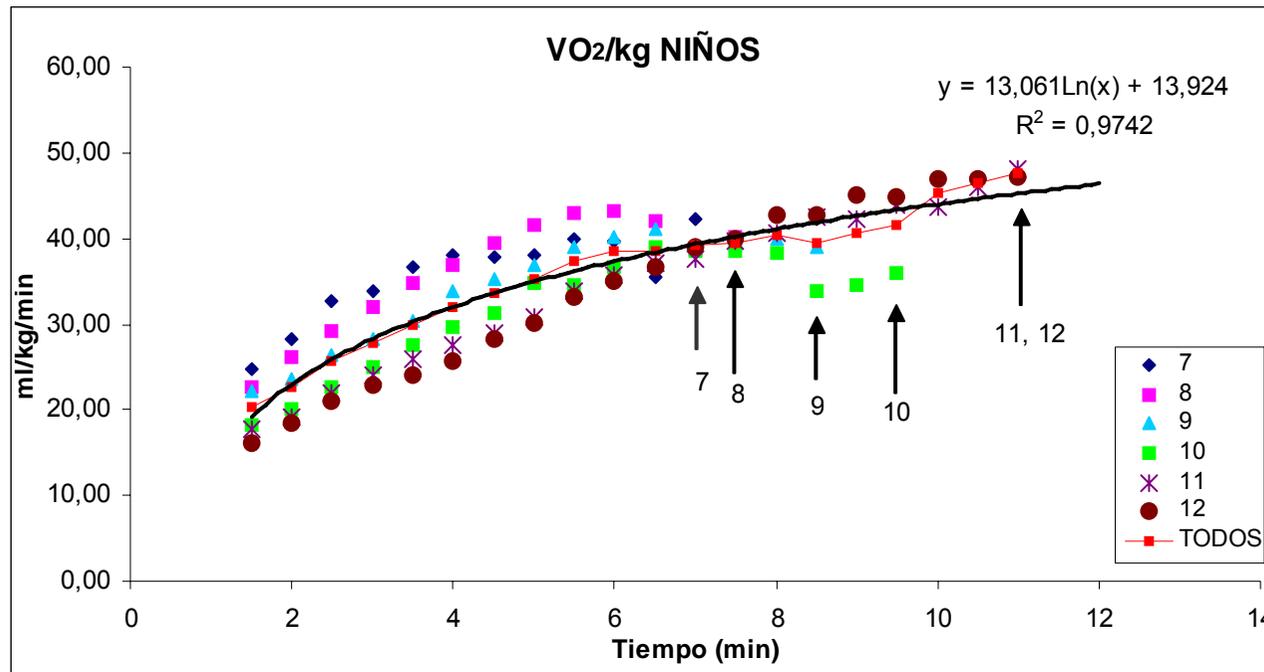
4.2. Datos de la prueba de esfuerzo.

4.2.1. Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 8: Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	24,65	10,37	22,66	9,78	22,12	7,46	18,31	6,97	17,69	4,75	16,18	4,56	20,27
2	28,21	10,97	26,18	11,27	23,60	8,27	20,01	7,73	19,25	5,11	18,38	4,96	22,61
2,5	32,60	12,55	29,22	13,46	26,40	8,94	22,73	8,15	21,94	5,02	21,11	5,31	25,67
3	33,84	12,01	32,09	12,59	28,29	8,33	25,08	8,54	24,15	6,24	22,78	5,49	27,71
3,5	36,75	12,75	34,84	14,95	30,30	8,13	27,48	9,31	25,89	6,16	23,96	5,53	29,87
4	37,97	11,74	36,95	14,94	33,77	8,58	29,71	10,45	27,63	6,63	25,75	5,59	31,96
4,5	37,82	11,29	39,56	15,20	35,25	8,46	31,32	10,30	28,98	6,98	28,17	6,14	33,52
5	37,99	12,42	41,56	14,75	36,92	9,01	34,68	10,12	30,93	7,26	30,02	7,32	35,35
5,5	40,02	12,12	42,92	13,84	39,08	9,51	34,56	9,98	33,82	7,43	33,15	7,49	37,26
6	39,63	11,05	43,18	14,88	40,27	9,49	36,75	10,96	35,63	8,03	34,97	9,05	38,41
6,5	35,42	10,46	41,91	12,45	41,04	8,04	38,91	11,57	37,17	7,96	36,70	8,76	38,52
7	42,18	15,77	38,87	8,73	39,31	9,82	38,44	12,41	37,60	8,94	39,05	9,14	39,24
7,5			40,10	6,34	39,22	8,42	38,55	11,84	39,79	9,31	39,90	9,70	39,51
8					39,95	8,99	38,28	7,20	40,73	11,00	42,69	10,09	40,41
8,5					39,03	11,11	33,95	8,68	42,44	11,18	42,69	10,88	39,53
9							34,60	12,45	42,29	11,49	45,13	10,12	40,68
9,5							35,85	11,38	43,80	5,87	44,84	10,84	41,50
10									43,76	8,24	46,99	10,18	45,37
10,5									46,08	10,51	46,86	10,15	46,47
11									48,08	11,58	47,14	9,56	47,61

En la Tabla 8 se muestran los datos obtenidos de VO₂/kg durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 20,27 y los 47,61 ml/kg/min.



p NIÑOS	
EDAD	VO ₂ /kg
7 y 8	0,81
8 y 9	0,47
9 y 10	0,28
10 y 11	0,32
11 y 12	0,98
7 y 12	0,65

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	VO ₂ /kg
7	0,04
8	0,001
9	0,0002
10	0,23
11	0,15
12	0,08

FIGURA 6: Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

En la Figura 6 se representan gráficamente los valores medios de VO₂/kg en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. No se observan diferencias significativas entre ningún grupo de sexo masculino, pero sí existen al comparar por sexos en los grupos de 7 ($p \leq 0,05$), 8 y 9 años ($p \leq 0,001$). Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste logarítmico con una correlación de 0,9742.

4.2.2. Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 9: Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	20,67	8,12	17,16	8,29	13,95	6,43	17,93	3,61	15,86	5,36	14,33	5,30	16,65
2	23,13	8,82	19,62	9,47	15,72	7,31	20,47	4,82	16,79	4,68	16,04	5,90	18,63
2,5	26,82	10,82	21,80	8,70	18,42	7,48	21,54	4,60	18,98	5,14	17,91	6,32	20,91
3	30,75	12,07	26,55	9,93	19,95	8,24	23,68	4,82	20,93	5,95	20,44	7,18	23,71
3,5	30,99	12,25	28,21	9,99	22,89	9,26	24,78	5,47	22,67	6,30	21,78	6,85	25,22
4	33,64	14,40	31,30	12,73	23,54	9,11	26,62	5,50	24,34	6,19	24,44	7,26	27,31
4,5	35,58	9,58	33,88	13,58	25,62	9,22	28,90	5,95	26,81	7,40	25,73	8,59	29,42
5	34,97	2,06	31,49	12,83	26,11	9,61	30,30	5,77	28,80	7,76	27,52	8,82	29,87
5,5	34,50		27,87	10,10	28,04	11,99	32,43	6,49	31,01	8,20	29,43	9,48	30,55
6	34,40		27,78	8,37	29,46	10,85	33,37	8,04	32,21	8,38	30,17	8,92	31,23
6,5			28,37	9,36	28,04	11,54	34,42	7,15	34,39	9,26	31,36	8,61	31,31
7			30,25	1,20	33,15	19,87	34,64	7,52	35,56	9,14	32,32	9,13	33,18
7,5					30,10	16,25	35,03	6,54	34,09	11,43	34,37	9,05	33,40
8							36,12	6,70	39,11	10,50	37,10	10,78	37,44
8,5							33,77	7,72	43,25	11,92	38,83	13,06	38,61
9									44,24	14,10	41,43	8,93	42,84
9,5									39,60	6,18	38,10	3,96	38,85
10											38,45	9,69	

En la Tabla 9 se muestran los datos obtenidos de VO₂/kg durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 16,65 y los 38,85 ml/kg/min.

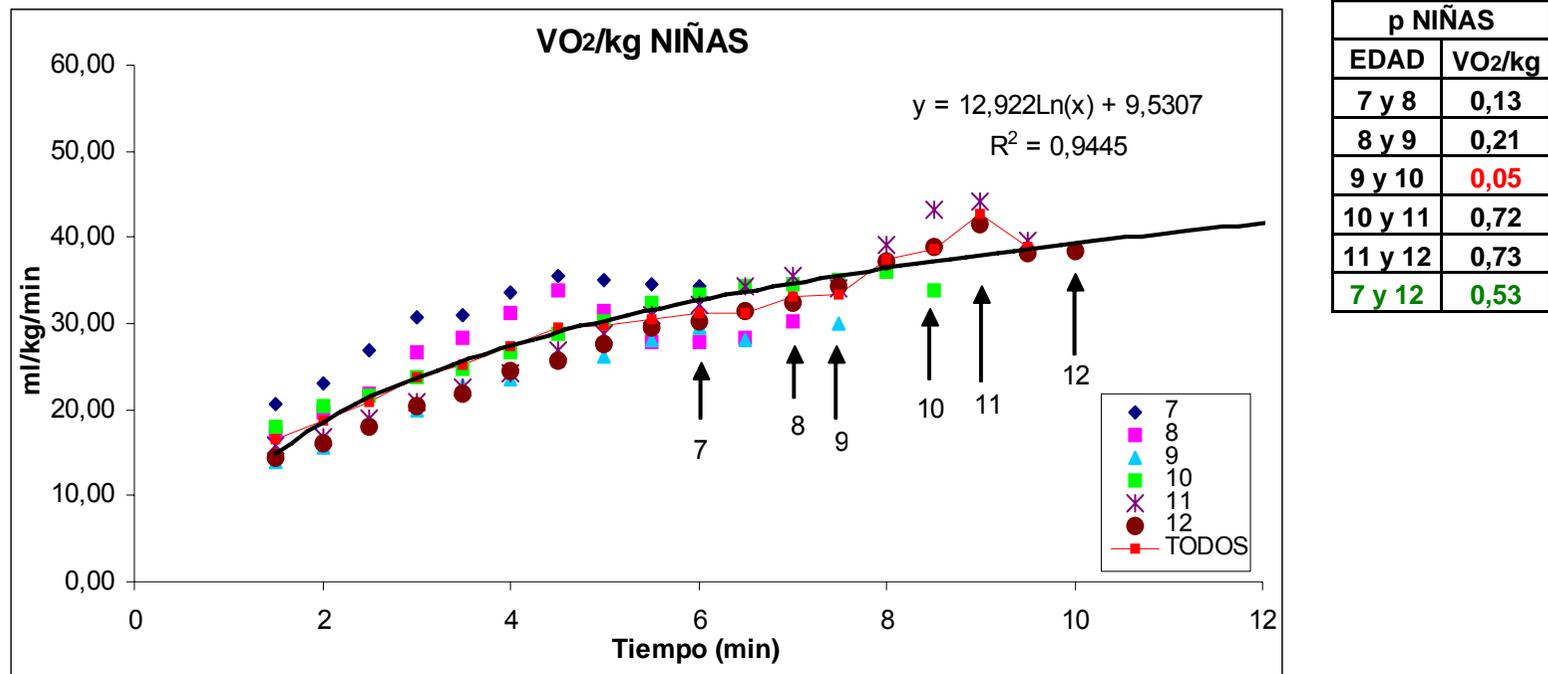


FIGURA 7: Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

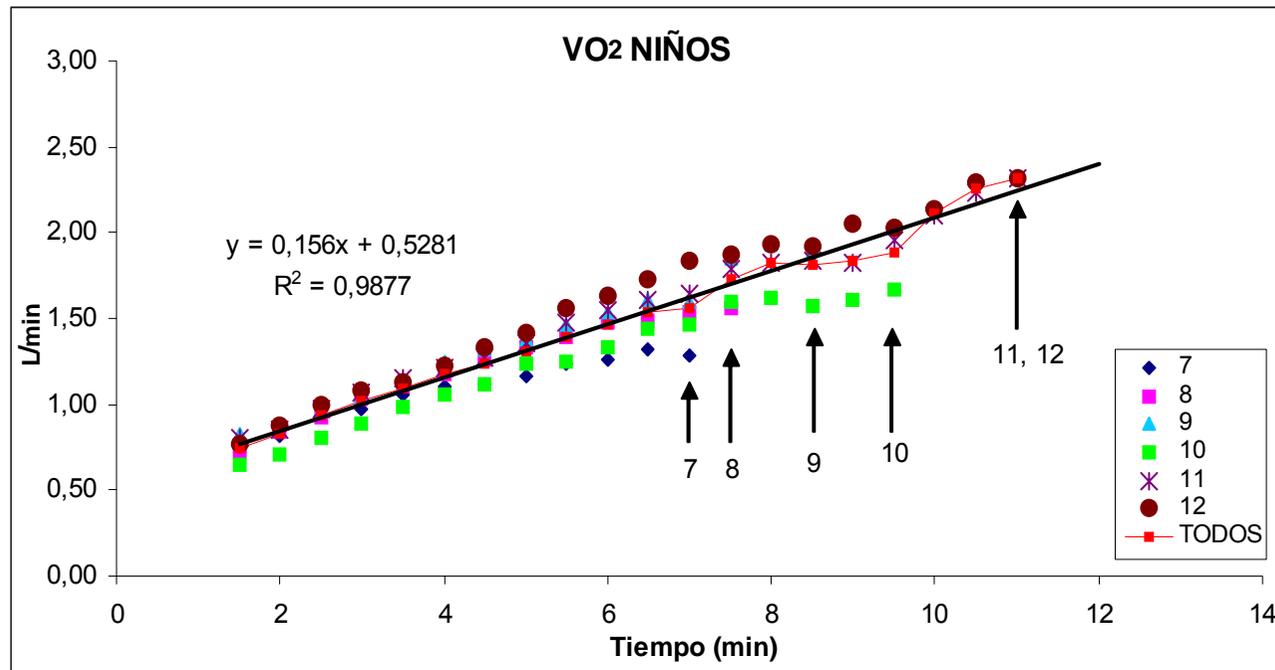
En la Figura 7 se representan gráficamente los valores medios de VO₂/kg en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. Solo se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10 años ($p \leq 0,05$) de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste logarítmico con una correlación de 0,9504.

4.2.3. Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 10: Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	0,71	0,27	0,72	0,23	0,83	0,30	0,65	0,20	0,80	0,29	0,77	0,20	0,75
2	0,82	0,26	0,84	0,27	0,89	0,34	0,70	0,20	0,85	0,25	0,88	0,21	0,83
2,5	0,93	0,26	0,93	0,33	0,98	0,32	0,81	0,21	0,97	0,25	0,99	0,15	0,93
3	0,97	0,26	1,03	0,29	1,05	0,29	0,89	0,21	1,07	0,30	1,07	0,19	1,01
3,5	1,06	0,27	1,11	0,34	1,12	0,26	0,98	0,26	1,15	0,31	1,13	0,18	1,09
4	1,10	0,25	1,18	0,34	1,25	0,27	1,05	0,23	1,22	0,29	1,23	0,27	1,17
4,5	1,11	0,26	1,26	0,34	1,31	0,28	1,12	0,26	1,27	0,29	1,34	0,23	1,24
5	1,16	0,32	1,33	0,34	1,38	0,30	1,23	0,21	1,36	0,31	1,41	0,23	1,31
5,5	1,24	0,34	1,39	0,34	1,46	0,30	1,25	0,26	1,47	0,29	1,56	0,22	1,39
6	1,26	0,29	1,47	0,38	1,54	0,31	1,33	0,29	1,55	0,28	1,64	0,24	1,46
6,5	1,32	0,34	1,49	0,34	1,61	0,22	1,44	0,24	1,61	0,26	1,73	0,32	1,53
7	1,29	0,30	1,54	0,13	1,60	0,33	1,47	0,29	1,65	0,31	1,84	0,24	1,56
7,5			1,55	0,11	1,84	0,28	1,60	0,26	1,79	0,32	1,87	0,24	1,73
8					1,93	0,25	1,62	0,25	1,82	0,37	1,93	0,23	1,83
8,5					1,90	0,31	1,57	0,36	1,84	0,43	1,92	0,24	1,81
9							1,61	0,42	1,83	0,46	2,06	0,31	1,83
9,5							1,67	0,36	1,95	0,35	2,03	0,30	1,89
10									2,10	0,40	2,13	0,27	2,11
10,5									2,23	0,38	2,29	0,31	2,26
11									2,31	0,44	2,31	0,34	2,31

En la Tabla 10 se muestran los datos obtenidos de VO₂ absoluto durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 0,75 y los 2,31 L/min.



p NIÑOS	
EDAD	VO ₂
7 y 8	0,17
8 y 9	0,19
9 y 10	0,25
10 y 11	0,02
11 y 12	0,66
7 y 12	0,0002

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	VO ₂
7	0,52
8	0,004
9	0,00004
10	0,87
11	0,06
12	0,10

FIGURA 8: Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

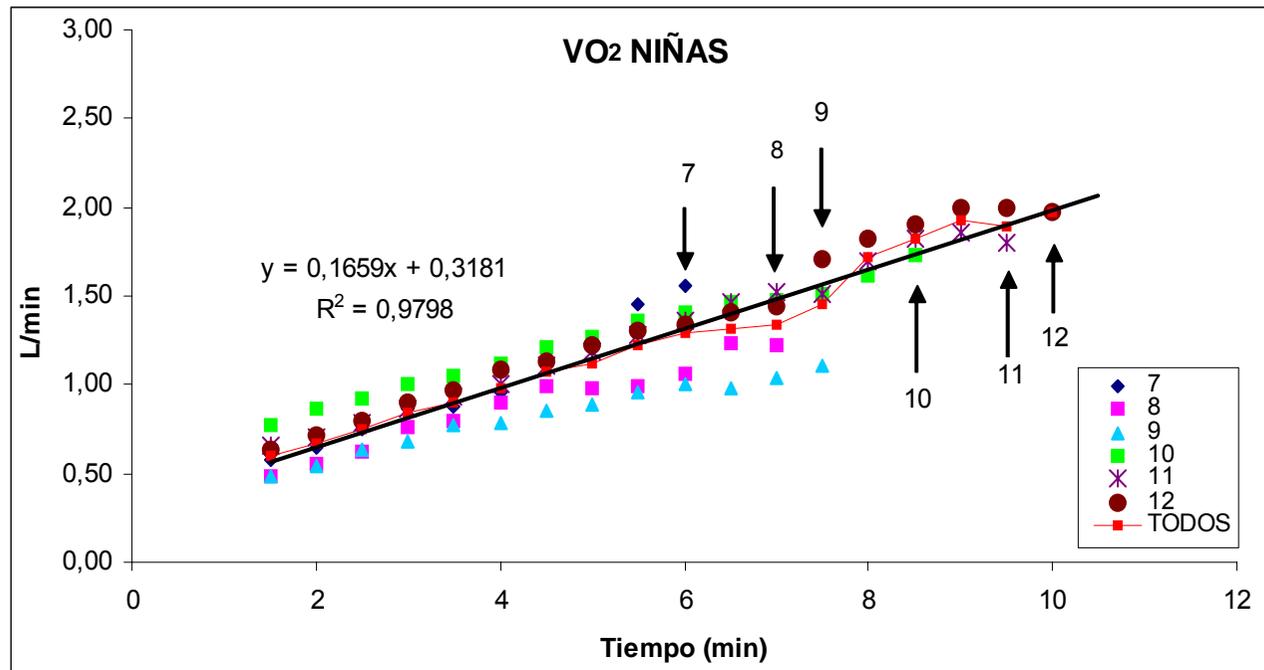
En la Figura 8 se representan gráficamente los valores medios de VO₂ absoluto en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 10 y 11 años ($p \leq 0,05$), y entre el primer y último grupo ($p \leq 0,001$) de sexo masculino. Al comparar por sexos, se observan diferencias significativas a los 8 ($p \leq 0,05$) y 9 años ($p \leq 0,001$). Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,9877.

4.2.4. Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 11: Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	0,58	0,20	0,49	0,20	0,48	0,22	0,77	0,22	0,65	0,16	0,63	0,17	0,60
2	0,65	0,22	0,55	0,22	0,54	0,25	0,87	0,22	0,70	0,16	0,71	0,20	0,67
2,5	0,75	0,26	0,63	0,23	0,63	0,24	0,92	0,26	0,79	0,18	0,79	0,19	0,75
3	0,87	0,30	0,76	0,23	0,68	0,25	1,01	0,27	0,87	0,20	0,90	0,20	0,85
3,5	0,88	0,31	0,80	0,21	0,77	0,25	1,05	0,25	0,94	0,19	0,97	0,21	0,90
4	0,95	0,37	0,90	0,26	0,79	0,22	1,12	0,25	1,01	0,19	1,08	0,20	0,98
4,5	1,15	0,17	0,99	0,28	0,85	0,21	1,21	0,22	1,10	0,20	1,13	0,24	1,07
5	1,20	0,17	0,98	0,25	0,89	0,23	1,27	0,17	1,19	0,23	1,22	0,25	1,12
5,5	1,45	0,16	0,99	0,27	0,95	0,26	1,36	0,21	1,28	0,23	1,30	0,27	1,22
6	1,56	0,32	1,07	0,30	1,00	0,22	1,41	0,22	1,36	0,24	1,34	0,28	1,29
6,5			1,23	0,25	0,98	0,30	1,47	0,25	1,47	0,30	1,40	0,30	1,31
7			1,23	0,02	1,04	0,24	1,48	0,21	1,52	0,26	1,44	0,29	1,34
7,5					1,11	0,20	1,51	0,29	1,51	0,34	1,70	0,30	1,46
8							1,62	0,34	1,70	0,20	1,82	0,25	1,71
8,5							1,73	0,49	1,83	0,19	1,90	0,37	1,82
9									1,86	0,19	2,00	0,12	1,93
9,5									1,80	0,26	1,99	0,23	1,89
10											1,98	0,06	1,98

En la Tabla 11 se muestran los datos obtenidos de VO₂ absoluto durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 0,60 y los 1,98 L/min.



p NIÑAS	
EDAD	VO ₂
7 y 8	0,35
8 y 9	0,51
9 y 10	0,0001
10 y 11	0,90
11 y 12	0,58
7 y 12	0,03

FIGURA 9: Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

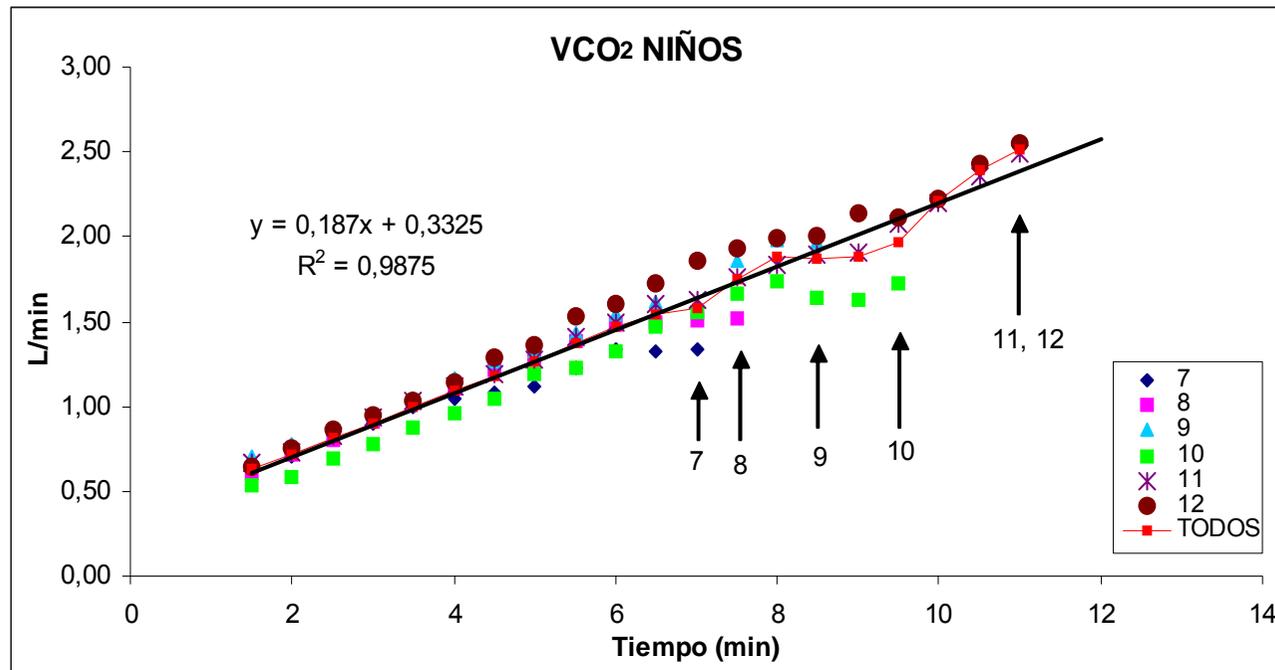
En la Figura 9 se representan gráficamente los valores medios de VO₂ absoluto en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10 años ($p \leq 0,001$) y entre el primer y último grupo ($p \leq 0,05$) de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,9798.

4.2.5. Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 12: Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	0,62	0,25	0,61	0,20	0,70	0,25	0,54	0,16	0,66	0,22	0,64	0,17	0,63
2	0,71	0,25	0,71	0,24	0,77	0,29	0,59	0,16	0,73	0,21	0,75	0,20	0,71
2,5	0,83	0,25	0,81	0,29	0,86	0,28	0,69	0,17	0,82	0,22	0,86	0,17	0,81
3	0,90	0,25	0,91	0,28	0,95	0,26	0,77	0,18	0,94	0,26	0,95	0,19	0,90
3,5	1,00	0,26	1,02	0,35	1,03	0,24	0,88	0,24	1,03	0,28	1,03	0,19	1,00
4	1,04	0,24	1,11	0,34	1,16	0,26	0,96	0,22	1,12	0,26	1,14	0,28	1,09
4,5	1,08	0,24	1,21	0,35	1,26	0,27	1,05	0,25	1,19	0,27	1,28	0,30	1,18
5	1,11	0,28	1,29	0,33	1,33	0,27	1,19	0,21	1,28	0,29	1,36	0,29	1,26
5,5	1,22	0,37	1,38	0,34	1,44	0,28	1,23	0,29	1,41	0,28	1,53	0,29	1,37
6	1,34	0,33	1,48	0,38	1,54	0,28	1,33	0,31	1,50	0,26	1,60	0,32	1,46
6,5	1,33	0,32	1,50	0,38	1,61	0,20	1,47	0,28	1,60	0,26	1,72	0,38	1,54
7	1,34	0,27	1,51	0,14	1,60	0,34	1,56	0,38	1,62	0,29	1,86	0,30	1,58
7,5			1,52	0,07	1,86	0,28	1,66	0,36	1,77	0,31	1,93	0,28	1,75
8					1,98	0,25	1,73	0,31	1,83	0,37	1,99	0,25	1,88
8,5					1,96	0,43	1,64	0,38	1,89	0,42	2,01	0,28	1,88
9							1,62	0,54	1,91	0,45	2,13	0,31	1,89
9,5							1,72	0,50	2,07	0,31	2,11	0,30	1,97
10									2,20	0,38	2,22	0,33	2,21
10,5									2,36	0,39	2,43	0,36	2,40
11									2,49	0,41	2,55	0,41	2,52

En la Tabla 12 se muestran los datos obtenidos de VCO₂ durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 0,63 y los 2,52 L/min.



p NIÑOS	
EDAD	VCO ₂
7 y 8	0,33
8 y 9	0,22
9 y 10	0,41
10 y 11	0,06
11 y 12	0,64
7 y 12	0,001

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	VCO ₂
7	0,61
8	0,04
9	0,001
10	0,66
11	0,25
12	0,28

FIGURA 10: Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

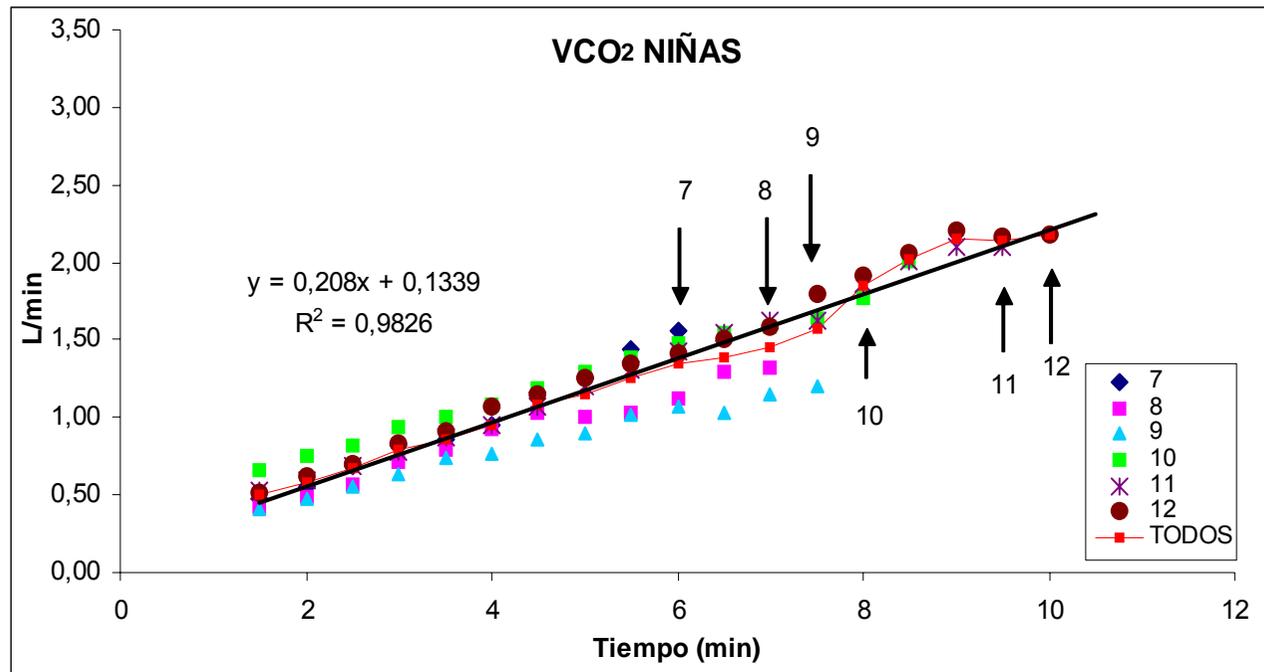
En la Figura 10 se representan gráficamente los valores medios de VCO₂ en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. Se observan diferencias significativas entre el primer y último grupo de edad ($p \leq 0,001$) de sexo masculino, entre los grupos de 10 y 11 años, hay una diferencia de $p = 0,06$. Al comparar por sexos, se observan diferencias significativas entre los grupos de 8 ($p \leq 0,05$) y 9 años ($p \leq 0,001$). Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,9875.

4.2.6. Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 13: Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	0,47	0,13	0,43	0,19	0,41	0,19	0,65	0,19	0,53	0,12	0,52	0,14	0,50
2	0,55	0,13	0,49	0,20	0,47	0,23	0,76	0,21	0,59	0,13	0,62	0,16	0,58
2,5	0,68	0,16	0,57	0,21	0,55	0,24	0,82	0,24	0,68	0,15	0,70	0,16	0,67
3	0,82	0,16	0,72	0,21	0,64	0,27	0,94	0,26	0,77	0,17	0,83	0,15	0,79
3,5	0,85	0,19	0,80	0,22	0,74	0,28	1,01	0,26	0,87	0,17	0,92	0,19	0,86
4	0,94	0,26	0,93	0,31	0,76	0,23	1,09	0,27	0,95	0,17	1,06	0,18	0,96
4,5	1,17	0,04	1,03	0,33	0,86	0,24	1,19	0,23	1,08	0,19	1,15	0,23	1,08
5	1,26	0,04	1,00	0,24	0,89	0,23	1,29	0,19	1,20	0,22	1,26	0,22	1,15
5,5	1,44	0,01	1,03	0,25	1,01	0,29	1,39	0,21	1,31	0,24	1,35	0,25	1,26
6	1,55	0,15	1,12	0,26	1,07	0,23	1,47	0,23	1,43	0,26	1,42	0,27	1,34
6,5			1,29	0,26	1,03	0,27	1,54	0,25	1,55	0,32	1,51	0,32	1,39
7			1,32	0,12	1,15	0,24	1,58	0,17	1,63	0,28	1,58	0,32	1,45
7,5					1,21	0,23	1,64	0,21	1,63	0,36	1,80	0,29	1,57
8							1,77	0,25	1,86	0,25	1,92	0,34	1,85
8,5							2,01	0,41	2,00	0,27	2,06	0,46	2,02
9									2,11	0,29	2,20	0,22	2,15
9,5									2,11	0,43	2,17	0,17	2,14
10											2,19	0,25	2,19

En la Tabla 13 se muestran los datos obtenidos de VCO₂ durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 0,50 y los 2,19 L/min.



p NIÑAS	
EDAD	VCO ₂
7 y 8	0,59
8 y 9	0,57
9 y 10	0,002
10 y 11	0,84
11 y 12	0,63
7 y 12	0,02

FIGURA 11: Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

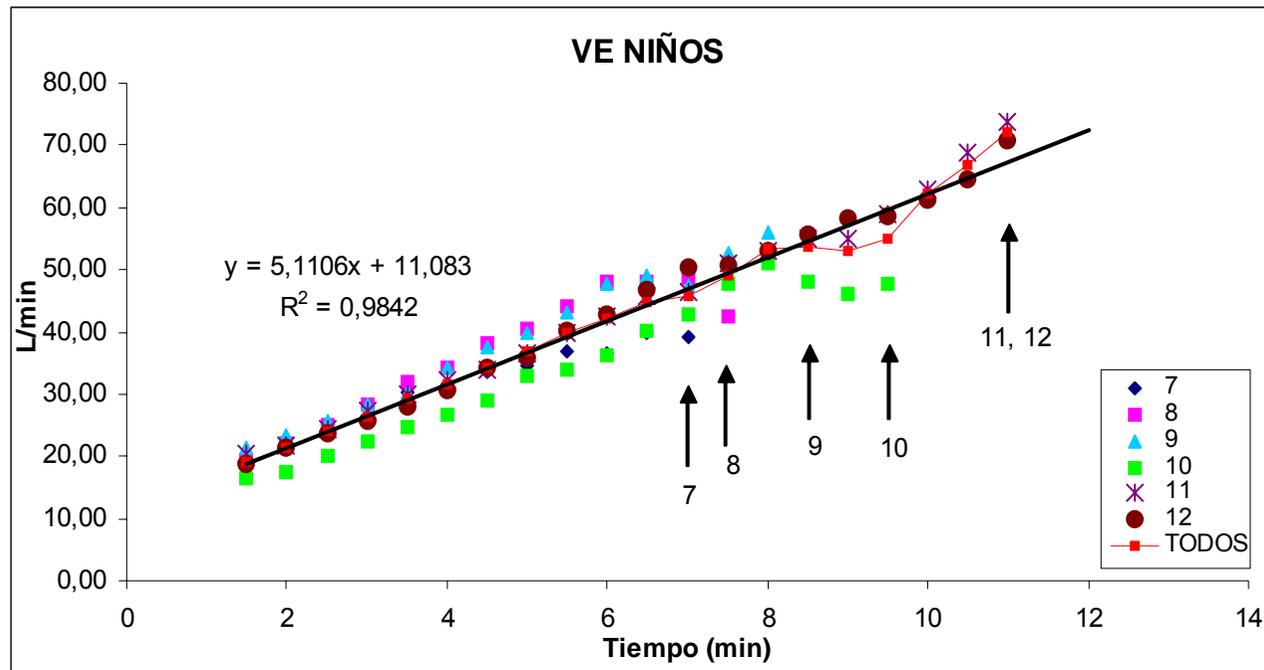
En la Figura 11 se representan gráficamente los valores medios de VCO₂ en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10 años y entre el primer y último grupo ($p \leq 0,05$) de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,9826.

4.2.7. Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 14: Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	18,99	6,57	19,36	5,75	21,33	6,35	16,35	4,43	20,33	6,36	18,61	3,90	19,16
2	21,76	7,28	22,17	6,48	23,22	7,62	17,45	3,47	21,81	5,48	21,31	4,98	21,29
2,5	24,36	6,85	25,09	8,74	25,76	7,42	20,20	3,78	24,48	5,45	23,81	4,60	23,95
3	26,46	7,42	28,41	9,09	28,15	7,20	22,23	4,18	27,32	6,65	25,71	5,13	26,38
3,5	30,18	8,12	31,89	10,93	30,37	6,31	24,74	5,91	29,84	7,80	28,01	5,42	29,17
4	31,69	8,30	34,26	11,05	34,34	7,64	26,81	5,73	32,31	7,17	30,67	7,62	31,68
4,5	33,51	9,82	38,16	11,65	37,49	8,36	28,98	7,07	33,96	7,33	34,31	8,56	34,40
5	34,63	11,35	40,64	10,74	39,95	7,70	32,85	5,76	36,45	7,88	35,95	7,85	36,74
5,5	36,92	12,09	44,26	12,20	43,26	9,20	33,85	7,54	39,88	7,87	40,28	8,34	39,74
6	36,67	10,04	48,03	13,72	47,63	9,66	36,32	8,78	42,44	7,44	42,71	10,80	42,30
6,5	39,77	13,74	48,03	13,37	49,01	5,61	40,30	8,39	45,64	8,56	46,81	12,40	44,93
7	39,23	12,10	48,70	8,28	47,44	9,65	42,77	11,28	46,36	9,24	50,31	10,85	45,80
7,5			42,45	1,92	52,68	8,47	47,80	10,77	51,12	10,74	50,86	9,85	48,98
8					55,85	9,17	50,95	13,10	53,04	12,08	53,17	9,18	53,25
8,5					55,70	16,00	48,23	14,26	54,90	13,64	55,57	11,37	53,60
9							45,95	14,50	54,94	13,99	58,32	10,73	53,07
9,5							47,70	13,44	58,93	7,87	58,56	12,19	55,06
10									63,00	11,73	61,20	17,85	62,10
10,5									68,78	15,49	64,64	18,29	66,71
11									73,68	18,90	70,66	19,81	72,17

En la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos de VE durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 19,16 y los 72,17 L/min.



p NIÑOS	
EDAD	VE
7 y 8	0,16
8 y 9	0,45
9 y 10	0,23
10 y 11	0,04
11 y 12	0,94
7 y 12	0,005

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	VE
7	0,58
8	0,02
9	0,001
10	0,30
11	0,33
12	0,61

FIGURA 12: Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.

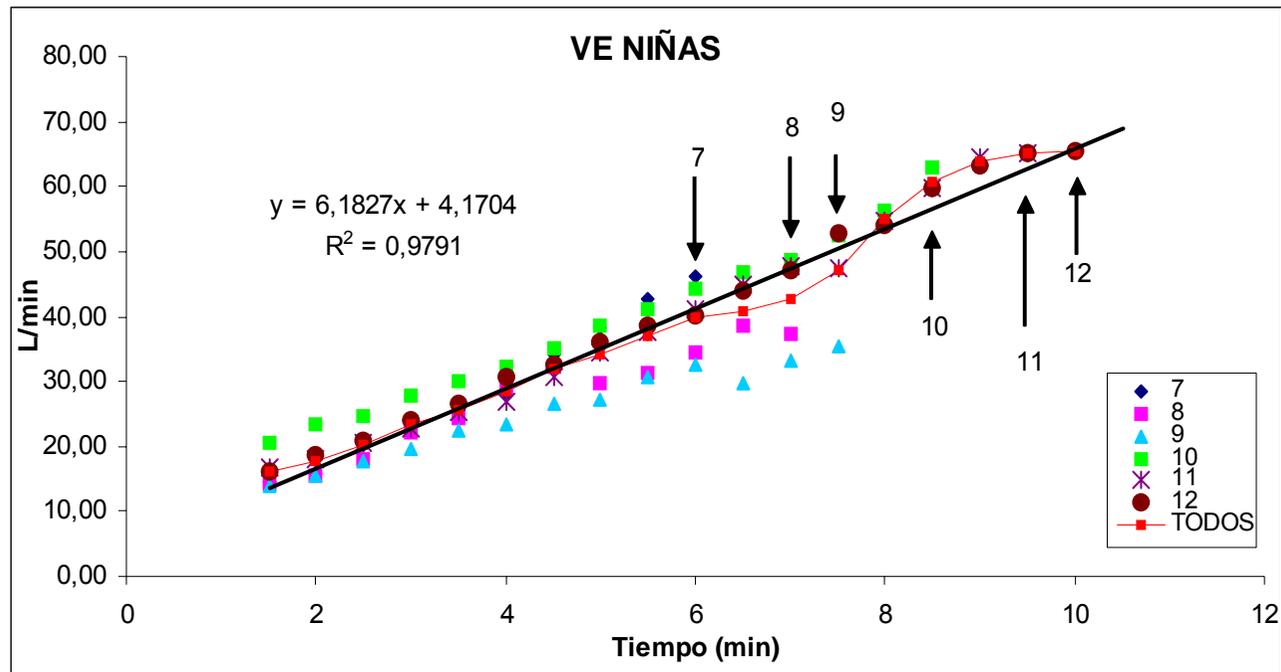
En la Figura 12 se representan gráficamente los valores medios de VE en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 10 y 11 años y entre el primer y último grupo ($p \leq 0,05$) de sexo masculino. Al comparar por sexos, se observan diferencias significativas entre los grupos de 8 ($p \leq 0,05$) y 9 años ($p \leq 0,001$). Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,9842.

4.2.8. Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 15: Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.	Media
1,5	14,39	3,67	14,13	5,13	13,94	5,10	20,42	5,06	16,79	3,39	16,24	4,13	15,98
2	15,93	2,89	15,56	5,70	15,51	6,29	23,32	5,96	18,17	3,81	18,56	4,75	17,84
2,5	20,18	4,57	18,06	5,73	17,57	6,61	24,80	6,25	20,54	4,53	20,90	4,71	20,34
3	23,65	3,96	22,24	6,27	19,73	7,23	27,76	6,86	22,65	4,87	24,18	4,56	23,37
3,5	25,56	5,54	24,35	6,85	22,60	7,81	30,03	7,17	25,35	4,95	26,41	5,79	25,72
4	27,91	7,65	28,94	10,79	23,48	6,71	32,12	6,70	27,04	5,18	30,59	5,79	28,34
4,5	34,13	1,66	32,20	10,21	26,42	7,78	35,03	5,88	30,71	5,87	32,61	6,54	31,85
5	38,35	1,67	29,83	7,15	27,34	7,30	38,46	6,06	34,44	6,99	36,20	6,52	34,10
5,5	42,80	2,97	31,17	6,92	30,76	9,68	41,17	6,45	37,48	7,20	38,59	7,11	36,99
6	46,30	9,19	34,38	6,63	32,59	7,38	44,24	8,02	41,25	7,94	40,11	7,71	39,81
6,5			38,53	7,15	29,86	5,60	46,93	7,96	45,01	10,17	43,82	9,37	40,83
7			37,45	2,90	33,27	4,21	48,69	7,28	47,71	9,06	47,00	10,21	42,82
7,5					35,40	4,70	52,50	7,41	47,33	12,09	52,92	10,13	47,04
8							56,24	5,51	54,68	8,83	54,13	9,94	55,01
8,5							62,83	10,99	59,65	11,35	59,70	14,48	60,73
9									64,36	12,54	63,10	1,27	63,73
9,5									65,27	21,25	65,05	7,71	65,16
10											65,30	5,94	65,30

En la Tabla 15 se muestran los datos obtenidos de VE durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 15,98 y los 65,30 L/min.



p NIÑAS	
EDAD	VE
7 y 8	0,70
8 y 9	0,53
9 y 10	0,002
10 y 11	0,96
11 y 12	0,70
7 y 12	0,03

FIGURA 13: Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.

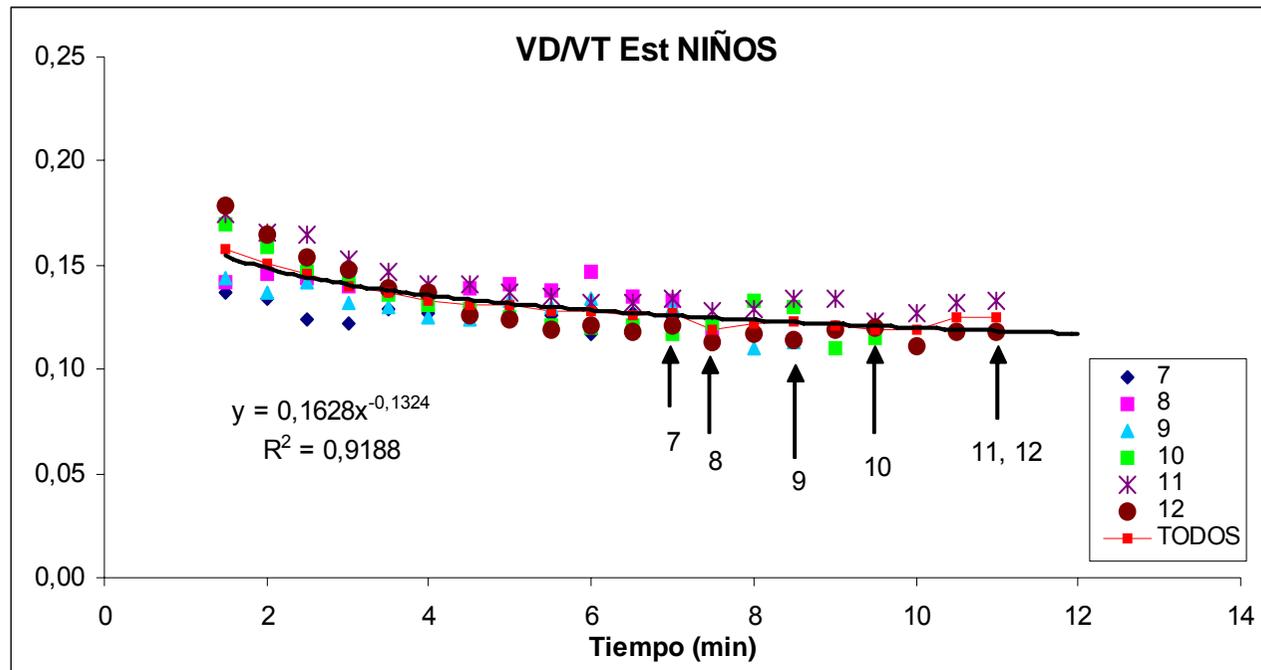
En la Figura 13 se representan gráficamente los valores medios de VE en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10 años y entre el primer y último grupo ($p \leq 0,05$) de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,9791.

4.2.9. Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 16: Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	0,14	0,04	0,14	0,05	0,14	0,04	0,17	0,05	0,17	0,04	0,18	0,03	0,16
2	0,13	0,04	0,15	0,04	0,14	0,04	0,16	0,04	0,17	0,04	0,17	0,03	0,15
2,5	0,12	0,03	0,14	0,05	0,14	0,03	0,15	0,03	0,16	0,03	0,15	0,02	0,15
3	0,12	0,03	0,14	0,04	0,13	0,03	0,14	0,03	0,15	0,03	0,15	0,02	0,14
3,5	0,13	0,03	0,14	0,03	0,13	0,03	0,14	0,03	0,15	0,02	0,14	0,02	0,14
4	0,13	0,03	0,14	0,02	0,12	0,03	0,13	0,03	0,14	0,02	0,14	0,02	0,13
4,5	0,13	0,02	0,14	0,02	0,12	0,03	0,13	0,02	0,14	0,02	0,13	0,02	0,13
5	0,13	0,01	0,14	0,03	0,13	0,02	0,12	0,03	0,14	0,03	0,12	0,02	0,13
5,5	0,13	0,02	0,14	0,02	0,13	0,02	0,12	0,02	0,13	0,02	0,12	0,02	0,13
6	0,12	0,01	0,15	0,02	0,13	0,02	0,12	0,02	0,13	0,02	0,12	0,02	0,13
6,5	0,13	0,04	0,13	0,01	0,13	0,02	0,12	0,03	0,13	0,03	0,12	0,02	0,13
7	0,13	0,04	0,13	0,02	0,13	0,03	0,12	0,02	0,13	0,03	0,12	0,02	0,13
7,5			0,12	0,01	0,11	0,02	0,12	0,02	0,13	0,03	0,11	0,02	0,12
8					0,11	0,02	0,13	0,03	0,13	0,02	0,12	0,02	0,12
8,5					0,11	0,03	0,13	0,04	0,13	0,03	0,11	0,01	0,12
9							0,11	0,01	0,13	0,03	0,12	0,02	0,12
9,5							0,12	0,02	0,12	0,03	0,12	0,02	0,12
10									0,13	0,02	0,11	0,02	0,12
10,5									0,13	0,02	0,12	0,02	0,13
11									0,13	0,02	0,12	0,02	0,13

En la Tabla 16 se muestran los datos obtenidos de VD/Vt Est durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 0,16 y 0,13.



p NIÑOS	
EDAD	VD/VtEst
7 y 8	0,0003
8 y 9	0,01
9 y 10	0,53
10 y 11	0,10
11 y 12	0,05
7 y 12	0,67

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	VD/Vt Est
7	0,46
8	0,47
9	0,02
10	0,00001
11	0,51
12	0,01

FIGURA 14: Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo masculino.

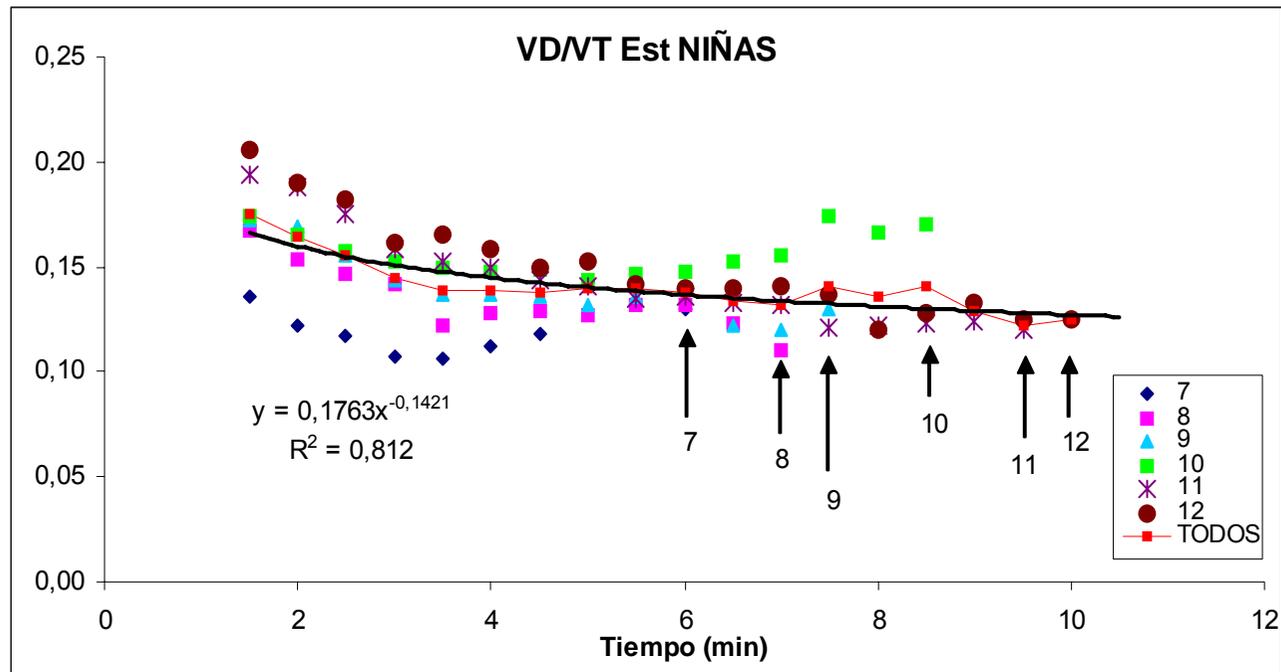
En la Figura 14 se representan gráficamente los valores medios del VD/Vt Est en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 7 y 8 años ($p \leq 0,001$), 8 y 9 y entre los 11 y 12 años ($p \leq 0,05$) de sexo masculino. Al comparar por sexos, se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 ($p \leq 0,05$), 10 ($p \leq 0,001$) y 12 años ($p \leq 0,05$). Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste potencial con una correlación de 0,9188.

4.2.10. Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 17: Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	0,14	0,03	0,17	0,06	0,17	0,05	0,17	0,05	0,19	0,04	0,21	0,05	0,17
2	0,12	0,03	0,15	0,05	0,17	0,04	0,17	0,04	0,19	0,03	0,19	0,03	0,16
2,5	0,12	0,03	0,15	0,04	0,16	0,05	0,16	0,04	0,17	0,04	0,18	0,04	0,16
3	0,11	0,02	0,14	0,04	0,14	0,04	0,15	0,04	0,16	0,03	0,16	0,03	0,14
3,5	0,11	0,03	0,12	0,03	0,14	0,04	0,15	0,04	0,15	0,04	0,17	0,02	0,14
4	0,11	0,03	0,13	0,03	0,14	0,04	0,15	0,04	0,15	0,03	0,16	0,03	0,14
4,5	0,12	0,02	0,13	0,03	0,14	0,03	0,15	0,03	0,14	0,04	0,15	0,02	0,14
5	0,14	0,01	0,13	0,03	0,13	0,04	0,14	0,04	0,14	0,04	0,15	0,03	0,14
5,5	0,15	0,01	0,13	0,00	0,14	0,04	0,15	0,04	0,14	0,05	0,14	0,02	0,14
6	0,13	0,04	0,13	0,01	0,14	0,03	0,15	0,04	0,14	0,03	0,14	0,02	0,14
6,5			0,12	0,02	0,12	0,04	0,15	0,04	0,13	0,03	0,14	0,02	0,13
7			0,11	0,00	0,12	0,07	0,16	0,04	0,13	0,03	0,14	0,02	0,13
7,5					0,13	0,06	0,17	0,03	0,12	0,06	0,14	0,02	0,14
8							0,17	0,03	0,12	0,03	0,12	0,01	0,14
8,5							0,17	0,03	0,12	0,02	0,13	0,02	0,14
9									0,12	0,02	0,13	0,02	0,13
9,5									0,12	0,01	0,13	0,02	0,12
10											0,13	0,04	0,13

En la Tabla 17 se muestran los datos obtenidos del VD/Vt Est durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 0,17 y 0,13.



p NIÑAS	
EDAD	VD/VtEst
7 y 8	0,10
8 y 9	0,32
9 y 10	0,01
10 y 11	0,05
11 y 12	0,48
7 y 12	0,001

FIGURA 15: Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo femenino.

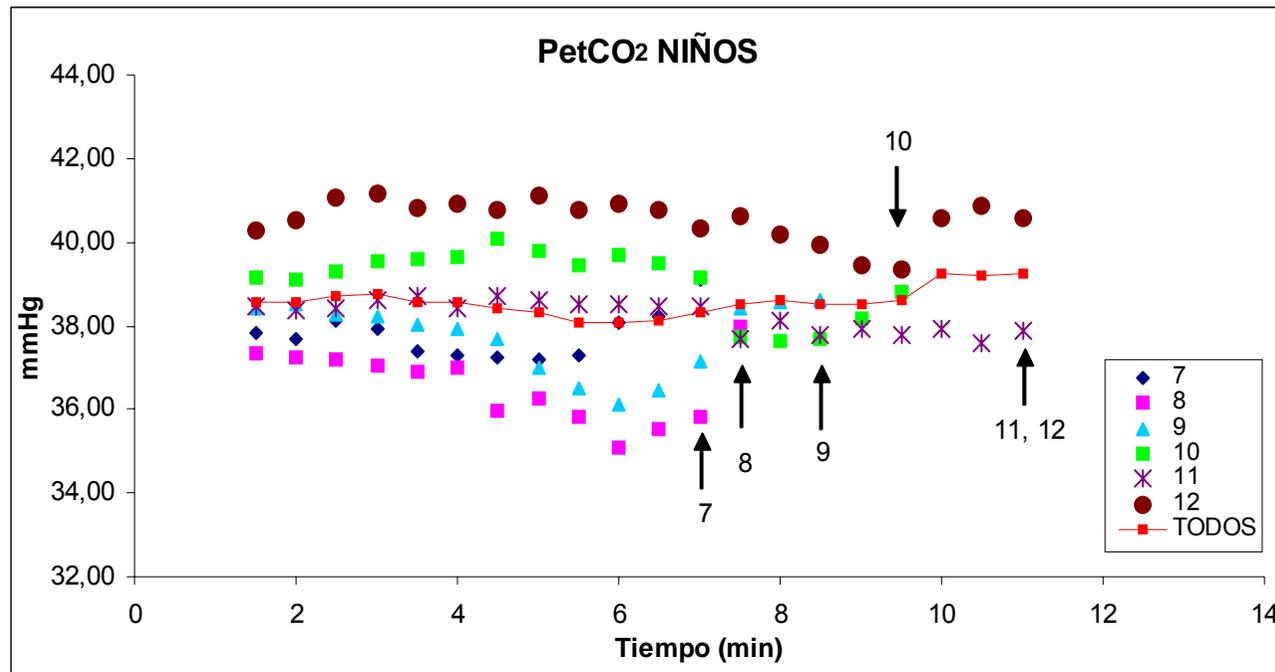
En la Figura 15 se representan gráficamente los valores medios del VD/Vt Est en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10, 10 y 11 años ($p \leq 0,05$) y entre el primer y último grupo ($p \leq 0,001$) de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste potencial con una correlación de 0,812.

4.2.11. Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 18: Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	37,84	1,68	37,32	2,12	38,41	2,37	39,17	3,07	38,45	2,46	40,28	1,90	38,58
2	37,69	2,00	37,24	2,05	38,52	2,31	39,10	2,33	38,35	2,71	40,50	2,09	38,57
2,5	38,11	1,78	37,19	2,00	38,29	2,09	39,28	2,60	38,41	2,49	41,04	1,89	38,72
3	37,91	1,98	37,04	2,28	38,24	2,41	39,56	2,71	38,62	2,47	41,17	2,45	38,76
3,5	37,41	2,17	36,90	2,23	38,01	2,60	39,60	2,37	38,71	2,47	40,80	2,21	38,57
4	37,30	2,19	36,99	1,84	37,95	2,43	39,64	2,31	38,44	2,48	40,93	2,32	38,54
4,5	37,25	2,64	35,99	2,46	37,67	2,64	40,08	2,95	38,70	2,31	40,78	2,64	38,41
5	37,20	3,10	36,28	2,14	36,98	2,29	39,78	2,80	38,63	2,51	41,12	2,25	38,33
5,5	37,28	3,38	35,81	2,79	36,49	2,61	39,45	3,05	38,51	2,48	40,77	2,51	38,05
6	38,09	4,36	35,09	2,33	36,09	3,13	39,70	3,21	38,52	2,78	40,91	3,11	38,07
6,5	38,20	5,18	35,52	2,71	36,44	3,21	39,47	3,41	38,44	3,05	40,76	3,30	38,14
7	39,10	6,56	35,80	2,87	37,15	3,07	39,14	4,39	38,44	2,94	40,31	3,50	38,32
7,5			38,00	0,69	38,42	2,40	37,73	3,16	37,70	3,51	40,63	3,74	38,50
8					38,55	1,76	37,62	3,14	38,12	2,90	40,17	3,53	38,61
8,5					38,63	3,11	37,70	3,46	37,76	3,25	39,91	3,65	38,50
9							38,15	0,92	37,91	3,07	39,46	3,71	38,50
9,5							38,80	1,41	37,76	2,73	39,33	4,27	38,63
10									37,91	3,22	40,59	5,36	39,25
10,5									37,58	3,43	40,86	6,41	39,22
11									37,90	5,35	40,56	5,72	39,23

En la Tabla 18 se muestran los datos obtenidos de PetCO₂ durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 38,58 y 39,23 mmHg.



p NIÑOS	
EDAD	PetCO2
7 y 8	0,0003
8 y 9	0,001
9 y 10	0,0001
10 y 11	0,001
11 y 12	4,51E-17
7 y 12	2,23E-12

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	PetCO2
7	0,98
8	0,46
9	0,64
10	0,00001
11	0,39
12	0,0003

FIGURA 16: Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo masculino.

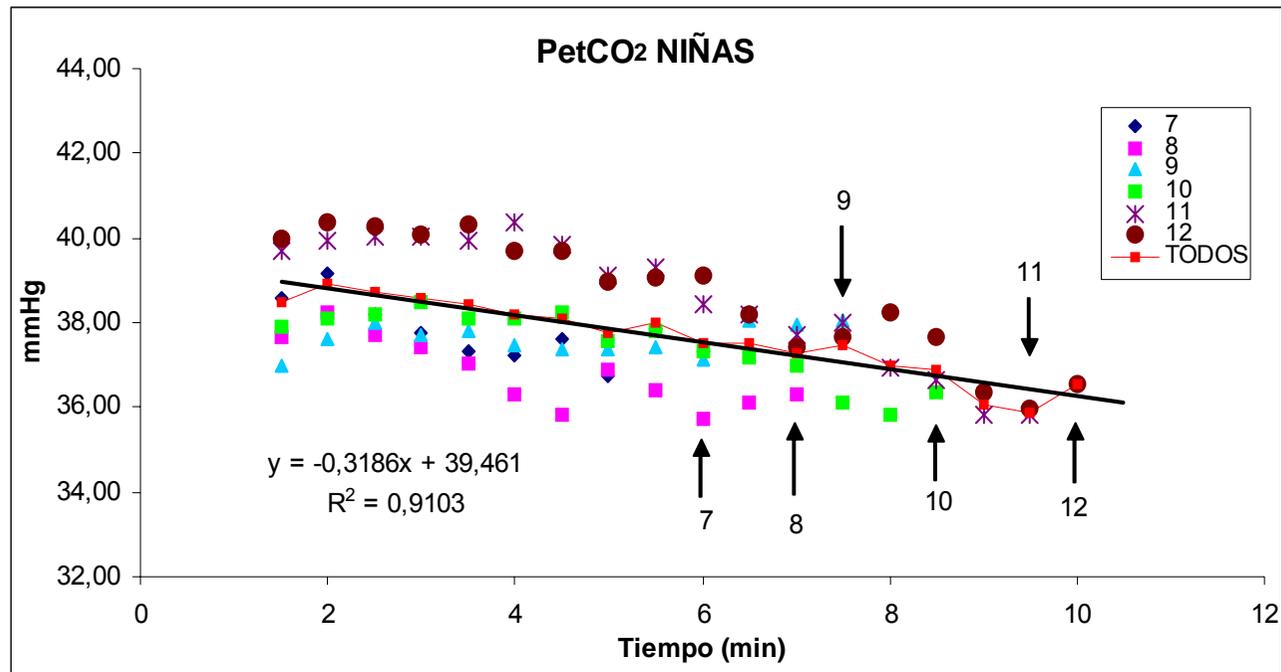
En la Figura 16 se representan gráficamente los valores medios de PetCO₂ en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. Se observan diferencias significativas entre todos los grupos y entre el primer y último grupo de edad ($p \leq 0,001$) de sexo masculino. Al comparar por sexos, se observan diferencias significativas entre los grupos de 10 y 12 años ($p \leq 0,001$).

4.2.12. Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 19: Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	38,58	2,19	37,68	2,00	36,98	2,98	37,92	1,98	39,68	1,93	39,99	1,82	38,47
2	39,15	2,18	38,22	1,92	37,62	2,46	38,08	2,64	39,95	1,96	40,37	2,00	38,90
2,5	38,20	2,48	37,73	1,97	37,98	2,65	38,20	1,96	40,02	1,75	40,29	2,12	38,74
3	37,74	2,45	37,40	2,00	37,72	2,78	38,50	2,16	40,02	1,77	40,09	2,15	38,58
3,5	37,34	2,43	37,04	2,21	37,79	2,83	38,10	3,12	39,92	1,84	40,31	2,13	38,42
4	37,24	1,98	36,33	2,73	37,47	2,61	38,08	2,20	40,37	1,80	39,69	2,22	38,19
4,5	37,63	1,70	35,83	2,17	37,36	2,77	38,25	2,38	39,85	1,69	39,70	2,15	38,10
5	36,73	2,46	36,87	1,63	37,38	3,54	37,58	2,67	39,13	1,48	38,99	1,98	37,78
5,5	37,85	1,48	36,40	2,08	37,43	3,79	37,83	2,93	39,32	1,90	39,08	1,63	37,98
6	37,30	2,12	35,74	1,91	37,13	3,85	37,34	2,79	38,46	2,19	39,10	2,59	37,51
6,5			36,10	1,04	38,04	2,54	37,15	2,40	38,18	2,32	38,18	2,72	37,53
7			36,30	2,83	37,97	1,18	37,00	2,63	37,71	2,42	37,40	2,36	37,28
7,5					38,03	1,59	36,11	3,42	37,99	2,00	37,67	2,49	37,45
8							35,84	2,28	36,94	1,69	38,23	0,88	37,00
8,5							36,33	0,15	36,63	2,32	37,68	1,59	36,88
9									35,80	2,26	36,33	1,14	36,07
9,5									35,83	3,52	35,95	1,63	35,89
10											36,55	0,64	36,55

En la Tabla 19 se muestran los datos obtenidos de PetCO₂ durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre los 38,47 y 36,55 mmHg.



p NIÑAS	
EDAD	PetCO ₂
7 y 8	0,01
8 y 9	0,01
9 y 10	0,62
10 y 11	0,02
11 y 12	0,90
7 y 12	0,04

FIGURA 17: Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo femenino.

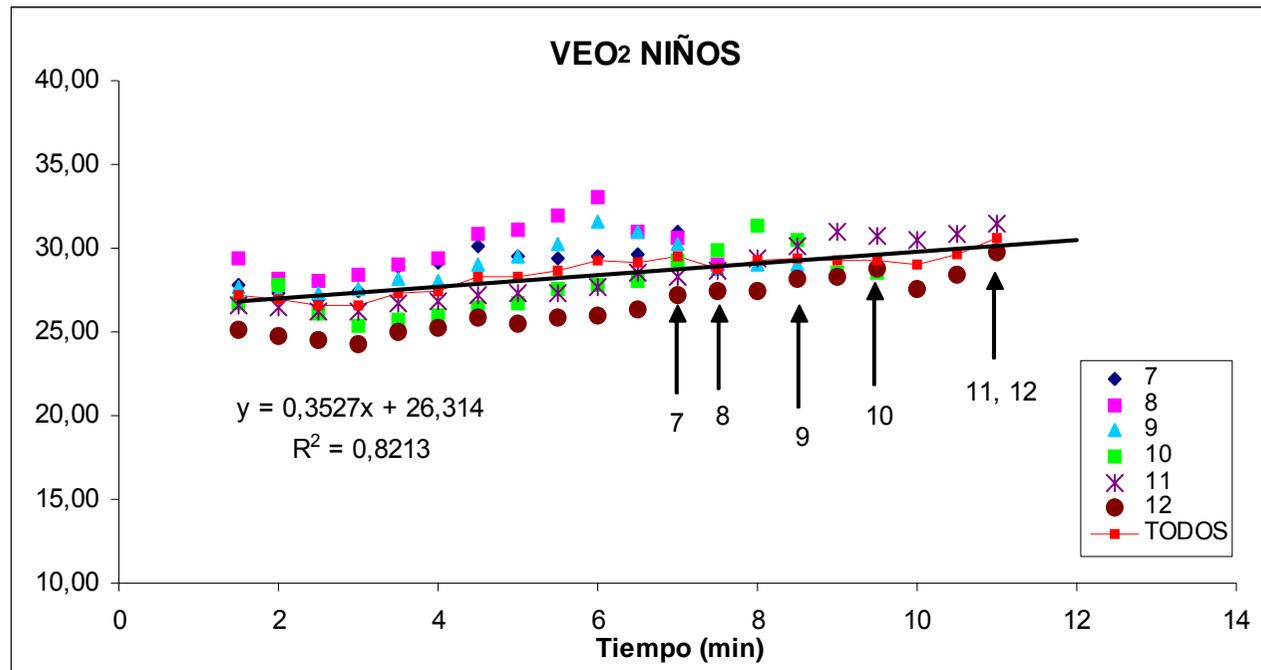
En la Figura 17 se representan gráficamente los valores medios de PetCO₂ en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 7 y 8, 8 y 9, 10 y 11 años y entre el primer y último grupo ($p \leq 0,05$) de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,9103.

4.2.13. Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 20: Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	27,79	3,14	29,36	6,78	27,67	5,22	26,73	3,85	26,58	3,45	25,10	2,60	27,20
2	27,36	2,06	28,21	6,31	27,28	3,71	27,82	6,82	26,42	2,83	24,80	2,25	26,98
2,5	27,00	3,06	28,07	4,62	27,28	2,72	26,09	3,02	26,21	2,72	24,50	2,27	26,53
3	27,50	1,70	28,43	4,29	27,61	2,57	25,36	2,66	26,26	3,00	24,30	2,58	26,58
3,5	28,93	2,09	29,00	4,02	28,22	3,73	25,73	2,33	26,68	2,81	25,00	2,62	27,26
4	29,14	3,25	29,43	4,40	28,00	2,54	26,00	2,14	26,84	2,03	25,20	2,15	27,44
4,5	30,08	3,12	30,86	4,55	29,06	2,44	26,45	2,77	27,16	2,12	25,80	2,94	28,23
5	29,55	2,77	31,14	4,49	29,53	3,02	26,73	2,90	27,37	2,39	25,50	2,42	28,30
5,5	29,40	3,20	31,93	4,27	30,24	3,09	27,55	3,21	27,37	2,43	25,80	2,94	28,71
6	29,57	4,79	33,00	4,24	31,56	3,85	27,82	3,28	27,74	2,84	26,00	2,98	29,28
6,5	29,67	3,56	31,00	6,54	30,93	3,60	28,00	3,20	28,53	3,13	26,40	3,24	29,09
7	31,00	5,77	30,67	3,08	30,30	3,30	29,22	4,32	28,35	3,26	27,20	3,43	29,46
7,5			29,00	0,82	28,80	1,79	29,83	2,93	28,67	3,42	27,50	3,60	28,76
8					29,00	1,41	31,33	5,47	29,40	3,48	27,44	3,05	29,29
8,5					29,00	4,00	30,50	3,32	30,14	3,72	28,11	3,14	29,44
9							28,50	2,12	30,93	4,25	28,33	3,57	29,25
9,5							28,50	2,12	30,70	3,33	28,78	3,87	29,33
10									30,43	2,07	27,57	4,43	29,00
10,5									30,80	2,86	28,40	5,37	29,60
11									31,50	2,65	29,80	4,55	30,65

En la Tabla 20 se muestran los datos obtenidos de VEO₂ durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 27,20 y 30,65.



p NIÑOS	
EDAD	VEO ₂
7 y 8	0,06
8 y 9	0,07
9 y 10	0,04
10 y 11	0,29
11 y 12	0,002
7 y 12	0,0001

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	VEO ₂
7	0,11
8	0,01
9	0,00003
10	0,002
11	0,07
12	0,00001

FIGURA 18: Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.

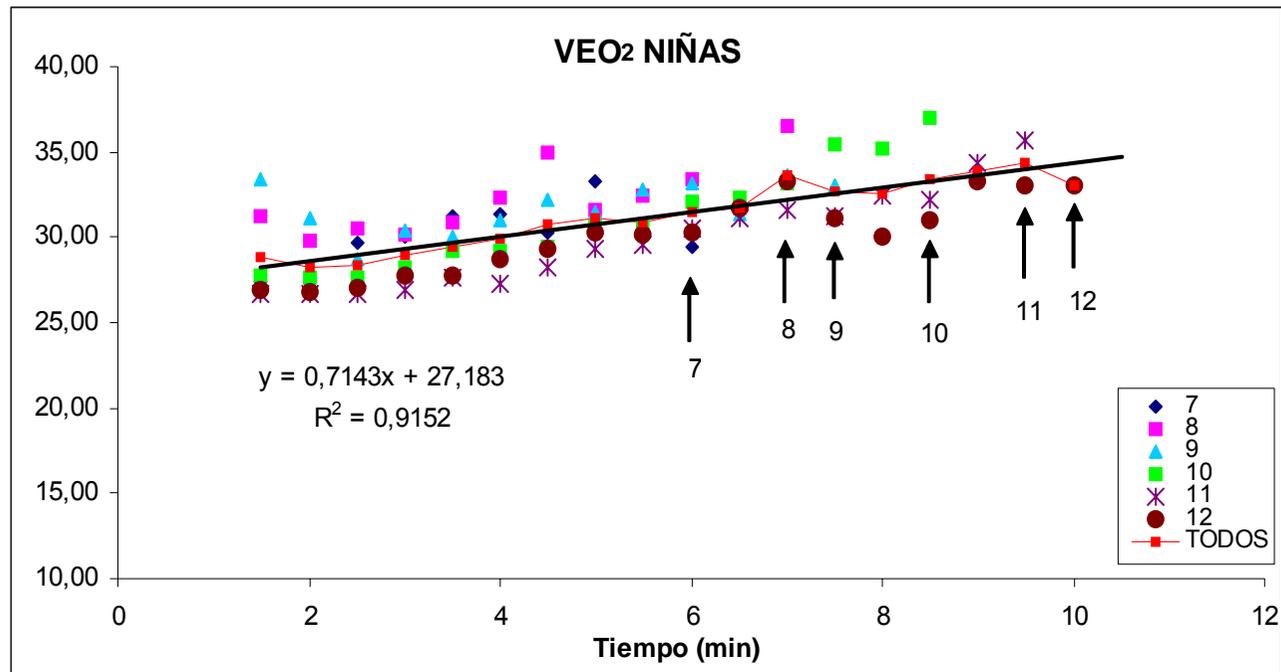
En la Figura 18 se representan gráficamente los valores medios de VEO₂ en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10, 11 y 12 años ($p \leq 0,05$) y entre el primer y último grupo de edad ($p \leq 0,001$) de sexo masculino. Entre los grupos de 7 y 8 años hay una diferencia de $p = 0,06$. Al comparar por sexos, se observan diferencias significativas entre los grupos de 8 ($p \leq 0,05$), 9 ($p \leq 0,001$), 10 ($p \leq 0,05$) y 12 años ($p \leq 0,001$). Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,8213.

4.2.14. Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 21: Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.	Media	D.S.	Media
1,5	27,45	5,96	31,19	4,52	33,45	10,72	27,75	2,38	26,65	3,37	26,89	2,76	28,90
2	27,45	5,94	29,75	4,01	31,09	6,80	27,58	3,32	26,71	2,52	26,78	2,77	28,23
2,5	29,64	7,12	30,50	4,62	28,73	3,26	27,58	2,23	26,65	1,97	27,00	2,35	28,35
3	30,00	6,23	30,13	2,85	30,36	4,01	28,25	2,67	26,94	3,27	27,78	2,64	28,91
3,5	31,27	5,71	30,94	3,43	30,00	4,12	29,17	3,64	27,65	2,21	27,78	3,31	29,47
4	31,36	5,12	32,29	4,39	31,00	4,42	29,17	2,82	27,29	2,47	28,67	3,24	29,96
4,5	30,33	4,68	34,92	9,61	32,20	3,77	29,42	2,97	28,29	2,28	29,33	3,39	30,75
5	33,25	5,50	31,60	4,06	31,50	4,93	30,58	4,19	29,35	2,71	30,22	3,38	31,08
5,5	30,00	1,41	32,50	3,27	32,75	4,98	30,67	4,21	29,59	2,87	30,11	2,85	30,94
6	29,50	0,71	33,40	4,10	33,14	5,18	32,09	4,83	30,50	3,06	30,22	3,31	31,48
6,5			31,67	2,08	31,40	4,16	32,36	4,27	31,13	3,93	31,78	3,90	31,67
7			36,50	3,54	33,67	5,51	33,20	4,69	31,64	3,65	33,22	4,58	33,65
7,5					33,00	5,29	35,43	5,32	31,25	2,45	31,17	3,06	32,71
8							35,20	3,83	32,44	2,88	30,00	1,83	32,55
8,5							37,00	3,46	32,17	3,43	31,00	1,41	33,39
9									34,40	3,91	33,33	1,15	33,87
9,5									35,67	6,35	33,00	0,00	34,33
10											33,00	1,41	33,00

En la Tabla 21 se muestran los datos obtenidos de VEO₂ durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 28,90 y 33,00.



p NIÑAS	
EDAD	VEO ₂
7 y 8	0,02
8 y 9	0,58
9 y 10	0,45
10 y 11	0,29
11 y 12	0,85
7 y 12	0,95

FIGURA 19: Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.

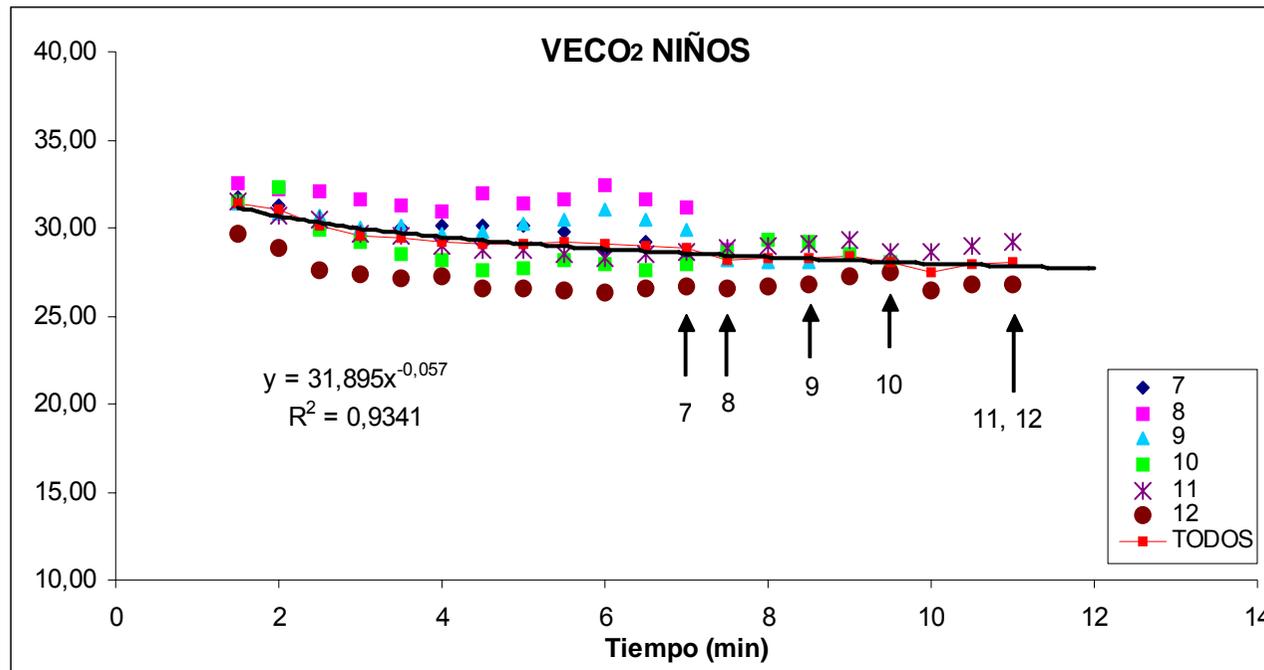
En la Figura 19 se representan gráficamente los valores medios de VEO₂ en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. Solo se observan diferencias significativas entre los grupos de 7 y 8 años ($p \leq 0,05$) de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste lineal con una correlación de 0,9152.

4.2.15. Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 22: Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	31,71	3,12	32,50	3,74	31,39	3,63	31,55	3,88	31,47	3,15	29,70	2,75	31,39
2	31,29	2,40	32,14	4,04	30,83	3,01	32,27	6,63	30,74	3,16	28,80	2,04	31,01
2,5	29,93	1,64	32,07	4,46	30,67	2,57	29,91	3,11	30,47	2,84	27,60	1,07	30,11
3	29,57	1,28	31,57	3,13	30,06	2,58	29,18	2,44	29,63	2,06	27,30	1,42	29,55
3,5	30,00	1,41	31,21	2,67	30,11	3,22	28,55	2,07	29,53	2,34	27,10	1,66	29,42
4	30,14	1,75	30,93	2,37	29,61	2,70	28,18	1,99	29,00	2,00	27,20	1,32	29,18
4,5	30,08	1,66	31,93	2,70	29,72	2,61	27,64	2,25	28,79	2,07	26,60	1,17	29,13
5	30,09	1,92	31,43	2,44	30,24	2,25	27,73	2,41	28,74	1,85	26,50	1,27	29,12
5,5	29,80	2,10	31,57	2,74	30,41	2,55	28,18	2,64	28,47	1,54	26,40	1,35	29,14
6	28,71	2,81	32,42	2,47	31,00	2,92	27,91	2,66	28,32	1,77	26,30	1,77	29,11
6,5	29,17	4,02	31,67	2,65	30,43	2,85	27,60	2,41	28,53	2,17	26,60	1,96	29,00
7	28,50	4,36	31,17	3,13	29,90	2,73	27,89	2,76	28,65	2,34	26,70	1,89	28,80
7,5			28,75	0,96	28,20	1,30	28,67	2,16	28,87	2,70	26,50	2,32	28,20
8					28,00	1,41	29,33	2,94	29,00	2,62	26,67	2,18	28,25
8,5					28,00	2,00	29,25	3,40	29,07	2,62	26,78	2,17	28,27
9							28,50	0,71	29,29	2,87	27,22	2,22	28,34
9,5							28,00	0,00	28,60	2,12	27,44	2,96	28,01
10									28,57	2,07	26,43	3,60	27,50
10,5									29,00	2,45	26,80	4,55	27,90
11									29,25	3,50	26,80	3,96	28,03

En la Tabla 22 se muestran los datos obtenidos de VECO₂ durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 31,39 y 28,03.



p NIÑOS	
EDAD	VECO ₂
7 y 8	0,0003
8 y 9	0,0003
9 y 10	0,02
10 y 11	0,35
11 y 12	9,33E-10
7 y 12	1,59E-08

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	VECO ₂
7	0,38
8	0,54
9	0,02
10	0,0001
11	0,24
12	1,12E-08

FIGURA 20: Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.

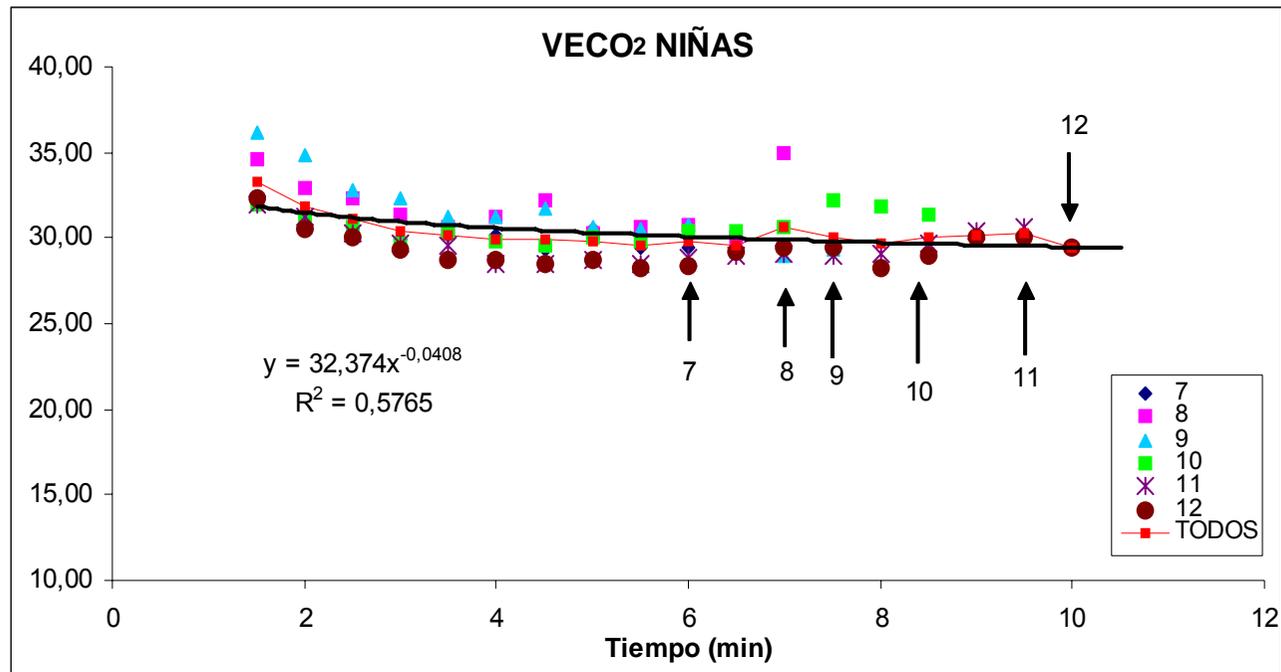
En la Figura 20 se representan gráficamente los valores medios de VECO₂ en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 7 y 8, 8 y 9 ($p \leq 0,001$), 9 y 10 ($p \leq 0,05$), 11 y 12 años ($p \leq 0,001$) y entre el primer y último grupo de edad ($p \leq 0,001$) de sexo masculino. Al comparar por sexos, se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 ($p \leq 0,05$), 10 y 12 años ($p \leq 0,001$). Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste potencial con una correlación de 0,9341.

4.2.16. Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 23: Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	32,45	4,16	34,63	4,47	36,18	5,19	32,00	2,66	31,94	2,54	32,33	1,87	33,26
2	30,55	3,91	32,94	3,55	34,82	4,98	31,17	2,66	31,24	1,82	30,56	1,42	31,88
2,5	30,55	3,21	32,31	3,48	32,82	3,68	30,58	2,39	30,29	1,90	30,00	1,73	31,09
3	29,91	3,05	31,31	2,15	32,36	3,70	29,67	2,27	29,71	1,69	29,33	1,41	30,38
3,5	30,18	3,12	30,63	1,93	31,27	3,55	30,25	2,90	29,53	1,81	28,78	1,56	30,11
4	30,18	2,82	31,21	2,19	31,20	3,55	29,83	2,89	28,47	1,70	28,67	1,58	29,93
4,5	29,33	1,21	32,15	4,83	31,70	2,58	29,58	2,54	28,53	1,46	28,44	1,51	29,96
5	30,50	1,73	30,30	2,00	30,67	3,67	30,00	2,73	28,71	1,40	28,78	1,79	29,83
5,5	29,50	2,12	30,67	2,42	30,50	3,96	29,75	2,96	28,53	1,50	28,22	1,39	29,53
6	29,50	3,54	30,80	1,92	30,71	3,64	30,45	3,24	28,81	1,76	28,33	1,80	29,77
6,5			30,00	1,00	29,20	3,03	30,45	2,91	29,00	2,24	29,22	2,39	29,58
7			35,00	9,90	29,00	3,46	30,60	3,20	29,07	2,27	29,44	2,07	30,62
7,5					29,33	4,04	32,14	3,08	29,00	1,76	29,50	2,07	29,99
8							31,80	2,28	29,11	1,54	28,25	0,96	29,72
8,5							31,33	1,15	29,67	1,86	29,00	1,83	30,00
9									30,40	2,19	30,00	1,00	30,20
9,5									30,67	3,79	30,00	1,41	30,33
10											29,50	0,71	29,50

En la Tabla 23 se muestran los datos obtenidos de VECO₂ durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 33,26 y 29,50.



p NIÑAS	
EDAD	VECO ₂
7 y 8	0,01
8 y 9	0,69
9 y 10	0,18
10 y 11	0,003
11 y 12	0,53
7 y 12	0,02

FIGURA 21: Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.

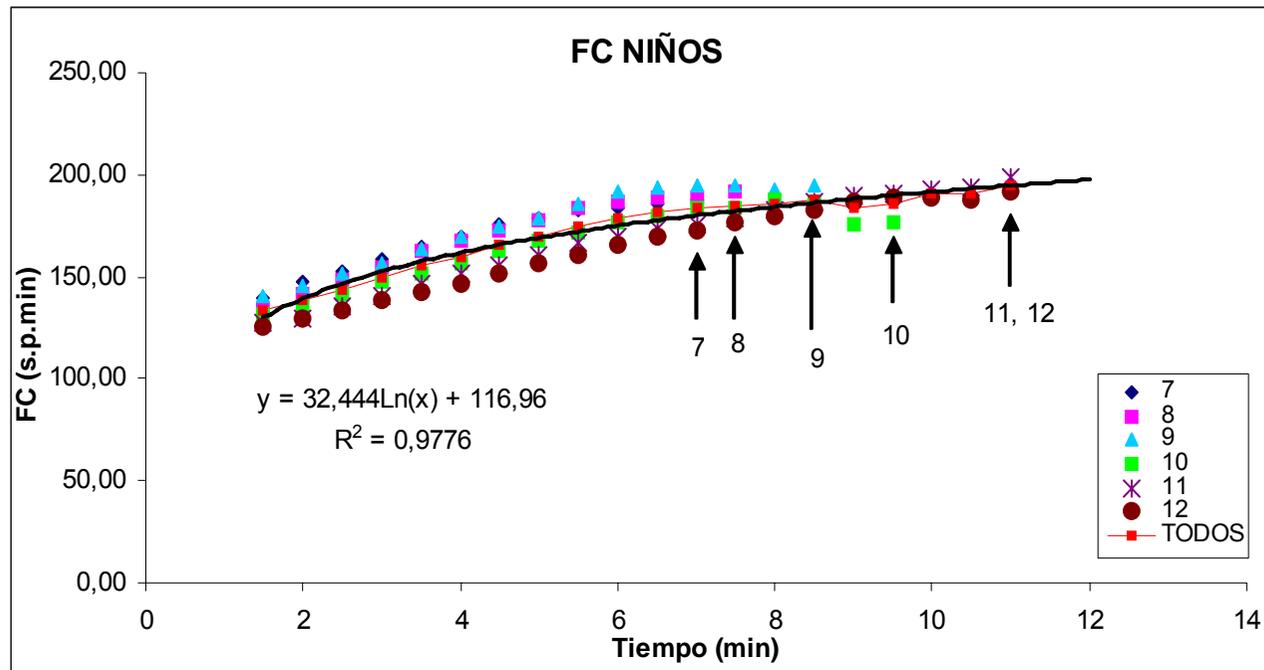
En la Figura 21 se representan gráficamente los valores medios de VECO₂ en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. Se observan diferencias significativas entre los grupos de 7 y 8, 10 y 11 años y entre el primer grupo y el último ($p \leq 0,05$) de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste potencial con una correlación de 0,5765.

4.2.17. Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 24: Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	139,79	12,98	134,57	10,07	140,33	12,08	131,09	12,50	127,42	12,23	125,67	5,94	133,14
2	147,14	11,61	141,21	9,36	145,61	13,58	135,82	13,51	129,63	13,20	129,67	7,26	138,18
2,5	152,57	14,27	148,50	10,04	151,88	13,22	141,91	13,49	135,44	14,86	133,70	8,64	144,00
3	159,08	13,17	154,31	11,82	156,56	12,66	147,36	15,21	140,74	15,15	138,60	8,83	149,44
3,5	164,50	13,22	162,64	9,81	163,94	12,10	151,55	15,10	146,32	16,05	142,80	7,76	155,29
4	169,23	13,20	167,36	10,23	169,33	11,76	157,00	15,63	151,11	15,58	146,60	8,67	160,11
4,5	176,00	13,03	172,86	9,16	174,22	12,28	162,45	15,17	155,84	15,37	151,60	9,96	165,50
5	178,50	9,64	178,00	9,73	178,94	10,89	167,36	15,53	160,74	14,17	156,60	10,59	170,02
5,5	183,10	9,63	183,71	9,82	185,69	11,61	171,36	16,24	166,47	14,14	160,50	10,11	175,14
6	184,00	10,64	186,33	9,71	191,69	10,29	176,91	14,79	169,74	14,10	165,70	9,78	179,06
6,5	185,50	12,76	189,11	9,66	193,86	10,80	179,60	14,45	173,58	11,99	169,50	10,02	181,86
7	187,50	10,79	188,50	8,24	194,60	11,67	184,22	13,86	175,65	9,60	172,80	9,32	183,88
7,5			191,50	9,15	194,60	12,22	183,83	15,52	178,87	8,33	176,80	9,05	185,12
8					193,00	9,42	187,67	12,31	182,67	8,26	179,44	9,04	185,69
8,5					194,33	11,72	186,25	15,41	187,07	7,67	183,11	9,70	187,69
9							175,50	7,78	189,36	6,85	186,33	9,54	183,73
9,5							177,00	4,24	190,30	5,29	188,56	9,40	185,29
10									192,29	5,82	188,43	9,81	190,36
10,5									193,80	6,26	188,20	8,29	191,00
11									198,67	6,03	191,40	9,40	195,03

En la Tabla 24 se muestran los datos obtenidos de FC durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 133,14 y 195,03 s.p.min.



p NIÑOS	
EDAD	FC
7 y 8	0,98
8 y 9	0,41
9 y 10	0,17
10 y 11	0,82
11 y 12	0,62
7 y 12	0,46

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	FC
7	0,15
8	0,39
9	0,76
10	0,51
11	0,40
12	0,66

FIGURA 22: Datos de la frecuencia cardíaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo masculino.

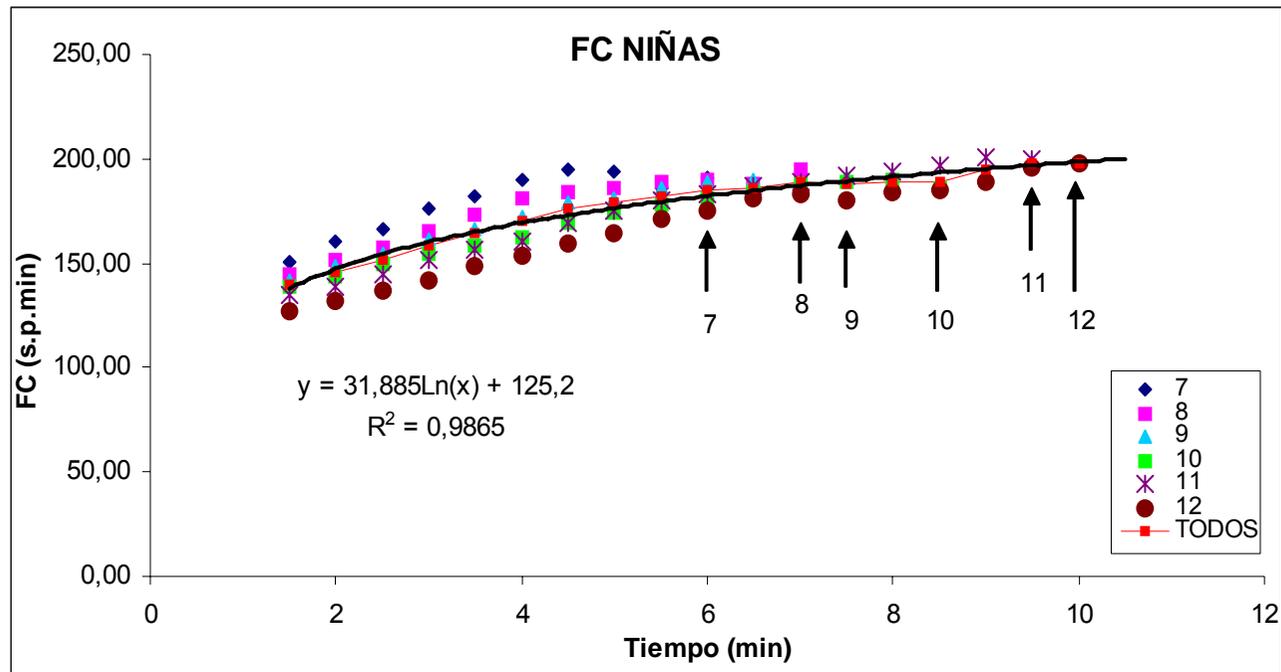
En la Figura 22 se representan gráficamente los valores medios de FC en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. No se observan diferencias significativas entre ningún grupo de edad de sexo masculino, así como tampoco al comparar por sexos. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste logarítmico con una correlación de 0,9776.

4.2.18. Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 25: Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	150,82	13,41	144,69	11,56	141,55	10,98	138,82	14,95	134,65	10,82	127,00	13,49	139,59
2	160,00	15,11	151,38	12,31	148,55	12,35	143,75	15,07	139,06	11,88	131,44	14,37	145,70
2,5	166,55	12,14	157,81	12,56	154,09	16,25	149,83	15,09	144,29	12,07	137,11	15,96	151,61
3	175,82	13,17	165,13	13,92	161,36	17,04	154,75	15,69	151,12	11,86	141,56	14,04	158,29
3,5	181,82	13,64	173,69	12,83	166,82	13,55	158,25	16,18	156,53	11,55	148,44	15,75	164,26
4	189,64	10,76	180,71	13,50	172,50	14,54	162,83	15,70	160,88	10,64	153,78	17,56	170,06
4,5	194,83	15,01	183,67	12,75	179,60	14,69	169,50	15,41	169,06	12,01	159,89	18,31	176,09
5	194,25	12,84	186,30	11,21	181,11	14,62	173,83	14,61	175,24	11,46	164,33	15,35	179,18
5,5	186,50	9,19	189,17	12,83	185,63	14,61	178,17	14,32	180,24	10,40	171,44	14,56	181,86
6	191,00	9,90	190,20	11,26	188,86	14,29	181,42	16,42	182,88	9,87	175,44	13,57	184,97
6,5			188,33	8,62	190,20	15,25	184,09	14,40	186,53	9,58	180,89	13,61	186,01
7			195,00	4,24	188,33	20,98	188,30	13,07	188,79	8,64	183,44	16,52	188,77
7,5					191,33	18,34	189,00	12,99	191,92	8,62	180,33	14,96	188,15
8							190,40	14,57	193,56	7,97	183,75	16,94	189,24
8,5							186,33	16,44	196,67	3,72	185,00	18,92	189,33
9									200,60	3,85	188,67	19,01	194,63
9,5									199,67	2,31	196,00	24,04	197,83
10											198,00	21,21	198,00

En la Tabla 25 se muestran los datos obtenidos de FC durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 139,59 y 198,00 s.p.min.



p NIÑAS	
EDAD	FC
7 y 8	0,60
8 y 9	0,72
9 y 10	0,64
10 y 11	0,60
11 y 12	0,39
7 y 12	0,11

FIGURA 23: Datos de la frecuencia cardíaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo femenino.

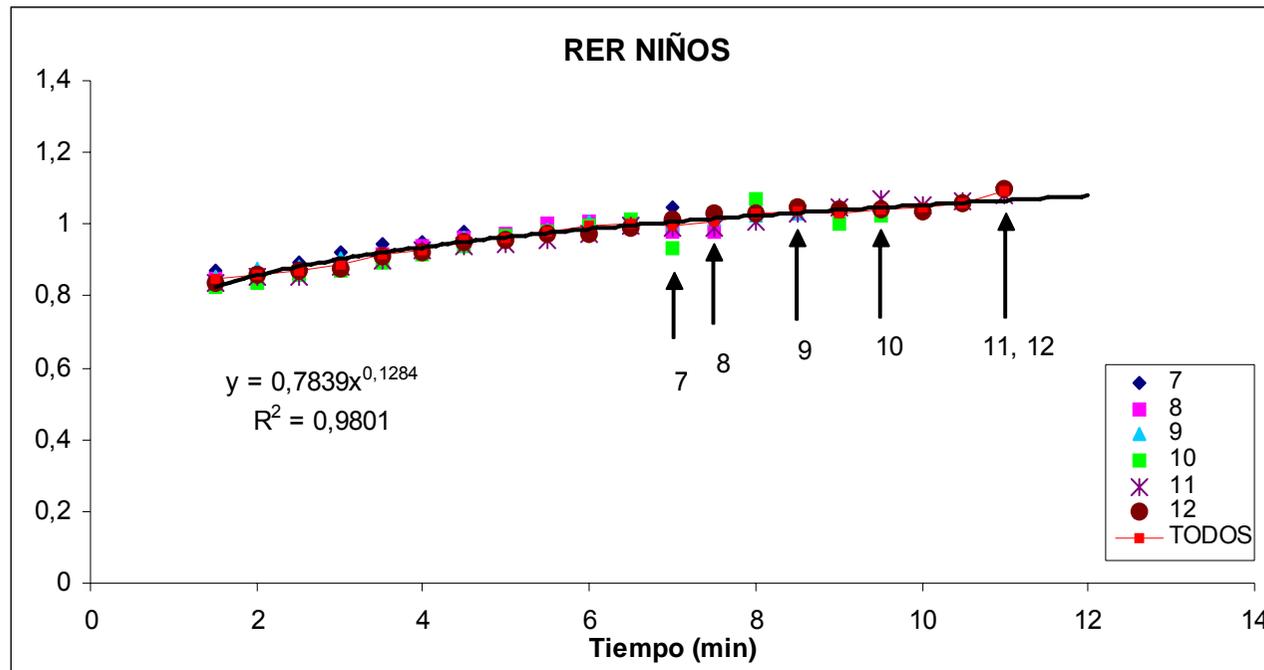
En la Figura 23 se representan gráficamente los valores medios de FC en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. No se observan diferencias significativas entre ningún grupo de edad de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste logarítmico con una correlación de 0,9865.

4.2.19. Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo masculino.

TABLA 26: Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	0,87	0,08	0,85	0,10	0,86	0,09	0,83	0,05	0,84	0,07	0,83	0,06	0,85
2	0,87	0,07	0,86	0,10	0,87	0,06	0,84	0,07	0,85	0,06	0,86	0,05	0,86
2,5	0,89	0,08	0,87	0,07	0,88	0,06	0,86	0,04	0,85	0,07	0,87	0,06	0,87
3	0,92	0,07	0,89	0,07	0,90	0,06	0,87	0,05	0,88	0,08	0,88	0,07	0,89
3,5	0,95	0,07	0,92	0,07	0,92	0,07	0,89	0,04	0,90	0,07	0,91	0,06	0,91
4	0,95	0,08	0,94	0,08	0,93	0,06	0,91	0,03	0,93	0,05	0,92	0,05	0,93
4,5	0,98	0,09	0,96	0,08	0,96	0,06	0,94	0,04	0,94	0,06	0,95	0,07	0,96
5	0,96	0,06	0,97	0,07	0,97	0,08	0,97	0,05	0,94	0,06	0,96	0,07	0,96
5,5	0,98	0,06	1,00	0,07	0,99	0,05	0,98	0,06	0,96	0,07	0,98	0,07	0,98
6	1,00	0,09	1,01	0,07	1,00	0,06	1,00	0,05	0,97	0,07	0,98	0,07	0,99
6,5	1,01	0,05	1,00	0,08	1,01	0,05	1,01	0,05	1,00	0,07	0,99	0,07	1,00
7	1,05	0,07	0,98	0,03	1,00	0,07	0,93	0,36	0,99	0,08	1,01	0,06	0,99
7,5			0,98	0,03	1,01	0,01	1,03	0,06	0,99	0,05	1,03	0,06	1,01
8					1,03	0,02	1,07	0,12	1,01	0,05	1,03	0,04	1,03
8,5					1,03	0,06	1,05	0,05	1,03	0,05	1,04	0,06	1,04
9							1,00	0,08	1,05	0,08	1,04	0,06	1,03
9,5							1,02	0,08	1,07	0,07	1,04	0,04	1,04
10									1,06	0,04	1,04	0,03	1,05
10,5									1,06	0,05	1,06	0,03	1,06
11									1,08	0,04	1,10	0,05	1,09

En la Tabla 26 se muestran los datos obtenidos de RER durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo masculino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 7 min en el grupo de 7 años y los 11 min a los 11 y 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 0,85 y 1,09.



p NIÑOS	
EDAD	RER
7 y 8	0,58
8 y 9	0,45
9 y 10	0,87
10 y 11	0,51
11 y 12	0,78
7 y 12	0,33

p NIÑOS-NIÑAS	
EDAD	RER
7	0,37
8	0,04
9	0,27
10	0,11
11	0,27
12	0,15

FIGURA 24: Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo masculino.

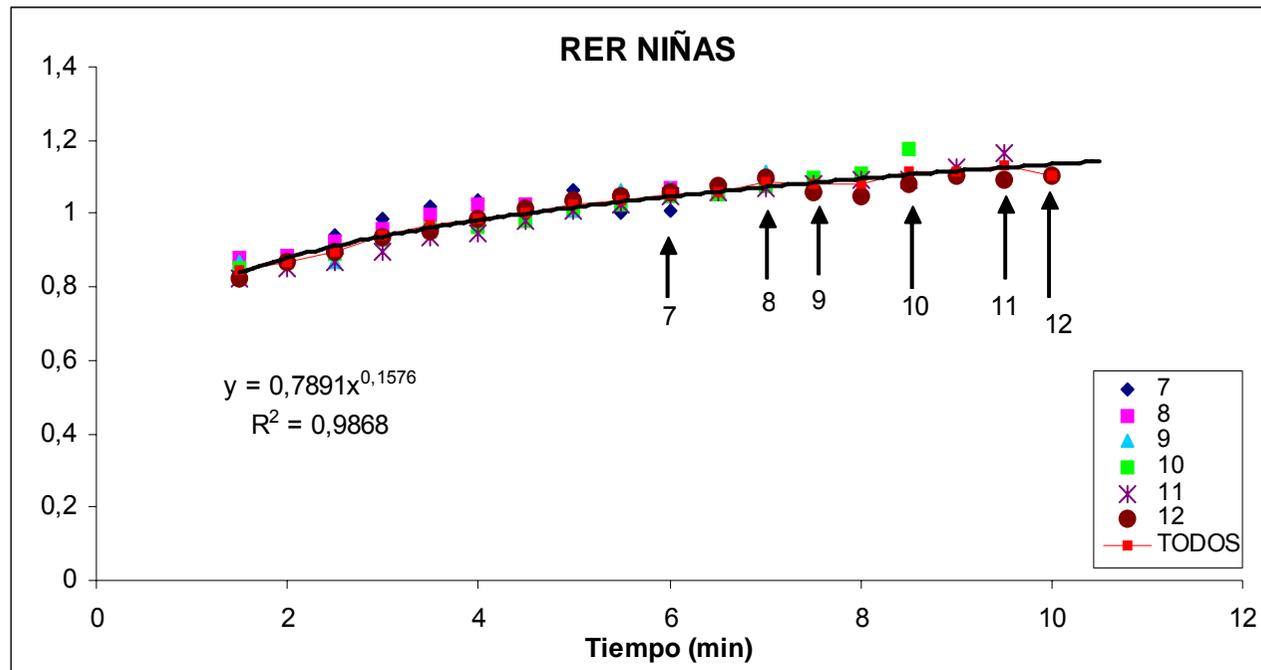
En la Figura 24 se representan gráficamente los valores medios de RER en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo masculino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro superior, situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. El cuadro inferior muestra las diferencias (valor de p) entre sexos. No se observan diferencias significativas entre ningún grupo de edad de sexo masculino, pero al comparar por sexos, se observan diferencias a los 8 años ($p \leq 0,05$). Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste potencial con una correlación de 0,9801.

4.2.20. Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo femenino.

TABLA 27: Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)													
Tiempo (min)	7		8		9		10		11		12		PROMEDIO
	Media	D.S.	Media										
1,5	0,83	0,09	0,88	0,06	0,87	0,13	0,85	0,05	0,82	0,06	0,82	0,07	0,85
2	0,88	0,12	0,88	0,08	0,87	0,09	0,87	0,05	0,85	0,04	0,87	0,06	0,87
2,5	0,94	0,13	0,92	0,07	0,87	0,07	0,89	0,04	0,87	0,04	0,90	0,07	0,90
3	0,99	0,17	0,96	0,08	0,93	0,08	0,93	0,05	0,89	0,06	0,93	0,09	0,94
3,5	1,02	0,15	1,00	0,08	0,95	0,09	0,96	0,06	0,93	0,06	0,95	0,08	0,97
4	1,04	0,15	1,02	0,09	0,97	0,08	0,97	0,06	0,95	0,07	0,99	0,08	0,99
4,5	1,03	0,13	1,03	0,07	1,00	0,07	0,98	0,06	0,98	0,06	1,02	0,08	1,00
5	1,07	0,14	1,03	0,07	1,01	0,07	1,02	0,07	1,01	0,07	1,04	0,07	1,03
5,5	1,00	0,10	1,05	0,07	1,06	0,09	1,02	0,06	1,03	0,06	1,04	0,06	1,03
6	1,01	0,11	1,07	0,10	1,07	0,11	1,05	0,07	1,05	0,06	1,06	0,07	1,05
6,5			1,05	0,11	1,06	0,07	1,05	0,06	1,06	0,07	1,08	0,07	1,06
7			1,08	0,12	1,11	0,04	1,08	0,06	1,07	0,06	1,10	0,08	1,09
7,5					1,09	0,06	1,10	0,07	1,08	0,04	1,06	0,06	1,08
8							1,11	0,07	1,09	0,04	1,05	0,06	1,08
8,5							1,18	0,08	1,09	0,05	1,08	0,06	1,12
9									1,13	0,05	1,10	0,05	1,12
9,5									1,17	0,06	1,09	0,04	1,13
10											1,10	0,09	1,10

En la Tabla 27 se muestran los datos obtenidos de RER durante la prueba de esfuerzo en la muestra de sexo femenino en cada grupo de edad, expresados por los valores medios y su desviación estándar recogidos cada 30 segundos, iniciándose a los 1,5 minutos. En la parte derecha de la tabla, vienen expresados los valores medios de todos los sujetos aquí reflejados. La duración de la prueba aumenta con la edad, oscilando entre los 6 min en el grupo de 7 años y los 10 min a los 12 años. Los valores promedios registrados en la prueba oscilan entre 0,85 y 1,10.



p NIÑAS	
EDAD	RER
7 y 8	0,56
8 y 9	0,80
9 y 10	0,70
10 y 11	0,98
11 y 12	0,71
7 y 12	0,25

FIGURA 25: Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo femenino.

En la Figura 25 se representan gráficamente los valores medios de RER en cada grupo de edad y el promedio de todos los grupos de sexo femenino, a lo largo de la prueba, que aparecen situados en el eje de abscisas. Las flechas indican la duración alcanzada por cada grupo de edad en la prueba. En el cuadro situado a la derecha de la figura se muestra el valor de p (t-Student) entre cada grupo de edad y su consecutivo y situado al final del cuadro, en color verde, se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último. No se observan diferencias significativas entre ningún grupo de edad de sexo femenino. Los datos considerados en su conjunto presentan un ajuste potencial con una correlación de 0,9868.

4.3. Estadística de los datos de la prueba de esfuerzo.

TABLA 28: Valores de la varianza por edades y valor de p (t-Student) entre edades en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)											
	EDAD	VO₂/kg	VO₂	VCO₂	VE	VD/Vt Est	PetCO₂	VEO₂	VECO₂	FC	RER
VARIANZA	7	25,75	0,04	0,06	47,84	0,00003	0,31	1,52	0,85	263,39	0,003
	8	45,06	0,08	0,10	104,22	0,0001	0,74	2,36	0,91	378,35	0,003
	9	42,36	0,13	0,18	140,30	0,0001	0,75	1,79	1,13	380,29	0,003
	10	45,20	0,12	0,17	138,06	0,0003	0,61	2,97	1,79	339,60	0,01
	11	86,50	0,20	0,30	246,56	0,0002	0,14	3,23	0,68	516,26	0,01
	12	107,30	0,23	0,33	245,67	0,0004	0,26	2,58	0,71	478,78	0,01
P	7 y 8	0,81	0,17	0,33	0,16	0,0003	0,0003	0,06	0,0003	0,98	0,58
	8 y 9	0,47	0,19	0,22	0,45	0,01	0,001	0,07	0,0003	0,41	0,45
	9 y 10	0,28	0,25	0,41	0,23	0,53	0,0001	0,04	0,02	0,17	0,87
	10 y 11	0,32	0,02	0,06	0,04	0,10	0,001	0,29	0,35	0,82	0,51
	11 y 12	0,98	0,66	0,64	0,94	0,05	4,51E-17	0,002	9,33E-10	0,62	0,78
	7 y 12	0,65	0,0002	0,001	0,005	0,67	2,23E-12	0,0001	1,59E-08	0,46	0,33

En la Tabla 28 se muestran los valores obtenidos de la varianza en cada grupo de edad de sexo masculino de los parámetros analizados (VO₂/kg, VO₂ absoluto, VCO₂, VE, VD/Vt Est, PetCO₂, VEO₂, VECO₂, FC y RER). Y el valor de p (t-Student) al comparar cada grupo de edad con su consecutivo y al final del cuadro, en color verde se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último en cada parámetro. En color rojo aparecen aquellos valores que muestran diferencias significativas.

TABLA 29: Valores de la varianza por edades y valor de p (t-Student) entre edades en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)											
	EDAD	VO₂/kg	VO₂	VCO₂	VE	VD/Vt Est	PetCO₂	VEO₂	VECO₂	FC	RER
VARIANZA	7	27,95	0,11	0,14	123,01	0,0002	0,51	3,05	0,80	236,10	0,01
	8	25,44	0,06	0,09	68,94	0,0002	0,66	3,98	2,69	283,05	0,01
	9	34,02	0,04	0,07	50,08	0,0003	0,12	2,21	4,51	292,17	0,01
	10	36,17	0,08	0,16	164,25	0,0001	0,70	9,44	0,74	305,67	0,01
	11	81,35	0,16	0,28	259,20	0,001	2,36	7,93	1,04	484,58	0,01
	12	70,61	0,21	0,32	269,98	0,001	2,11	5,07	1,02	505,29	0,01
P	7 y 8	0,13	0,35	0,59	0,70	0,10	0,01	0,02	0,01	0,60	0,56
	8 y 9	0,21	0,51	0,57	0,53	0,32	0,01	0,58	0,69	0,72	0,80
	9 y 10	0,05	0,0001	0,002	0,002	0,01	0,62	0,45	0,18	0,64	0,70
	10 y 11	0,72	0,90	0,84	0,96	0,05	0,02	0,29	0,003	0,60	0,98
	11 y 12	0,73	0,58	0,63	0,70	0,48	0,90	0,85	0,53	0,39	0,71
	7 y 12	0,53	0,03	0,02	0,03	0,001	0,04	0,95	0,02	0,11	0,25

En la Tabla 29 se muestran los valores obtenidos de la varianza en cada grupo de edad de sexo femenino de los parámetros analizados (VO₂/kg, VO₂ absoluto, VCO₂, VE, VD/Vt Est, PetCO₂, VEO₂, VECO₂, FC y RER). Y el valor de p (t-Student) al comparar cada grupo de edad con su consecutivo y al final del cuadro, en color verde se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último en cada parámetro. En color rojo aparecen aquellos valores que muestran diferencias significativas.

TABLA 30: Valor de p (t-Student) al comparar entre sexos por edades.

MUESTRA TOTAL AMBOS SEXOS (n = 164)											
P	EDAD	VO ₂ /kg	VO ₂	VCO ₂	VE	VD/Vt Est	PetCO ₂	VEO ₂	VECO ₂	FC	RER
	7	0,04	0,52	0,61	0,58	0,46	0,98	0,11	0,38	0,15	0,37
	8	0,001	0,004	0,04	0,02	0,47	0,46	0,01	0,54	0,39	0,04
	9	0,0002	0,00004	0,001	0,001	0,02	0,64	0,00003	0,02	0,76	0,27
	10	0,23	0,87	0,66	0,30	0,00001	0,00001	0,002	0,0001	0,51	0,11
	11	0,15	0,06	0,25	0,33	0,51	0,39	0,07	0,24	0,40	0,27
	12	0,08	0,10	0,28	0,61	0,01	0,00003	0,00001	1,12E-08	0,66	0,15

En la Tabla 30 se muestran las diferencias expresadas a través del valor de p (t-Student), entre ambos sexos en cada grupo de edad, de los parámetros analizados (VO₂/kg, VO₂ absoluto, VCO₂, VE, VD/Vt Est, PetCO₂, VEO₂, VECO₂, FC y RER). En color rojo aparecen los valores que presentan diferencias significativas.

4.4. Estudio de las relaciones particulares de VE vs VCO₂ y FC vs VO₂/kg.

4.4.1. Estudio de las relaciones particulares de VE vs VCO₂.

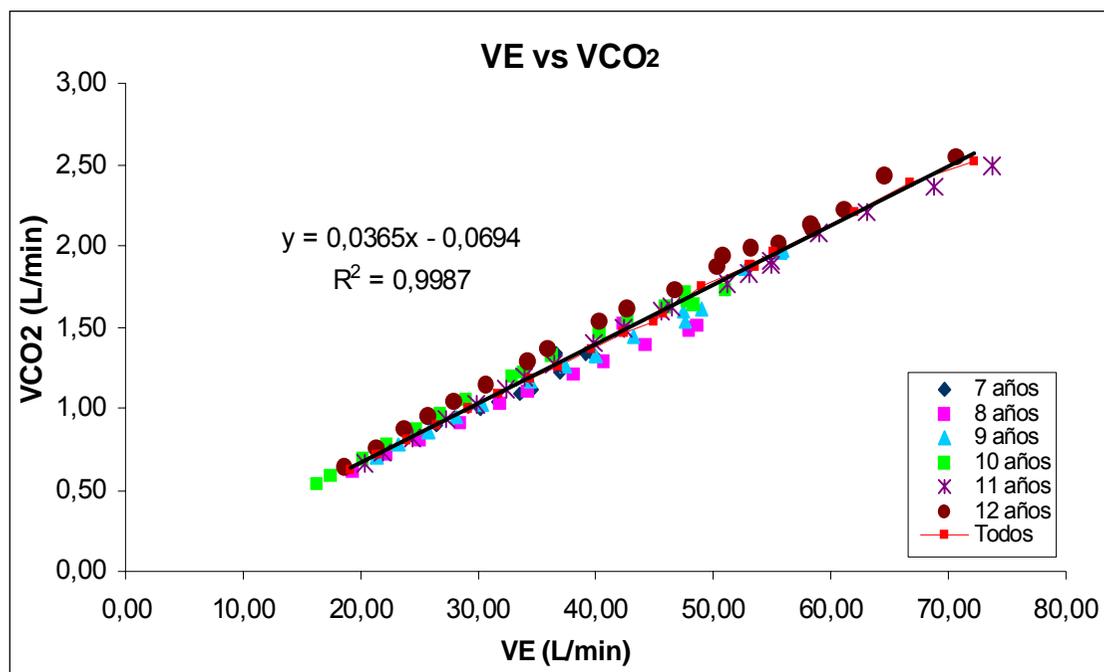


FIGURA 26: Estudio de la relación particular entre la ventilación (VE) y la producción de CO₂ (VCO₂): VE vs VCO₂ en la muestra de sexo masculino (n = 86).

La Figura 26 muestra la existencia de una relación lineal entre VE y VCO₂ para los valores medios en cada grupo de edad de la muestra de sexo masculino. Esta relación presenta una correlación próxima a 1 con independencia del nivel de ejercicio del que se trate.

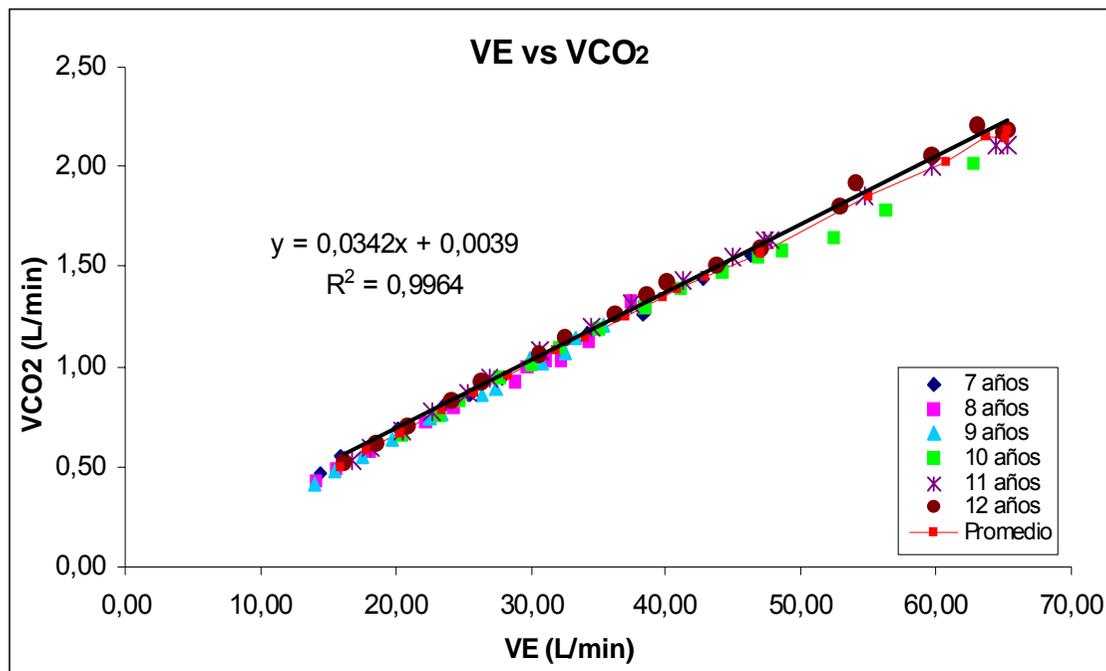


FIGURA 27: Estudio de la relación particular entre la ventilación (VE) y la producción de CO₂ (VCO₂): VE vs VCO₂ en la muestra de sexo femenino (n = 78).

La Figura 27 muestra la existencia de una relación lineal entre VE y VCO₂ para los valores medios en cada grupo de edad de la muestra de sexo femenino. Esta relación presenta una correlación próxima a 1 con independencia del nivel de ejercicio del que se trate.

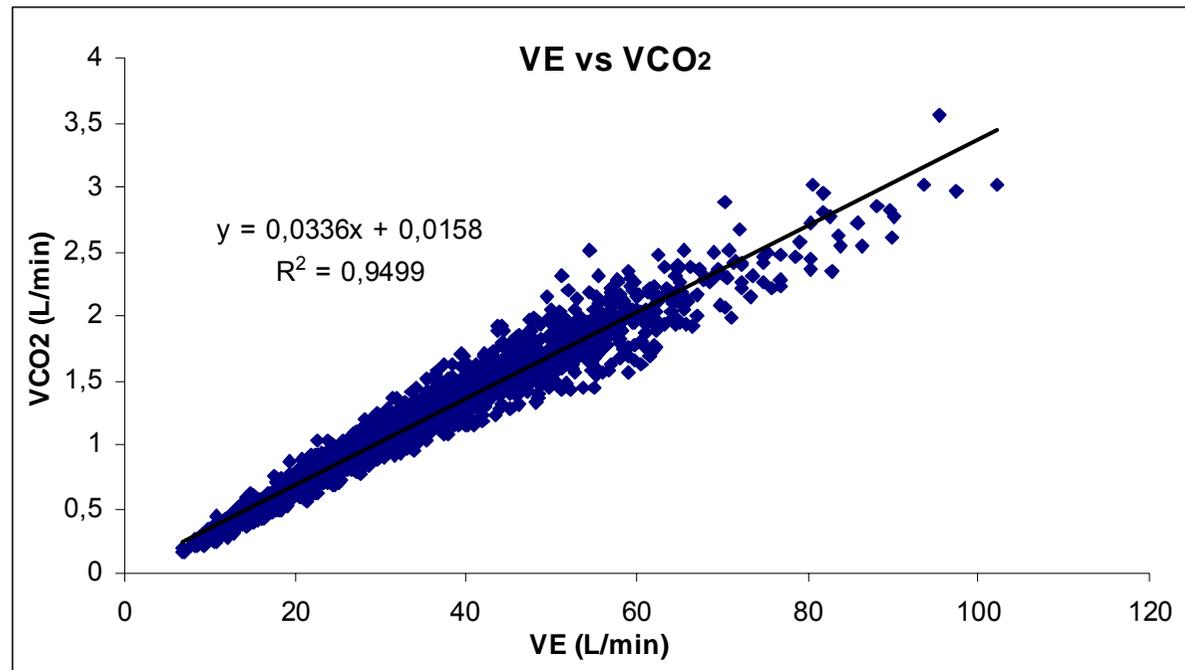


FIGURA 28: Estudio de la relación particular entre la ventilación (VE) y la producción de CO₂ (VCO₂): VE vs VCO₂ en toda la muestra (n = 164).

La Figura 28 muestra la existencia de una relación lineal entre VE y VCO₂ para todos los valores individuales de la muestra completa. Esta relación presenta una correlación de 0,9499 con independencia del nivel de ejercicio del que se trate.

4.4.2. Estudio de las relaciones particulares de FC vs VO_2/kg .

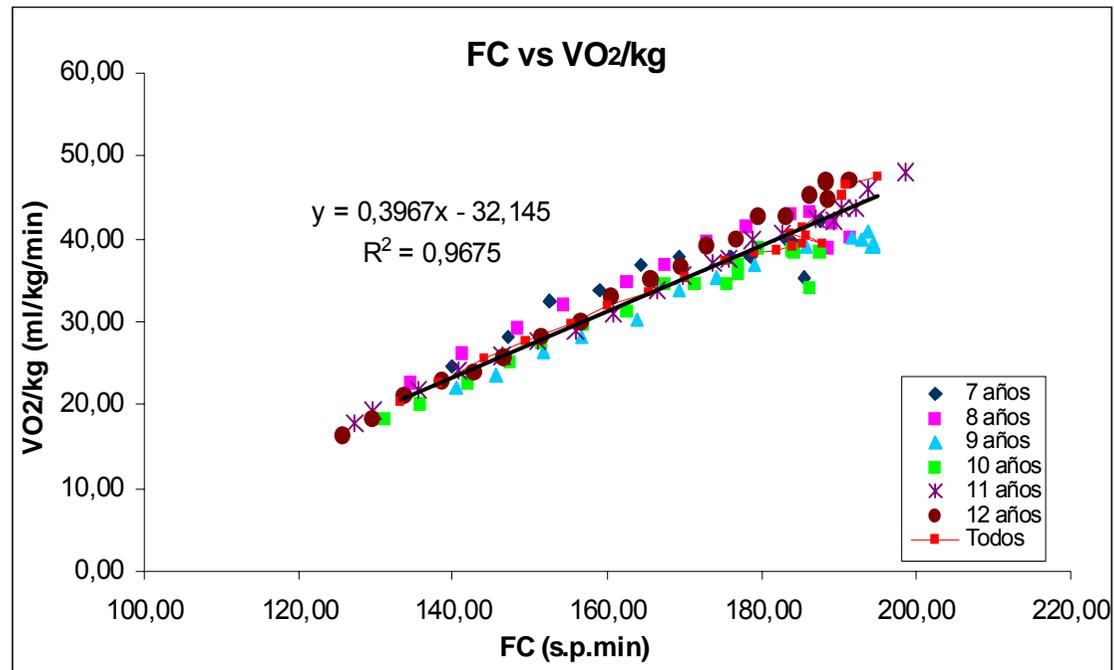


FIGURA 29: Estudio de la relación particular entre la frecuencia cardiaca (FC) y el VO₂/kg: FC vs VO₂/kg en la muestra de sexo masculino (n = 86).

La Figura 29 muestra la existencia de una relación lineal entre FC y VO₂/kg para los valores medios en cada grupo de edad de la muestra de sexo masculino. Esta relación presenta una correlación próxima a 1 con independencia del nivel de ejercicio del que se trate.

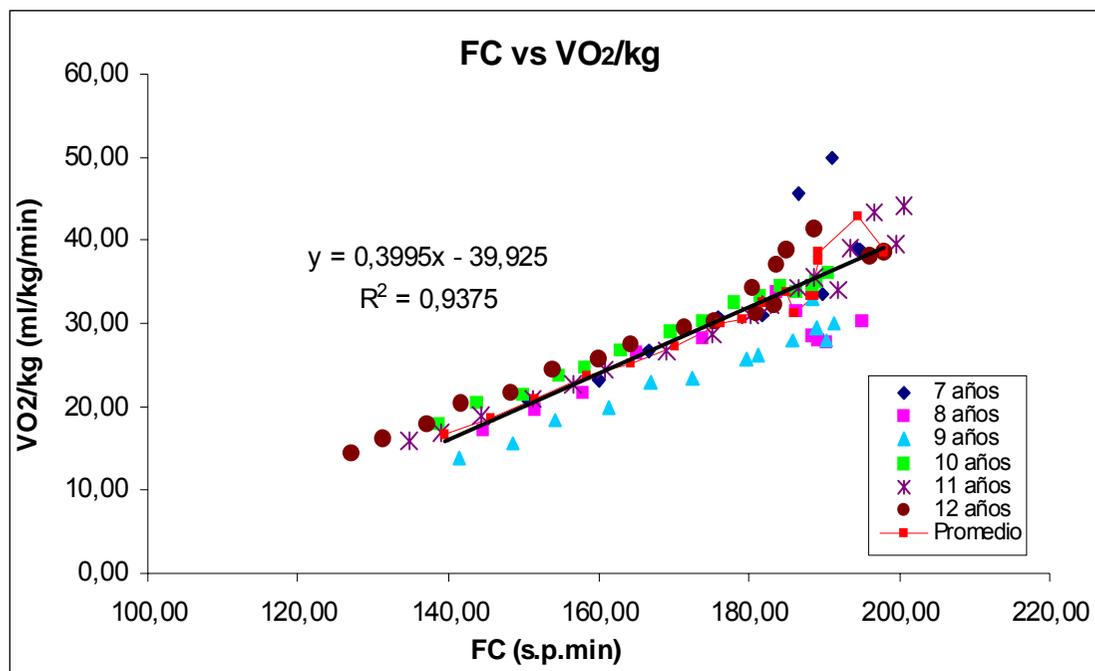


FIGURA 30: Estudio de la relación particular entre la frecuencia cardiaca (FC) y el VO₂/kg: FC vs VO₂/kg en la muestra de sexo femenino (n = 78).

La Figura 30 muestra la existencia de una relación lineal entre FC y VO₂/kg para los valores medios en cada grupo de edad de la muestra de sexo femenino. Esta relación presenta una correlación próxima a 1 con independencia del nivel de ejercicio del que se trate.

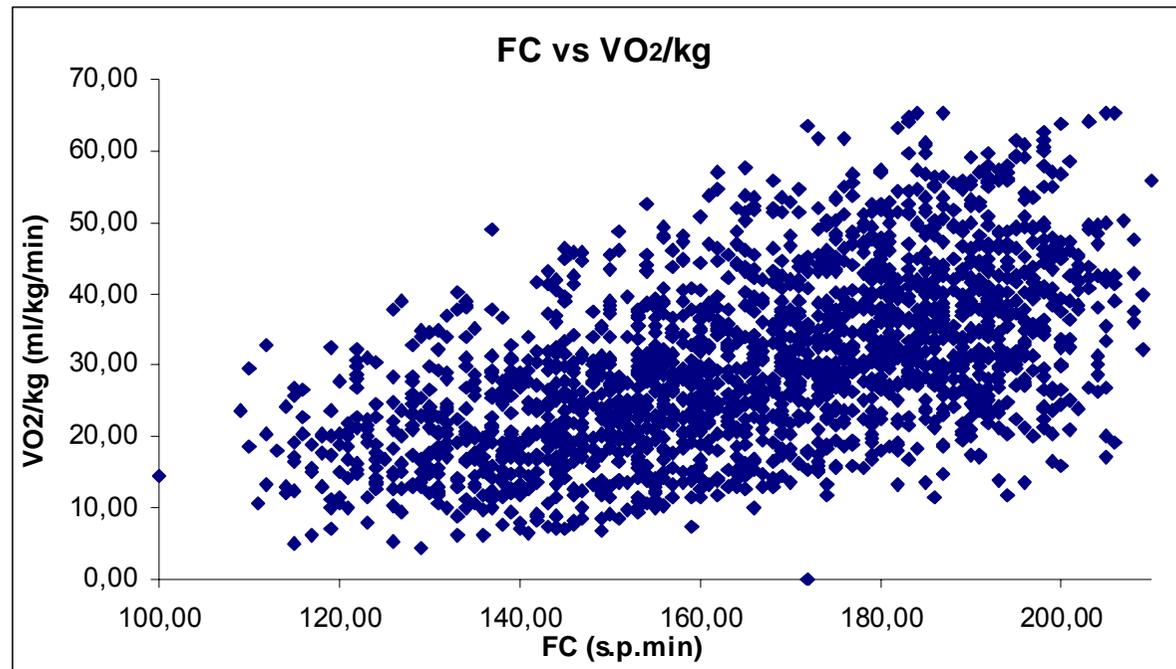


FIGURA 31: Estudio de la relación particular entre la frecuencia cardiaca (FC) y el VO₂/kg: FC vs VO₂/kg en toda la muestra (n = 164).

La Figura 31 muestra la inexistencia de una relación lineal entre FC y VO₂/kg para todos los valores individuales de la muestra completa.

4.5. Datos máximos y en el umbral anaeróbico de la prueba de esfuerzo.

4.5.1. Valores de $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$, $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$ en el umbral anaeróbico ($VO_{2\text{pico}}/\text{kg UA}$) y su porcentaje en la muestra se sexo masculino.

TABLA 31: Valores (promedios y D.S.) de VO_{2pico}/kg, VO_{2pico}/kg en el umbral anaeróbico (VO_{2pico}/kg UA) y su porcentaje en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)					
Edad	VO_{2pico}/kg (ml/kg/min)		VO_{2pico}/kg UA (ml/kg/min)		%
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	
7	44,23	10,18	39,02	10,32	88%
8	46,89	14,31	40,53	15,47	86%
9	42,94	8,48	36,47	7,78	85%
10	44,53	9,59	37,14	9,00	83%
11	44,81	9,90	37,16	9,12	83%
12	47,89	9,75	39,64	10,31	83%

En la Tabla 31 se muestran los valores medios y la desviación estándar de VO_{2pico}/kg, VO_{2pico}/kg UA y el porcentaje en cada grupo de edad de sexo masculino. El valor inferior de VO_{2pico}/kg es de 42,94 ± 8,48 (9 años) y el superior de 47,89 ± 9,75 (12 años) ml/kg/min. El valor inferior de VO_{2pico}/kg UA es de 36,47 ± 7,78 (9 años) y el superior de 40,53 ± 15,47 (8 años) ml/kg/min. El porcentaje de VO_{2pico}/kg UA va disminuyendo con la edad, siendo de un 88% en el grupo de 7 años y de un 83% a partir de los 10 años. No se observan diferencias significativas entre ningún grupo de edad ni en el VO_{2pico}/kg, ni en el VO_{2pico}/kg UA.

4.5.2. Valores de $\text{VO}_{2\text{pico}}/\text{kg}$, $\text{VO}_{2\text{pico}}/\text{kg}$ en el umbral anaeróbico ($\text{VO}_{2\text{pico}}/\text{kg UA}$) y su porcentaje en la muestra de sexo femenino.

TABLA 32: Valores (promedios y D.S.) de VO_{2pico}/kg, VO_{2pico}/kg en el umbral anaeróbico (VO_{2pico}/kg UA) y su porcentaje en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)					
Edad	VO_{2pico}/kg (ml/kg/min)		VO_{2pico}/kg UA (ml/kg/min)		%
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	
7	36,90	13,37	36,76	11,91	100%
8	36,79	11,29	31,19	11,25	85%
9	31,37*	9,02	26,84	9,12	86%
10	39,02*	5,24	31,63	5,95	81%
11	38,46	9,56	30,86	9,37	80%
12	37,70	7,65	29,95	7,90	79%

En la Tabla 32 se muestran los valores medios y la desviación estándar del VO_{2pico}/kg, el VO_{2pico}/kg UA, y el porcentaje en cada grupo de edad de sexo femenino. El valor inferior de VO_{2pico}/kg es de 31,37 ± 9,02 (9 años) y el superior de 39,02 ± 5,24 (10 años) ml/kg/min. El valor inferior de VO_{2pico}/kg UA es de 26,84 ± 9,12 (9 años) y el superior de 36,76 ± 11,91 (7 años) ml/kg/min. El porcentaje de VO_{2pico}/kg UA va disminuyendo con la edad, siendo de un 100% en el grupo de 7 años y de un 79% en el grupo de 12 años. Solo se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10 años (*) (p ≤ 0,05) en el VO_{2pico}/kg.

4.5.3. Comparación entre sexos del $\text{VO}_{2\text{pico}}/\text{kg}$ y $\text{VO}_{2\text{pico}}/\text{kg UA}$ en toda la muestra.

TABLA 33: Comparación entre sexos del $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$ y $VO_2/\text{kg UA}$ en toda la muestra.

p NIÑOS-NIÑAS		
Edad	$VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$	$VO_{2\text{pico}}/\text{kg UA}$
7	0,15	0,65
8	0,04	0,07
9	0,003	0,01
10	0,11	0,10
11	0,06	0,05
12	0,02	0,03

La Tabla 33 muestra los valores de p (t-Student) obtenidos entre sexos en cada grupo de edad de los parámetros $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$ y $VO_{2\text{pico}}/\text{kg UA}$. Respecto al $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$, hay diferencias en los grupos de 8, 9 y 12 años ($p \leq 0,05$). Sin embargo, las diferencias existentes en el $VO_{2\text{pico}}/\text{kg UA}$, son en los grupos de 9, 11 y 12 años ($p \leq 0,05$).

4.5.4. Valores de la potencia pico (P_{pico}), potencia pico en el umbral anaeróbico ($P_{\text{pico UA}}$), el porcentaje y potencia relativa a la masa corporal (W/kg) en la muestra de sexo masculino.

TABLA 34: Valores (promedios y D.S.) de la potencia pico (P_{pico}), potencia en el umbral anaeróbico ($P_{\text{pico UA}}$), el porcentaje y potencia relativa a la masa corporal ($P_{\text{pico/kg}}$) en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)							
Edad	P_{pico} (W)		$P_{\text{pico UA}}$ (W)		%	$P_{\text{pico/kg}}$	
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.		MEDIA	D.S.
7	77,14*	10,51	65,00*	8,77	84%	2,58	0,53
8	83,21	8,68	68,57	7,45	82%	2,62*	0,41
9	86,78*	11,82	69,17*	9,43	80%	2,31*	0,34
10	100,00*	11,62	82,27*	14,89	82%	2,73*	0,38
11	107,63	13,27	85,79	14,74	80%	2,48	0,59
12	116,50*	14,15	89,00*	10,75	76%	2,52	0,71

En la Tabla 34 se muestran los valores medios y la desviación estándar de P_{pico} , $P_{\text{pico UA}}$, el porcentaje de la potencia en el umbral sobre el máximo, y $P_{\text{pico/kg}}$ en cada grupo de edad de sexo masculino. La P_{pico} aumenta con la edad, siendo el valor inferior de $77,14 \pm 10,51$ W (7 años), alcanzando un máximo de $116,50 \pm 14,15$ W (12 años). La $P_{\text{pico UA}}$ tiene un comportamiento similar, oscilando entre los $65,00 \pm 8,77$ W (7 años) y los $89,00 \pm 10,75$ W (12 años). El porcentaje del valor de la $P_{\text{pico UA}}$ sobre el máximo, disminuye entre el primer y último grupo de edad, pero los valores desde los 8 a los 11 años se mantienen entre los valores del 80 y 82%. Respecto a la $P_{\text{pico/kg}}$, los valores oscilan entre los $2,58 \pm 0,53$ W/kg en el grupo de 7 años y los $2,52 \pm 0,71$ W/kg en el grupo de 12 años.

Se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10 años (*) ($p \leq 0,05$) y entre el primer y último grupo de edad (*) ($p \leq 0,001$) tanto en la P_{pico} , como en la $P_{\text{pico UA}}$. Las diferencias significativas observadas en la $P_{\text{pico/kg}}$ se encuentran en los grupos de 8 y 9, y 9 y 10 años (*) ($p \leq 0,05$).

4.5.5. Valores de la potencia pico (P_{pico}), potencia pico en el umbral anaeróbico ($P_{\text{pico UA}}$), el porcentaje y potencia relativa a la masa corporal (W/kg) en la muestra de sexo femenino.

TABLA 35: Valores (promedios y D.S.) de la potencia pico (P_{pico}), potencia pico en el umbral anaeróbico ($P_{\text{pico UA}}$), el porcentaje y potencia relativa a la masa corporal (W/kg) en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)							
Edad	P_{pico} (W)		$P_{\text{pico UA}}$ (W)		%	$P_{\text{pico/kg}}$	
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.		MEDIA	D.S.
7	63,18*	11,68	60,56*	10,14	96%	2,23	0,53
8	66,25	11,47	55,63	9,98	84%	2,27	0,37
9	73,64*	14,16	61,50*	14,92	84%	2,13	0,54
10	91,25*	13,84	75,00*	11,48	82%	2,18	0,37
11	98,82	14,31	77,35	11,47	78%	2,38	0,48
12	100,45*	13,68	80,45*	10,36	80%	2,28	0,49

En la Tabla 35 se muestran los valores medios y la desviación estándar de P_{pico} , $P_{\text{pico UA}}$, el porcentaje de la potencia en el umbral sobre el máximo, y $P_{\text{pico/kg}}$ en cada grupo de edad de sexo femenino. La P_{pico} aumenta con la edad, siendo el valor inferior de $63,18 \pm 11,68$ W (7 años), alcanzando un máximo de $100,45 \pm 13,68$ W (12 años). La $P_{\text{pico UA}}$ muestra su menor valor en el grupo de 8 años con $55,63 \pm 9,98$ W y el máximo, en el grupo de 12 años, con $80,45 \pm 10,36$ W. El porcentaje del valor de la potencia pico en el UA sobre el máximo, disminuye desde el 96% en el grupo de 7 años, hasta el 78% en el grupo de 11 años. Respecto a la $P_{\text{pico/kg}}$, los valores oscilan entre los $2,23 \pm 0,53$ W/kg (7 años) y los $2,28 \pm 0,49$ W/kg (12 años).

Se observan diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10 años (*) ($p \leq 0,05$) y entre el primer y último grupo de edad (*) ($p \leq 0,001$) tanto en la P_{pico} , como en la $P_{\text{pico UA}}$. No se observan diferencias significativas en la $P_{\text{pico/kg}}$ en ningún grupo de edad.

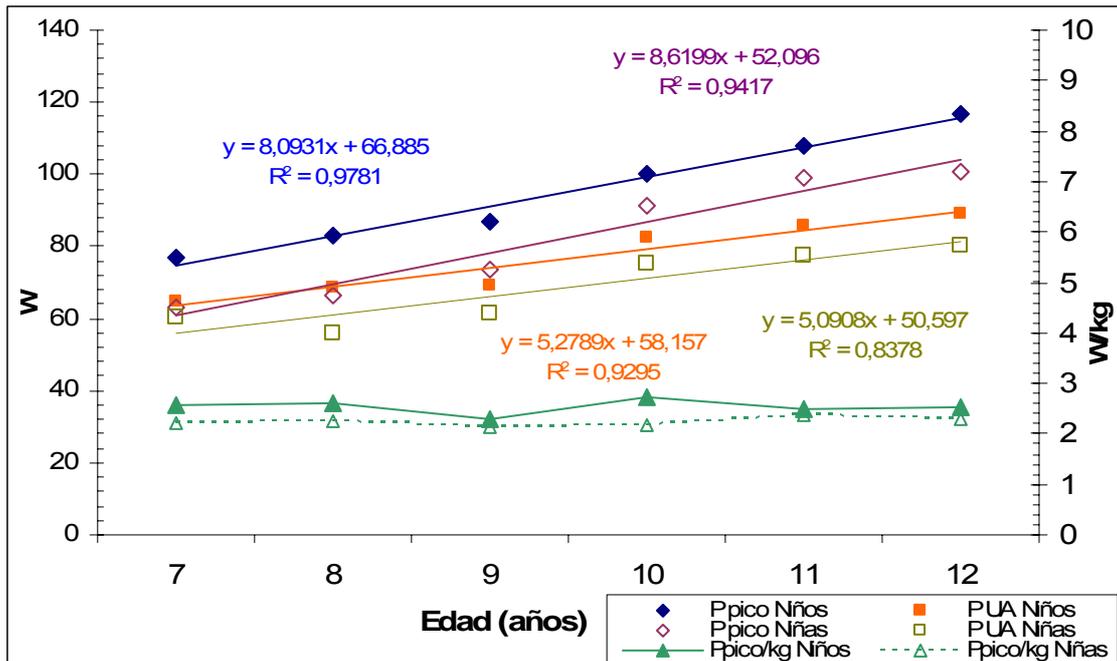


FIGURA 32: Potencia pico (P_{pico}), potencia pico en el umbral anaeróbico ($P_{pico UA}$) y potencia relativa a la masa corporal ($P_{pico/kg}$) en toda la muestra de ambos sexos.

La Figura 32 muestra la representación gráfica de la P_{pico} , $P_{pico UA}$ (eje de ordenadas izquierdo) y $P_{pico/kg}$ (eje de ordenadas derecho) en cada grupo de edad de la muestra completa de ambos sexos (eje de abscisas) alcanzados en la prueba de esfuerzo.

4.5.6. Comparación entre sexos de la P_{pico} , $P_{\text{pico UA}}$ y $P_{\text{pico/kg}}$ en toda la muestra.

TABLA 36: Comparación entre sexos de la P_{pico} , P_{pico} UA y P_{pico}/kg en toda la muestra.

p NIÑOS-NIÑAS			
Edad	P_{pico}	P_{pico} UA	P_{pico}/kg
7	0,01	0,30	0,11
8	0,0001	0,0004	0,20
9	0,02	0,17	0,33
10	0,11	0,21	0,002
11	0,07	0,06	0,58
12	0,02	0,08	0,38

La Tabla 36 muestra los valores de p (t-Student) obtenidos al comparar en ambos sexos los parámetros P_{pico} , P_{pico} UA y P_{pico}/kg . Se observan diferencias significativas en los grupos de 7, 8 ($p \leq 0,001$), 9 y 12 años ($p \leq 0,05$) en la P_{pico} . La P_{pico} UA solo muestra una diferencia significativa en la edad de 8 años ($p \leq 0,001$) y la P_{pico}/kg en la edad de 10 años ($p \leq 0,05$).

4.5.7. Valores de la FC pico (FC_{pico}), FC pico en el umbral anaeróbico (FC_{pico} UA) y su porcentaje en la muestra de sexo masculino.

TABLA 37: Valores (promedios y D.S.) de la FC pico (FC_{pico}), FC pico en el umbral anaeróbico (FC_{pico} UA) y su porcentaje en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)					
Edad	FC_{pico} (s.p.min)		FC_{pico} UA (s.p.min)		%
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	
7	187,50	8,69	175,21	10,03	93%
8	190,86	6,68	174,50	7,87	91%
9	193,72	12,50	179,39	12,65	93%
10	188,36	8,81	175,00	14,29	93%
11	192,74	6,28	175,42	11,69	91%
12	192,90	6,61	175,00	9,13	91%

En la Tabla 37 se muestran los valores medios y la desviación estándar de FC_{pico} , FC_{pico} UA y el porcentaje en cada grupo de edad de sexo masculino. La FC_{pico} no varía mucho entre los distintos grupos de edad, siendo el valor inferior en el grupo de 7 años de $187,50 \pm 8,69$ s.p.min, alcanzando el máximo en el grupo de 9 años con $193,72 \pm 12,50$ s.p.min. Los valores de la FC_{pico} UA, se mantienen entre las $174,50 \pm 7,87$ s.p.min en el grupo de 8 años y las $179,39 \pm 12,65$ s.p.min en el grupo de 9 años. El porcentaje oscila entre el 93% en el grupo de 7 años y el 91% en el grupo de 12 años. No se observan diferencias significativas entre ningún grupo de edad en los parámetros analizados.

4.5.8. Valores de la FC pico (FC_{pico}), FC pico en el umbral anaeróbico ($FC_{pico UA}$) y su porcentaje en la muestra de sexo femenino.

TABLA 38: Valores (promedios y D.S.) de la FC pico (FC_{pico}), FC pico en el umbral anaeróbico (FC_{pico} UA) y su porcentaje en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)					
Edad	FC_{pico} (s.p.min)		FC_{pico} UA (s.p.min)		%
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	
7	195,64	10,08	193,56**	9,14	99%
8	192,00	11,21	178,44*	11,70	93%
9	191,82	10,81	181,20	12,85	94%
10	192,92	9,24	179,58	10,71	93%
11	194,12	9,32	176,94	14,90	91%
12	191,18	10,78	175,50*	13,94	92%

En la Tabla 38 se muestran los valores medios y la desviación estándar de FC_{pico} , FC_{pico} UA y el porcentaje en cada grupo de edad de sexo femenino. La FC_{pico} no varía mucho entre los distintos grupos de edad, siendo el valor inferior en el grupo de 12 años, con $191,18 \pm 10,78$ s.p.min, alcanzando el máximo por el grupo de 7 años con $195,64 \pm 10,08$ s.p.min. Los valores de la FC_{pico} UA disminuyen con la edad, desde las $193,56 \pm 9,14$ hasta las $175,50 \pm 13,94$ s.p.min. El porcentaje oscila entre el 99% en el grupo de 7 años y el 91% en el grupo de 11 años. No se observan diferencias significativas entre ningún grupo de edad en la FC_{pico} , pero si muestran diferencias los grupos de 7 y 8 años (*) y el primer y último grupo de edad (*) ($p \leq 0,05$) en la FC_{pico} UA.

4.5.9. Comparación entre sexos de la FC_{pico} y la FC_{pico} UA en toda la muestra.

TABLA 39: Comparación entre sexos de la FC_{pico} y la FC_{pico} UA en toda la muestra.

p NIÑOS-NIÑAS		
Edad	FC_{pico}	FC_{pico} UA
7	0,05	0,0003
8	0,73	0,28
9	0,67	0,72
10	0,24	0,40
11	0,61	0,74
12	0,66	0,93

La Tabla 39 muestra los valores de p (t-Student) obtenidos al comparar en ambos sexos los parámetros FC_{pico} y FC_{pico} UA. En ambos parámetros, solo se observan diferencias significativas a la edad de 7 años, siendo para la FC_{pico} ($p \leq 0,05$) y para la FC_{pico} UA ($p \leq 0,001$).

4.5.10. Valores de lactato sanguíneo final y relativo a la potencia (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo masculino.

TABLA 40: Valores de lactato sanguíneo final y relativo a la potencia (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 81)						
Edad	Lactato Final (mmol/L)		Lactato/W (mmol/W)		Lactato/kg (mmol/kg)	
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.
7	10,26	4,70	0,14*	0,07	0,27	0,22
8	9,22	1,65	0,11	0,02	0,29	0,09
9	9,47	2,46	0,11	0,03	0,23	0,12
10	8,97	2,23	0,09	0,02	0,25	0,09
11	10,47	3,49	0,10	0,03	0,25	0,09
12	10,75	2,19	0,09*	0,02	0,24	0,09

En la Tabla 40 se muestran los valores medios y la desviación estándar de mmol/L, así como de los valores relativos a la potencia pico desarrollada y la masa corporal de la muestra de sexo masculino. El valor menor obtenido de lactato final es de $8,97 \pm 2,23$ mmol/L (10 años) y el mayor es de $10,75 \pm 2,19$ mmol/L (12 años). El valor del lactato relativo a la potencia pico desarrollada, va disminuyendo con la edad, siendo en el grupo de 7 años de $0,14 \pm 0,07$ mmol/W y en el grupo de 12 años de $0,09 \pm 0,02$ mmol/W. El valor del lactato relativo a la masa corporal va disminuyendo ligeramente con la edad, aunque el valor mayor y menor se encuentra en los grupos de 8 y 9 años respectivamente.

Solo se observan diferencias (*) ($p = 0,06$) en el lactato relativo a la potencia pico, entre el primer y último grupo de edad.

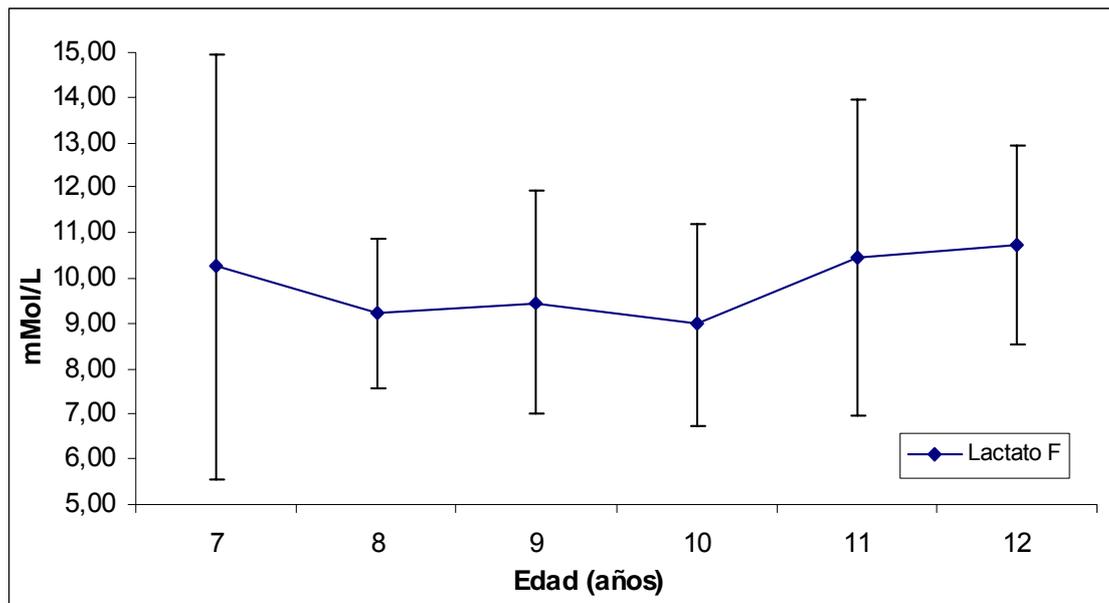


FIGURA 33: Lactato sanguíneo final por edades en la muestra de sexo masculino.

La Figura 33 muestra la representación gráfica de la concentración de lactato sanguíneo alcanzado al final de la prueba (mmol/L) en cada grupo de edad de la muestra de sexo masculino (eje de abscisas). En cada punto que representa la media alcanzada por cada grupo, viene representada la desviación estándar.

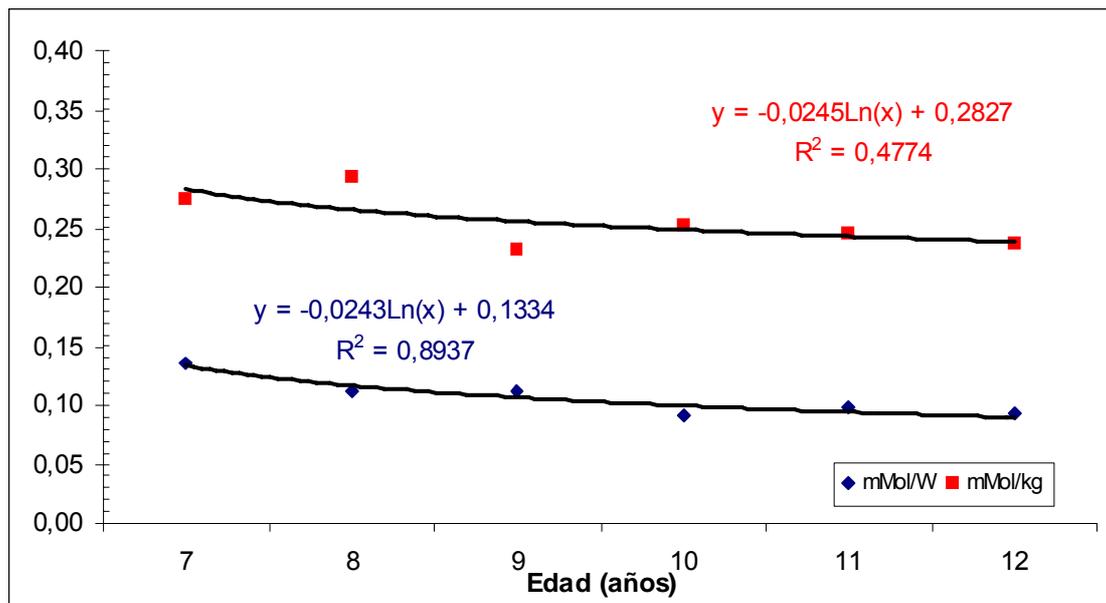


FIGURA 34: Lactato final relativo a la potencia (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo masculino.

La Figura 34 muestra la representación gráfica del lactato relativo a la potencia pico (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en cada grupo de edad de la muestra de sexo masculino (eje de abscisas) alcanzados en la prueba de esfuerzo.

4.5.11. Valores de lactato sanguíneo final y relativo a la potencia (mmol/W) y masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo femenino.

TABLA 41: Valores de lactato sanguíneo final y relativo a la potencia (mmol/W) y masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 73)						
Edad	Lactato Final (mmol/L)		Lactato/W (mmol/W)		Lactato/kg (mmol/kg)	
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.
7	10,75	2,92	0,17*	0,05	0,38*	0,14
8	11,47	4,61	0,17*	0,06	0,37*	0,20
9	9,43	2,43	0,13**	0,03	0,24*	0,11
10	9,02	2,09	0,10*	0,02	0,18*	0,10
11	10,17	2,19	0,10	0,03	0,25*	0,07
12	10,22	2,76	0,10*	0,03	0,21*	0,10

En la Tabla 41 se muestran los valores medios y la desviación estándar de mmol/L, así como de los valores relativos a la potencia pico desarrollada y la masa corporal de la muestra de sexo femenino. El valor menor obtenido de lactato final es de $9,02 \pm 2,09$ mmol/L (10 años) y el mayor es de $11,47 \pm 4,61$ mmol/L (8 años). El valor del lactato relativo a la potencia pico desarrollada, va disminuyendo con la edad, siendo en el grupo de 7 años de $0,17 \pm 0,05$ mmol/W y en el grupo de 12 años de $0,10 \pm 0,03$ mmol/W. El valor del lactato relativo a la masa corporal va disminuyendo con la edad, siendo en el grupo de 7 años de $0,38 \pm 0,14$ mmol/kg y en el grupo de 12 años de $0,21 \pm 0,10$ mmol/kg.

No se observan diferencias significativas en el lactato sanguíneo final entre ningún grupo de edad. Aunque en el lactato relativo a la potencia pico, encontramos diferencias entre los 8 y 9, 9 y 10 años (*) ($p \leq 0,05$) y entre el primer y último grupo de edad (*) ($p \leq 0,001$). En el lactato relativo a la masa corporal, se observan diferencias entre los grupos de 8 y 9, 10 y 11 años (*) y entre el primer y último grupo de edad (*) ($p \leq 0,05$).

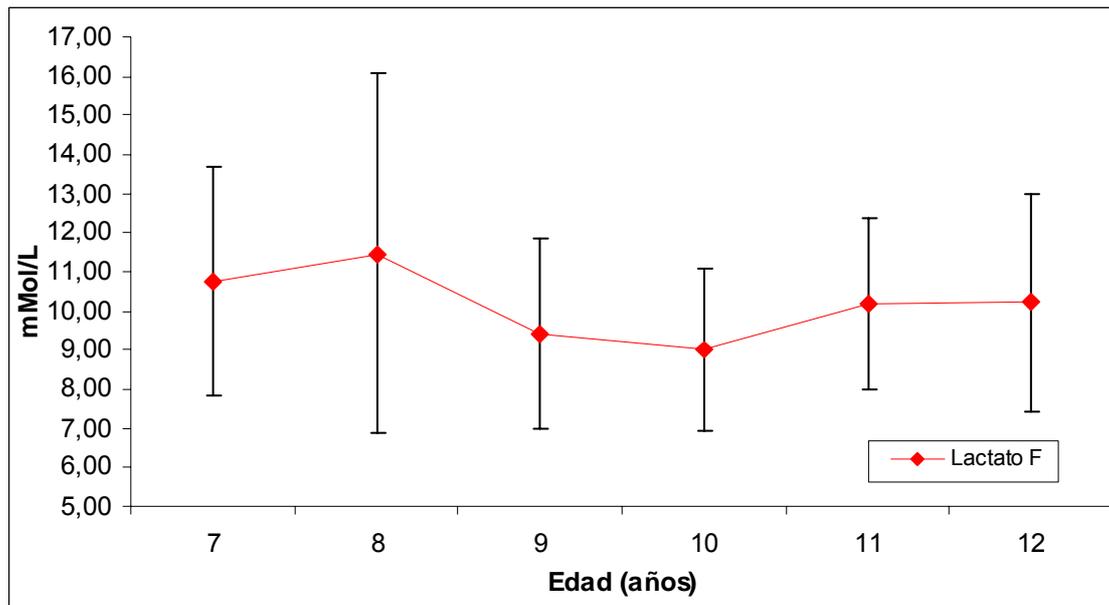


FIGURA 35: Lactato sanguíneo final por edades en la muestra de sexo femenino.

La Figura 35 muestra la representación gráfica de la concentración de lactato sanguíneo alcanzado al final de la prueba (mmol/L) en cada grupo de edad de la muestra de sexo femenino (eje de abscisas). En cada punto que representa la media alcanzada por cada grupo, viene representada la desviación estándar.

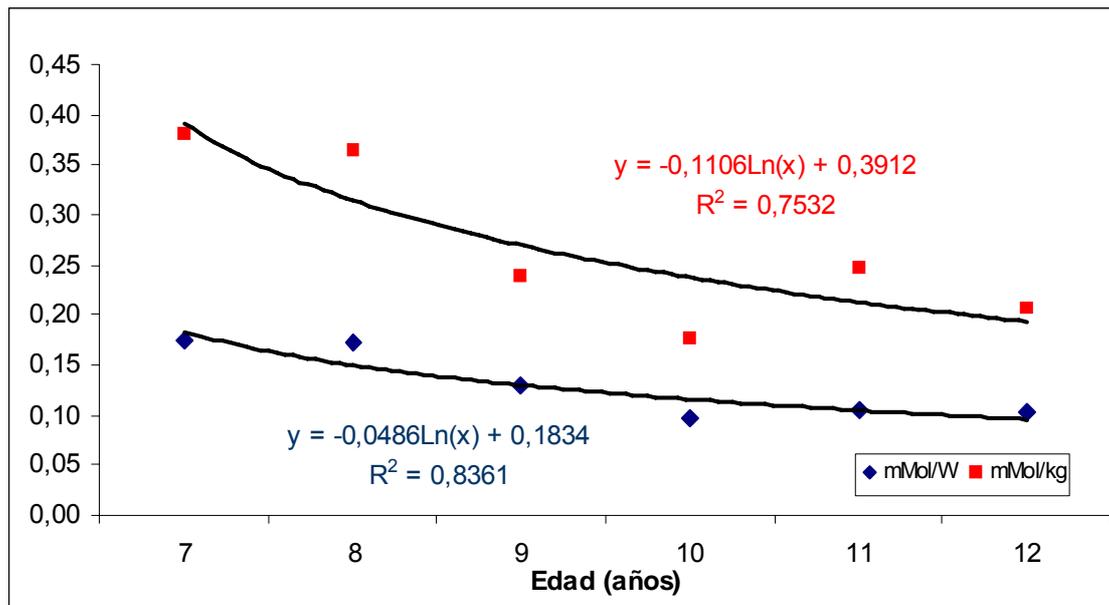


FIGURA 36: Lactato final relativo a la potencia (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo femenino.

La Figura 36 muestra la representación gráfica del lactato relativo a la potencia pico (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en cada grupo de edad de la muestra de sexo femenino (eje de abscisas) alcanzados en la prueba de esfuerzo.

4.5.12. Comparación entre sexos de la concentración de lactato sanguíneo final (mmol/L), y relativo a la potencia pico (mmol/W) y masa corporal (mmol/kg) en toda la muestra.

TABLA 42: Comparación entre sexos de la concentración de lactato sanguíneo final (mmol/L), y relativo a la potencia pico (mmol/W) y masa corporal (mmol/kg) en toda la muestra.

p NIÑOS-NIÑAS			
Edad	mmol/L	mmol/W	mmol/kg
7	0,77	0,16	0,14
8	0,09	0,003	0,02
9	0,97	0,14	0,84
10	0,96	0,55	0,07
11	0,76	0,50	0,94
12	0,64	0,36	0,47

La Tabla 42 muestra los valores de p (t-Student) obtenidos al comparar en ambos sexos dichos parámetros. Solo se encuentran diferencias significativas a la edad de 8 años tanto en el lactato relativo a la potencia pico como en la relativa a la masa corporal ($p \leq 0,05$).

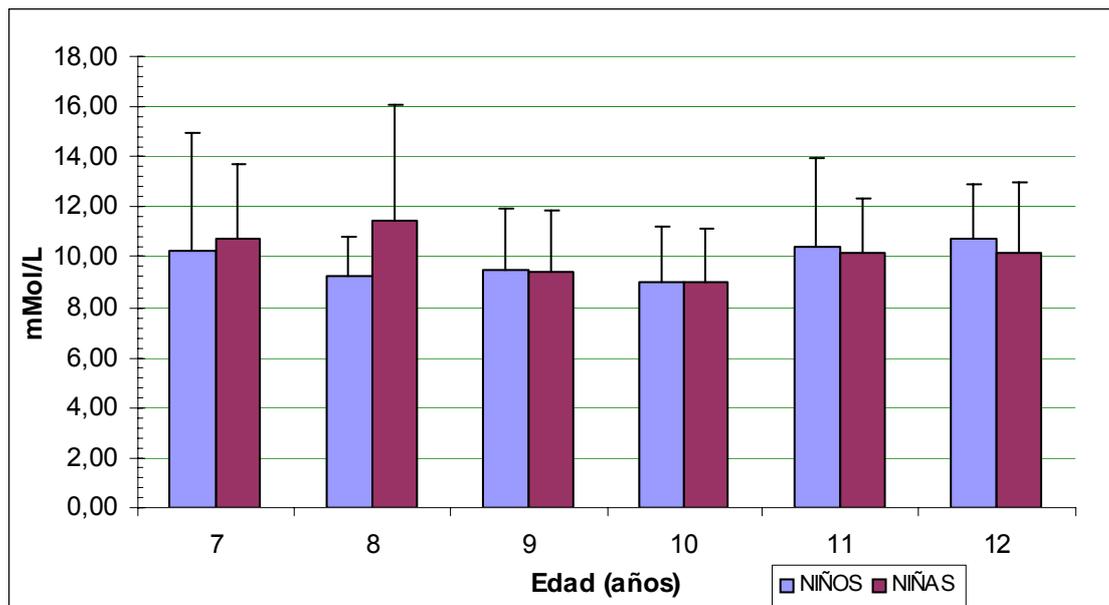


FIGURA 37: Lactato sanguíneo (mmol/L) al finalizar la prueba en niños de ambos sexos.

En la Figura 37 se representa gráficamente los valores medios obtenidos de lactato sanguíneo por niños de sexo masculino (barra de color azul) y sexo femenino (barras de color violeta) al finalizar la prueba en cada grupo de edad (eje de abscisas). Encima de cada barra se representa la desviación estándar.

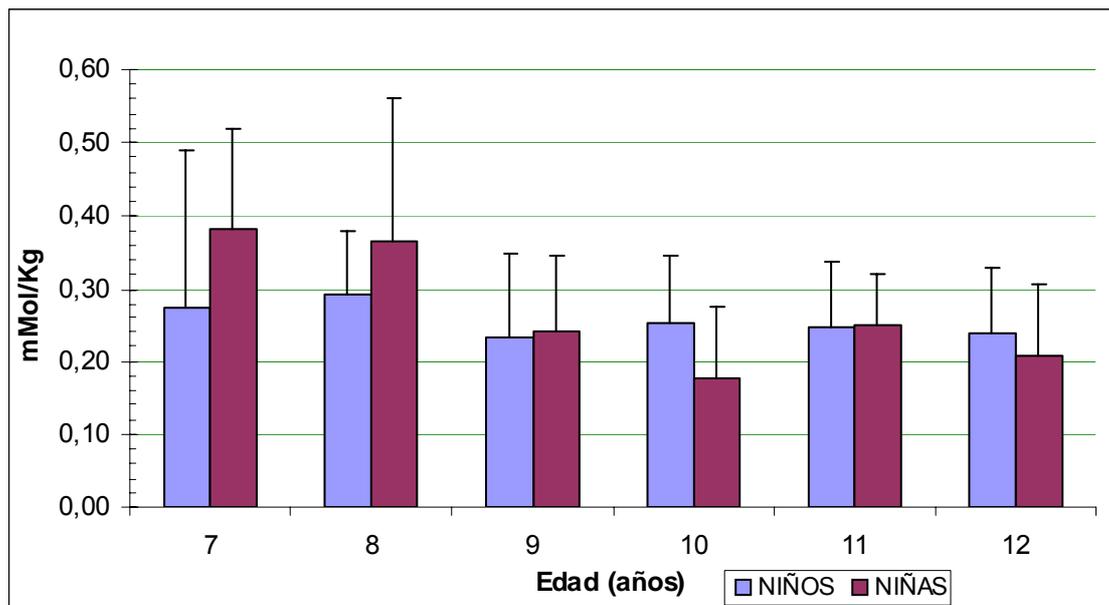


FIGURA 38: Lactato sanguíneo relativo a la masa corporal (mmol/kg) en niños de ambos sexos.

En la Figura 38 se representa gráficamente los valores medios obtenidos de lactato sanguíneo relativos a la masa corporal por niños de sexo masculino (barra de color azul) y sexo femenino (barras de color violeta) al finalizar la prueba en cada grupo de edad (eje de abscisas). Encima de cada barra se representa la desviación estándar.

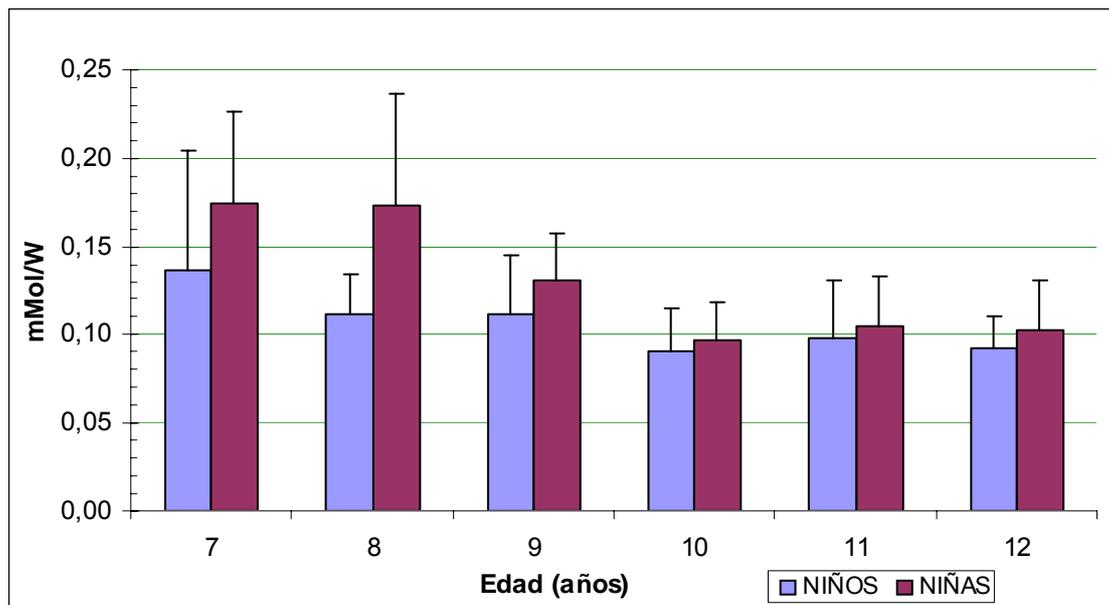


FIGURA 39: Lactato sanguíneo relativo a la potencia pico desarrollada (mmol/W) en niños de ambos sexos.

En la Figura 39 se representa gráficamente los valores medios obtenidos de lactato sanguíneo relativos a la potencia pico desarrollada por niños de sexo masculino (barra de color azul) y sexo femenino (barras de color violeta) al finalizar la prueba en cada grupo de edad (eje de abscisas). Encima de cada barra se representa la desviación estándar.

4.6. Estadística de los datos máximos y en el umbral anaeróbico de la prueba de esfuerzo.

TABLA 43: Valores de p (t-Student) entre los grupos de edad en la muestra de sexo masculino.

MUESTRA DE SEXO MASCULINO (n = 86)												
Edad	Peso (kg)	Talla (cm)	P _{pico}	VO _{2pico} /kg	FC _{pico}	P _{pico} UA	VO _{2pico} /kg UA	FC _{pico} UA	LACTATO F	mmol/W	mmol/kg	P _{pico} /kg
7 y 8	0,48	0,14	0,11	0,58	0,26	0,26	0,76	0,84	0,50	0,27	0,76	0,85
8 y 9	0,05	0,15	0,33	0,37	0,41	0,84	0,38	0,19	0,74	0,99	0,10	0,03
9 y 10	0,81	0,23	0,01	0,66	0,19	0,02	0,84	0,41	0,59	0,08	0,61	0,01
10 y 11	0,04	0,04	0,11	0,94	0,17	0,54	1,00	0,93	0,16	0,51	0,86	0,17
11 y 12	0,46	0,12	0,12	0,43	0,95	0,51	0,53	0,92	0,79	0,58	0,82	0,87
7 y 12	0,004	0,00002	0,000001	0,38	0,10	0,00002	0,89	0,96	0,76	0,06	0,58	0,82

En la Tabla 43 se muestran los valores obtenidos del valor de p (t-Student) de la muestra de sexo masculino, al comparar cada grupo de edad con su consecutivo y al final del cuadro, en color verde se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último en los siguientes parámetros: peso, talla, P_{pico}, VO_{2pico}/kg, FC_{pico}, P_{pico} UA, VO_{2pico}/kg UA, FC_{pico} UA, lactato final, lactato relativo a la potencia (mmol/W), lactato relativo a la masa corporal (mmol/kg), y potencia relativa a la masa corporal (P_{pico}/kg). En color rojo aparecen aquellos valores que muestran diferencias significativas.

TABLA 44: Valores de p (t-Student) entre los grupos de edad en la muestra de sexo femenino.

MUESTRA DE SEXO FEMENINO (n = 78)												
Edad	Peso (kg)	Talla (cm)	P _{pico}	VO _{2pico} /kg	FC _{pico}	P _{pico} UA	VO _{2pico} /kg UA	FC _{pico} UA	LACTATO F	mmol/W	mmol/kg	P _{pico} /kg
7 y 8	0,81	0,01	0,51	0,98	0,39	0,26	0,27	0,002	0,63	0,95	0,80	0,84
8 y 9	0,12	0,44	0,17	0,18	0,97	0,29	0,29	0,59	0,16	0,03	0,04	0,47
9 y 10	0,10	0,002	0,01	0,03	0,80	0,03	0,17	0,76	0,69	0,01	0,15	0,80
10 y 11	0,90	0,26	0,17	0,84	0,73	0,59	0,79	0,58	0,19	0,41	0,03	0,21
11 y 12	0,42	0,53	0,77	0,82	0,47	0,47	0,79	0,80	0,96	0,85	0,26	0,61
7 y 12	0,001	0,000001	0,000001	0,87	0,33	0,0004	0,16	0,004	0,67	0,001	0,003	0,817

En la Tabla 44 se muestran los valores obtenidos del valor de p (t-Student) de la muestra de sexo femenino, al comparar cada grupo de edad con su consecutivo y al final del cuadro, en color verde se muestra la diferencia entre el primer grupo de edad y el último en los siguientes parámetros: peso, talla, P_{pico}, VO_{2pico}/kg, FC_{pico}, P_{pico} UA, VO_{2pico}/kg UA, FC_{pico} UA, lactato final, lactato relativo a la potencia (mmol/W), lactato relativo a la masa corporal (mmol/kg), y potencia relativa a la masa corporal (P_{pico}/kg). En color rojo aparecen aquellos valores que muestran diferencias significativas.

TABLA 45: Valores de p (t-Student) entre ambos sexos por grupos de edad.

MUESTRA TOTAL AMBOS SEXOS (n = 164)												
Edad	Peso (kg)	Talla (cm)	P _{pico}	VO _{2pico} /kg	FC _{pico}	P _{pico} UA	VO _{2pico} /kg UA	FC _{pico} UA	LACTATO F	mmol/W	mmol/kg	P _{pico} /kg
7	0,65	0,05	0,01	0,15	0,05	0,30	0,65	0,0003	0,77	0,16	0,14	0,11
8	0,41	0,76	0,0001	0,04	0,73	0,0004	0,07	0,28	0,09	0,003	0,02	0,20
9	0,52	0,36	0,02	0,003	0,67	0,17	0,01	0,72	0,97	0,14	0,84	0,33
10	0,16	0,24	0,11	0,11	0,24	0,21	0,10	0,40	0,96	0,55	0,07	0,002
11	0,40	0,74	0,07	0,06	0,61	0,06	0,05	0,74	0,76	0,50	0,94	0,58
12	0,49	0,48	0,02	0,02	0,66	0,08	0,03	0,93	0,64	0,36	0,47	0,38

En la Tabla 45 se muestran las diferencias expresadas a través del valor de p (t-Student), entre ambos sexos en cada grupo de edad, de los parámetros analizados peso, talla, P_{pico}, VO_{2pico}/kg, FC_{pico}, P_{pico} UA, VO_{2pico}/kg UA, FC_{pico} UA, lactato final, lactato relativo a la potencia (mmol/W), lactato relativo a la masa corporal (mmol/kg), y potencia relativa a la masa corporal (P_{pico}/kg). En color rojo aparecen los valores que presentan diferencias significativas.

4.7. Estudio comparativo de datos obtenidos de lactato en la muestra de esta investigación y una muestra de hombres atletas (ciclistas y triatletas) adultos varones.

4.7.1. Datos antropométricos, $VO_{2\text{pico}}$ absoluto y relativo, P_{pico} , lactato final y relativo a la masa corporal y potencia desarrollada en adultos y muestra de niños y niñas de esta investigación.

TABLA 46: Datos antropométricos, VO_{2pico} absoluto y relativo, P_{pico}, lactato final y relativo a la masa corporal y potencia desarrollada en adultos y muestra de niños y niñas de esta investigación.

Datos antropométricos, VO_{2pico} absoluto y relativo, P_{pico}, Lactato final y relativo a la masa corporal y potencia desarrollada en adultos y muestra de niños y niñas.																
Grupo	PESO (kg)		TALLA (cm)		VO _{2pico} /kg (ml/kg/min)		VO _{2max} (L/min)		P _{pico} (W)		Lactato Final (mmol/L)		Lactato/Peso (mmol/kg)		Lactato/P (mmol/W)	
	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.	MEDIA	D.S.
Adultos	71,40*	8,39	176,34*	3,49	74,04*	7,70	5,29*	0,77	325,00*	35,36	10,62	2,03	0,15*	0,03	0,03*	0,01
Niños	38,43*	11,22	139,27*	14,00	41,13*	10,79	1,75*	0,25	88,79*	19,67	10,06	2,99	0,26*	0,13	0,11*	0,05

En la Tabla 46 se muestran las medias y desviaciones estándar (D.S.) de los datos antropométricos (peso y talla), VO_{2pico} absoluto y relativo, P_{pico} alcanzada y los valores de lactato sanguíneo finales y relativos a la masa corporal y potencia desarrollada en la muestra completa de niños y niñas estudiada en este trabajo comparada con el grupo de adultos atletas varones. Los valores señalados con un asterisco rojo (*) indican la existencia de diferencias significativas (p<0,05) entre ambos grupos.

4.7.2. Lactato final (mmol/L) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.

TABLA 47: Lactato final (mmol/L) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos.

MUESTRA NIÑOS AMBOS SEXOS (n = 154) Y ADULTOS (n = 15)		
Edad	Media	D.S.
7	10,51	3,83
8	10,38	3,64
9	9,45	2,40
10	9,00	2,11
11	10,33	2,91
12	10,48	2,44
25,1±3,2	10,62	2,03

En la Tabla 47 se muestran las medias y desviación estándar (D.S.) por edades, de la muestra total de niños de ambos sexos, con análisis de lactato sanguíneo. Al final de la tabla, en color azul, se muestra la media y desviación estándar (D.S.) del grupo de adultos atletas varones utilizado para comparar los resultados obtenidos de lactato.

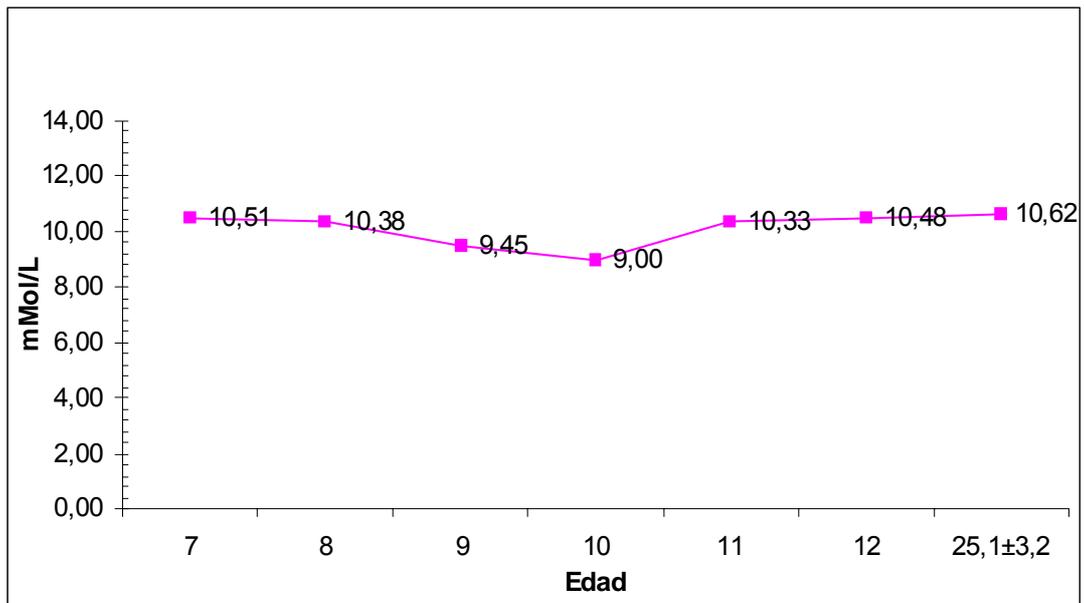


FIGURA 40: Lactato final (mmol/L) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos.

En la Figura 40 aparecen representados gráficamente los grupos de la Tabla 47.

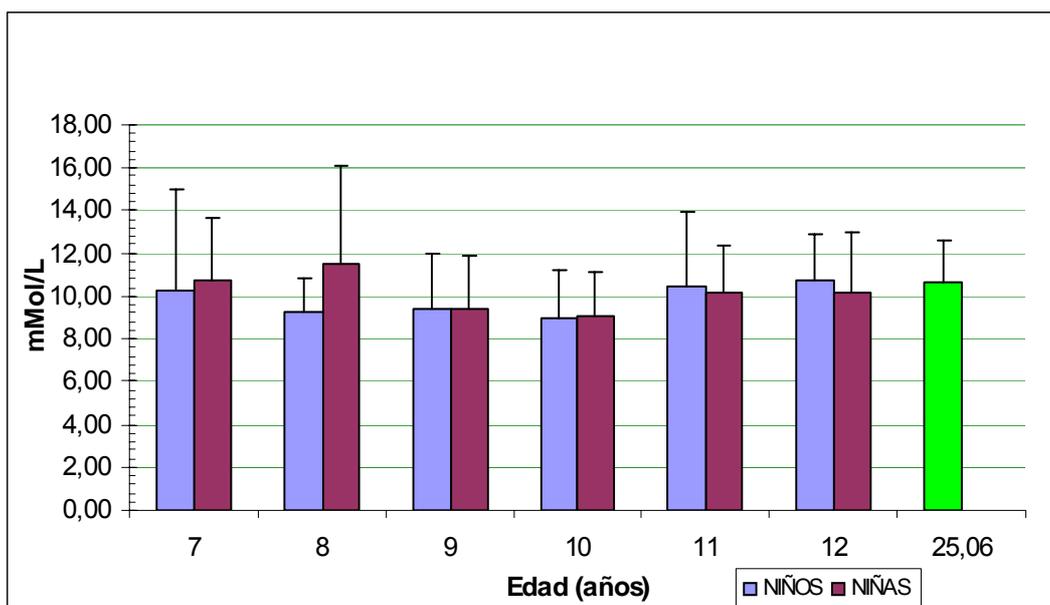


FIGURA 41: Lactato sanguíneo final (mmol/L) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.

En la Figura 41 se representan gráficamente los valores medios (altura de las barras) y desviaciones estándar (encima de las barras) de las concentraciones de lactato sanguíneo (mmol/L) obtenidos por el grupo de niños de sexo masculino (barras de color azul), sexo femenino (barras de color violeta) y adultos atletas varones (barra de color verde).

4.7.3. Lactato sanguíneo final relativo a la masa corporal (mmol/kg) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.

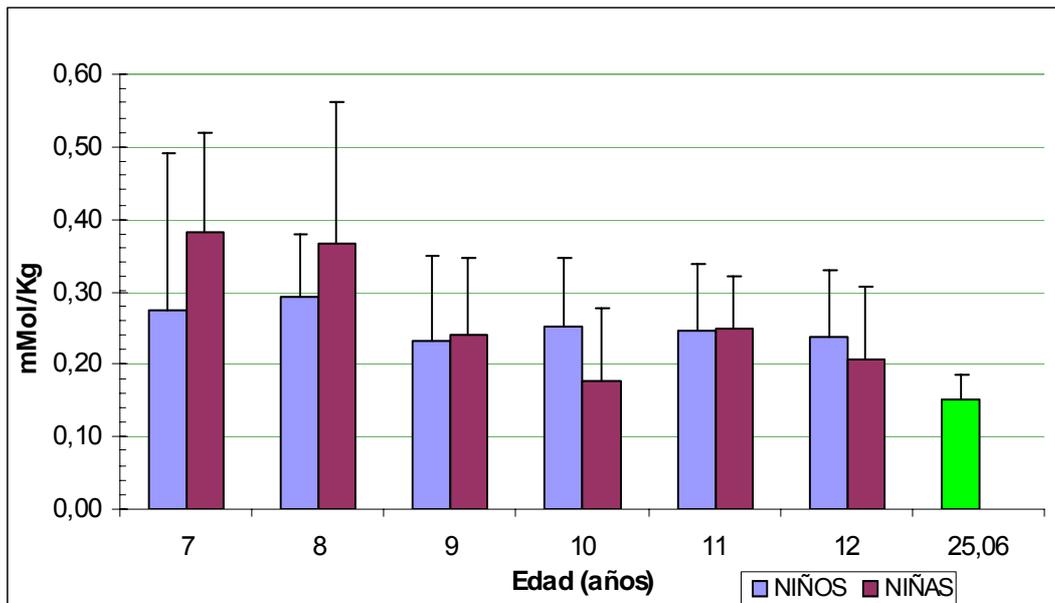


FIGURA 42: Lactato sanguíneo final relativo a la masa corporal (mmol/kg) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.

En la Figura 42 se representan gráficamente los valores medios (altura de las barras) y desviaciones estándar (encima de las barras) de las concentraciones de lactato sanguíneo relativo a la masa corporal (mmol/kg) obtenidos por el grupo de niños de sexo masculino (barras de color azul), sexo femenino (barras de color violeta) y adultos atletas varones (barra de color verde).

4.7.4. Lactato sanguíneo final relativo a la potencia pico desarrollada (mmol/W) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.

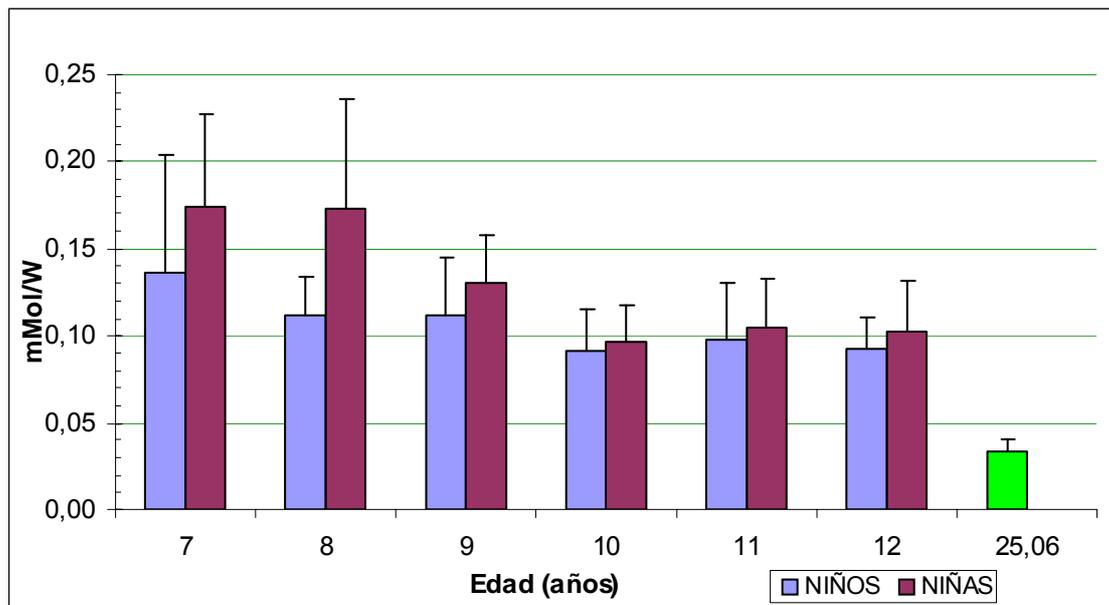


FIGURA 43: Lactato sanguíneo final relativo a la potencia pico desarrollada (mmol/W) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.

En la Figura 43 se representan gráficamente los valores medios (altura de las barras) y desviaciones estándar (encima de las barras) de las concentraciones de lactato sanguíneo relativo a la potencia pico desarrollada (mmol/W) obtenidos por el grupo de niños de sexo masculino (barras de color azul), sexo femenino (barras de color violeta) y adultos atletas varones (barra de color verde).

5. DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

5.1. Muestra.

La muestra utilizada en esta investigación (164 sujetos, 78 niñas y 86 niños) ha sido por un lado, superior en tamaño a la mayoría de los trabajos que se han realizado en la población infantil, sobre todo, los que miden la potencia muscular y la concentración de lactato sanguíneo, que suelen utilizar un tamaño de muestra entre 10 y 20 sujetos experimentales, aunque no tenemos constancia de ningún estudio que haya analizado este factor en este tipo de trabajos. Sin embargo, en el metaanálisis realizado por Baquet et al⁶⁰, sobre la respuesta al entrenamiento aeróbico en niños y adolescentes, si se estudia este aspecto, y de los 22 estudios que finalmente se analizaron, los autores hablan de un rango de 7 a 37 sujetos, con una media de 16 sujetos en los grupos experimentales y de 14 sujetos en los grupos control. Existen trabajos referidos a la actividad física y la potencia aeróbica en la población infantil con un tamaño de muestra superior, como el de McMurray et al^{xci}, que miden a 529 niñas y 535 niños y el de Eiberg et al^{xcii} que analizan a 366 niños y 332 niñas.

Por otro lado, el rango de edad de niños y niñas, que han formado la muestra (7 a 12 años) se centra en una etapa escolar, concretamente, la etapa de primaria. Existen algunos estudios longitudinales y un gran número de estudios cros-seccionales, que abarcan este rango de edad considerado como “niñez tardía”, que miden la potencia aeróbica máxima en la población infantil⁵⁵, aunque para Eiberg et al⁹², los datos existentes sobre la potencia aeróbica máxima en niños de 6 a 7 años son escasos y no existen datos representativos. Respecto a los trabajos que aportan medidas de la potencia muscular y valores de lactato sanguíneo en la población infantil, se centran más en un rango de edad comprendido entre los 10 y 12 años. Por lo que, tanto el rango de edad, como la distribución de los grupos escogidos en este trabajo, se pueden considerar muy amplios y poco habituales en comparación con la literatura existente.

Debemos destacar que por debajo de los 7 años, los problemas metodológicos que existen para realizar una prueba de esfuerzo, concretamente, en el caso de esta investigación, en un cicloergómetro, son numerosos y hacen inviable realizarla. Por un lado es difícil encontrar sujetos de estas edades disponibles y con un componente de

motivación suficiente para que la prueba conste de validez. Por otro, la carencia de cicloergómetros adaptados a las medidas antropométricas de esta población, hacen inviable la medición, como se puede observar en las Figuras 44 y 45. En la Figura 44 se observa un niño de 6 años que se le sale el pie al pedalear. La Figura 45 muestra a un niño de 5 años en un tapiz, donde la altura del agarre de las manos le queda por encima de la cabeza con los miembros superiores extendidos.



FIGURA 44: Niño de 6 años con problemas para pedalear.



FIGURA 45: Niño de 5 años con dificultades para realizar una prueba en tapiz.

Otro problema metodológico que se ha detectado, ha sido el tamaño de la banda del pulsómetro. Como se puede apreciar en las Figuras 44, 45, 46 y 47, se observa que es necesaria la presencia de una persona para sujetar la banda del pulsómetro durante la realización de la prueba, para poder tomar la FC. Este problema se ha observado, en todas las edades, la Figura 46 corresponde a un niño de 10 años, y la Figura 47 a una niña de 12 años.



FIGURA 46: Sujeto experimental de sexo masculino de 11 años realizando la prueba de esfuerzo con ayuda para detectar la FC.



FIGURA 47: Sujeto experimental de sexo femenino de 12 años realizando la prueba de esfuerzo con ayuda para detectar la FC.

Por encima de los 12 años, nos encontramos con problemas metodológicos debido a que no se podía asegurar el estado de maduración sexual, y por tanto, los datos no tendrían validez sin determinar el estadio puberal de los niños y niñas. Los trabajos que utilizan este rango de edad, no suelen realizar un estudio de maduración sexual, aunque es lo más adecuado y la literatura científica lo recomienda. A este respecto, Baquet et al⁶⁰ señalan que de los 22 trabajos revisados, el estadio madurativo se aporta en solo 11 estudios. En el resto se menciona únicamente la edad cronológica. Siguiendo con el metaanálisis de Baquet et al⁶⁰, cuando no se analiza el estadio madurativo, generalmente se tienen en cuenta tres periodos: prepuberal (niños), circumpuberal (adolescentes) y postpuberal^{xciii}. Van Praagh et al⁴², se refieren al periodo comprendido entre los 2 y 12 años como de niñez, y de los 12 a 18 años, la adolescencia. Por tanto, en nuestra investigación, siguiendo la literatura, la muestra utilizada se puede considerar como sujetos prepúberes. Esta consideración la han realizado numerosos autores en el ámbito de la Fisiología del Ejercicio Físico en la edad escolar^{23,32,51,53,73,xciv,xcv,xcvi,xcvii,xcviii,xcix,c}.

El criterio de selección de la muestra ha sido aleatorio, considerando la etapa educativa el único criterio para determinar las edades, por lo que la característica fundamental en la extracción de la muestra ha sido la etapa educativa de primaria.

No ha sido un criterio selectivo el practicar algún deporte o actividad física, pero estos datos se han recogido en la Tabla 7, estableciendo dos criterios de clasificación. Si el sujeto practicaba alguna actividad física reglada, se ha descrito dicha actividad y el número de horas semanales. Si el sujeto no practicaba ninguna actividad física reglada, se ha descrito como “NO PRACTICA”. Debemos puntualizar, que un gran número de sujetos viven en un pueblo y los que no realizan una actividad física reglada, en general son sujetos activos, que suelen jugar en la calle o en centros deportivos realizando una actividad lúdica libre.

5.2. Protocolo.

5.2.1. Análisis del protocolo de ejercicio.

La mayor parte de los estudios realizados con población infantil, cuyo objetivo ha sido medir la participación de la vía anaeróbica glucolítica durante el ejercicio, se han centrado en medir la potencia muscular de corta duración (STMP) mediante pruebas o tests estandarizados, utilizados generalmente en la población adulta, y las concentraciones de lactato sanguíneo obtenidas tras su realización, se han considerado como un indicador de la capacidad anaeróbica glucolítica. Hay una gran variedad de protocolos para medir la STMP, pero la mayoría se basan en cicloergómetros, y concretamente, el Test Anaeróbico de Wingate ha sido examinado y utilizado más extensamente que ningún otro test de rendimiento anaeróbico en la población infantil y se ha demostrado que es muy seguro y válido⁴². La potencia pico generada en el Test Anaeróbico de Wingate, refleja la habilidad de la musculatura de la pierna para producir potencia mecánica de corta duración, mientras que la potencia media o el trabajo total representa el aguante muscular local de las piernas⁴². Por tanto, este test, mide el rendimiento (P_{pico}) de la musculatura de las piernas, pero no puede analizar la contribución de las distintas vías energéticas durante el ejercicio, ni permite analizar la situación metabólica más allá de la determinación del lactato sanguíneo tras finalizar el ejercicio.

Además, existe una carencia de seguridad, validez y estandarización metodológica para medir la STMP en la población infantil y adolescente⁴². Todos los tests que miden la STMP presentan limitaciones metodológicas, por ejemplo, se basan en la confianza de una motivación individual, y carecen de criterio fisiológico para establecer el final del ejercicio objetivamente⁴².

De la revisión realizada hasta el 2007 referente a los tests disponibles para medir el rendimiento anaeróbico en la población infantil, podemos extraer dos ideas fundamentales, la primera es que no hay en la actualidad un test idóneo, y por tanto, es necesario conocer las limitaciones y beneficios de cada método de medida^{ci}. La segunda idea, es producto de los resultados obtenidos de los estudios²³ que miden las diferencias del rendimiento anaeróbico entre niños y adultos y la duración del test, de forma que dichas diferencias son menores al utilizar tests de duración más larga.

En este estudio, se ha considerado que para obtener una información menos sesgada, sobre la implicación de las distintas vías metabólicas, debíamos utilizar una prueba de esfuerzo que elimine el factor muscular limitante como ocurre, a nuestro modo de ver, en los tests de potencia muscular de corta duración realizados en la población infantil. Por tanto, se ha diseñado para el estudio, una prueba de esfuerzo progresiva hasta el agotamiento con incrementos de la carga cada minuto. Este aspecto, ya se ha considerado anteriormente, así, Hebestreit⁷², señala que en general, la duración total de una prueba de esfuerzo, debería estar entre 6 y 10 minutos para “eliminar una fatiga muscular prematura en los niños”. Respecto a las pruebas de esfuerzo que realizan análisis de gases sanguíneo, Hebestreit⁷², apunta que se requiere una duración de 3 a 5 minutos en el ejercicio.

Por otro lado, consideramos que si en la población infantil se estudia mediante una prueba de esfuerzo progresiva, con análisis ventilatorio, la situación del umbral anaeróbico (UA) y el comportamiento de la respiración con respecto a la intensidad de trabajo, se puede obtener una información más ajustada sobre lo que ocurre a nivel metabólico. Por este motivo, diseñamos un protocolo progresivo con pequeños incrementos de la carga y así no condicionar a los sujetos muscularmente.

5.2.2. Criterios de maximalidad de la prueba de esfuerzo.

El criterio establecido para considerar una prueba de esfuerzo máxima en la que se determina el VO_{2max} en sujetos adultos, es el logro de “la meseta mantenida del pico del consumo de oxígeno durante el aumento de la intensidad del ejercicio”^{ci}. Cuando este criterio no se cumple, se considera el VO_{2pico} , como el valor de consumo de oxígeno más alto alcanzado por un sujeto durante la prueba de esfuerzo, y se establecen otros criterios para determinarlo basados en respuestas fisiológicas y metabólicas como¹⁰²:

- Concentraciones de lactato sanguíneo de al menos 8 mmol.
- Obtención de la FC_{max} para la edad.
- Obtención de un RER superior a 1,00.

Estos criterios están establecidos para la población adulta y se utilizan sistemáticamente en todos los estudios científicos. Sin embargo, en la literatura referente a la población infantil, es menos frecuente encontrar trabajos que detallen los criterios de maximalidad utilizados para determinar el VO_{2max} , y los que lo detallan utilizan los criterios establecidos para la población adulta.

Así, los trabajos que hemos encontrado que estudian este aspecto, son:

Sheehan et al^{ciii} que analizan la efectividad de varios protocolos de ejercicio en tapiz para conseguir valores de VO_{2max} en la población infantil (niños de 10 a 12 años), encuentran que los criterios de la meseta de VO_2 , una FC_{pico} sobre 198 y un $RER > 1,0$, se alcanzan más comúnmente en protocolos de carrera.

Gaul et al²³ utilizan como primer criterio para establecer el VO_{2max} en 18 sujetos prepúberes varones, el logro de la meseta de VO_2 , y cuando esta no se alcanzó, se tenían que cumplir los dos criterios secundarios establecidos: $FC > 206$ y $RER > 1,10$.

Figuroa-Colon et al^{civ} consideran como criterio para determinar el VO_{2max} , en 61 niñas entre 4,8 y 10,3 años que desarrollan un test en tapiz progresivo continuo, un $RER > 1,00$, una $FC > 85\%$ del máximo establecido para la edad y el logro de la meseta de VO_{2max} . Concluyen que una medición debe dar un resultado fiable de la capacidad aeróbica y consideran que dos criterios son suficientes para determinar el VO_{2max} .

Ribera-Brown et al^{cv}, examinan la frecuencia de logro de la meseta de VO_2 en niños prepúberales y compararon la potencia (pico y media) anaeróbica de los sujetos que alcanzaron la meseta con los que no. Los criterios utilizados para determinar el VO_{2pico} son un $RER \geq 1,0$ y una $FC \geq 95\%$.

Brown et al^{cvi} comparan a 16 niños de $10,7 \pm 0,6$ y 21 hombres de $22,5 \pm 2,0$ años, que desarrollan un test en tapiz gradual a una velocidad constante de 8,04 km/hr con incrementos de la pendiente del 2,5%. Concluyen que la maduración debe influir sobre los criterios del logro de la meseta y del lactato sanguíneo, pero no sobre los criterios del RER y FC .

Eiberg et al⁹², establecen para niños y niñas de 6 a 7 años, que los sujetos deben alcanzar un criterio subjetivo y al menos uno de tres criterios objetivos basados en respuestas fisiológicas, citando las recomendaciones de Rowland^{cvii}: una FC >200 (s.p.min), un RER $\geq 0,99$, alcanzar una meseta de VO₂. Como criterio subjetivo, establecen signos de esfuerzo intenso como un patrón de carrera o pedaleo inestable, sudoración, rubor facial y la incapacidad para continuar la prueba a pesar de motivar con fuerza a los sujetos verbalmente.

La población adulta alcanza el criterio de la meseta de VO₂ con más frecuencia que la población infantil. Los estudios aportan porcentajes de logro de meseta en la población infantil de un 25%^{cviii}, 33%¹⁰⁵ y 33,5%^{cix}. Una de las causas que se ha propuesto como factor limitante del logro de la meseta de VO₂ en esta población al realizar tests de potencia aeróbica máxima, ha sido una potencia o capacidad anaeróbica más baja en estas edades. Sin embargo, los estudios que han analizado en profundidad este hecho, concluyen que el logro de la meseta es independiente de los factores anaeróbicos medidos en ejercicios que miden la potencia aeróbica máxima^{105,109}.

En este trabajo se han considerado dos tipos de criterios para determinar la maximalidad de la prueba de esfuerzo. El primer tipo de criterio ha sido subjetivo, y nos hemos basado en otros estudios^{92,cx} para determinar los signos (un patrón de pedaleo inestable y la incapacidad de continuar la prueba a pesar de la alta motivación verbal). El segundo criterio que se ha utilizado, corresponde a los criterios objetivos fisiológicos establecidos^{102,103,104,105,107}.

- Logro de la meseta de VO₂.
- Alcanzar un RER $\geq 1,00$.
- Alcanzar una FC > 85%.

Debemos mencionar, que considerar el criterio de la FC_{max} para determinar el VO_{2pico}, nos plantea algunos interrogantes, en primer lugar, ¿qué ecuación debemos utilizar para determinar la FC_{max} en niños y niñas con edades comprendidas entre los 6 y 12 años? Es bien sabido que no se conoce el origen de la fórmula FC_{max}: 220 – edad, tradicionalmente utilizada. Cabeza et al^{cx} en la revisión que realizan al respecto, señalan la ecuación FC_{max}: 202-0,7 x edad, como la más adecuada para utilizar con jóvenes entre 15 y 18 años, y apuntan que no se han encontrado estudios que aporten una ecuación apropiada para sujetos menores de 15 años, pudiendo variar la FC_{max} entre

195 y 210 (s.p.min) según la ecuación utilizada en sujetos de 10 años (210 s.p.min con la ecuación $220 - \text{edad}$, y 195 s.p.min con la ecuación $202 - 0,72 \times \text{edad}$ de Jones, 1985).

Por otro lado, Hebestreit⁷² citando a Rowland^{cxii}, señala un valor de FC_{pico} sobre 195 s.p.min para un ejercicio en cicloergómetro y 200 s.p.min para un ejercicio en tapiz, como un buen indicador de un esfuerzo máximo en niños. Señalando, sin embargo, que Rowland reconoce las grandes diferencias inter-individuales, que existen, en la tasa cardiaca máxima.

Somos conscientes del hecho de estar considerando como criterios objetivos (basados en respuestas fisiológicas y metabólicas) para considerar la prueba máxima, criterios que están estandarizados para adultos, y por otro lado, la mayoría de los escasos estudios que existen en la población infantil, se han realizado con un protocolo de ejercicio en tapiz. Se ha aportado en numerosos trabajos, que los valores, de los distintos parámetros fisiológicos y metabólicos, obtenidos en las pruebas de esfuerzo que utilizan un protocolo en tapiz, son superiores a los obtenidos en protocolos con cicloergómetro. Los pocos datos que hemos encontrado de ejercicios realizados en cicloergómetro, sugieren que la mayoría de los niños no alcanzan la meseta de VO_2 ^{cxiii}. Por tanto, con estos datos y los interrogantes que se plantean con los criterios de la FC y el lactato sanguíneo en la población infantil, pensamos por un lado, que nuestros resultados se pueden considerar máximos, ya que cumplen al menos un criterio objetivo de los citados a pesar de utilizar un protocolo en cicloergómetro. Por otro lado, creemos que se debería investigar con más detalle el uso de los criterios objetivos y poder estandarizar valores para un amplio rango de edad y en los distintos protocolos de ejercicio en la población infantil.

5.3. Parámetros de la prueba de esfuerzo.

5.3.1. Consumo de oxígeno relativo a la masa corporal “VO₂/kg” (ml/kg/min).

El VO₂ se relaciona con la talla corporal, por tanto, para poder comparar el rendimiento de sujetos de distinta talla corporal, es necesario corregir la influencia de la talla sobre el rendimiento⁷². En el caso de la población infantil el VO₂ se ha relacionado con varios parámetros estructurales con el objetivo, por un lado, de estandarizar valores de VO₂ en estas edades, y por otro lado, de eliminar los efectos que ejerce la maduración sobre dicho parámetro. Sin embargo, no se ha identificado el mejor índice o factor y han sido muchos los que se han utilizado como la masa corporal, la altura, la masa magra, edad esquelética...pero, incluso controlando los efectos del peso, altura y edad esquelética, se producen variaciones del VO₂ con los cambios de edad⁵⁵. La conclusión a la que llegan la mayoría de los estudios que revisan este aspecto es que la masa corporal es en general el mejor índice que se puede utilizar para controlar los efectos de la maduración en sujetos no obesos, aunque la tendencia actual es utilizar ecuaciones alométricas que permitan obtener datos normalizados de las variables del rendimiento del ejercicio y así poder comparar el rendimiento entre grupos⁷².

Siguiendo la línea general de los trabajos revisados, en este trabajo se ha elegido la masa corporal como índice para eliminar los efectos de la maduración en la muestra y así poder comparar los datos obtenidos del VO₂/kg en los distintos grupos de edad.

El comportamiento del VO₂/kg en la muestra de población infantil de sexo masculino, a lo largo de la prueba sigue una evolución similar, con un ajuste logarítmico y sin diferencias significativas entre grupos de edad. Se puede observar en la Figura 6 que a intensidades más bajas del ejercicio, el rango que se obtiene es mayor que a intensidades más altas.

En la población infantil de sexo femenino, se da el mismo comportamiento a lo largo de la prueba, sin embargo, se aprecia un cambio significativo ($p \leq 0,05$) entre el grupo de 9 y 10 años.

Al comparar el comportamiento del VO_2/kg entre sexos, encontramos una diferencia significativa en las edades más pequeñas, 7 ($p \leq 0,05$), 8 y 9 ($p \leq 0,001$) años. La diferencia entre el primer grupo de edad y el último es más acusada en el sexo femenino, sin llegar a ser estadísticamente significativa.

5.3.2. Consumo de oxígeno absoluto “ VO_2 ” (L/min).

El VO_2 absoluto, muestra el mismo comportamiento que el VO_2/kg , pero la relación aquí es lineal, con la diferencia de que cada edad se detiene antes.

La gráfica muestra un comportamiento similar a la obtenida en el trabajo de Krahenbuhl et al⁵⁵.

La muestra de sexo masculino presenta una diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre los grupos de 10 y 11 años. La muestra de sexo femenino vuelve a presentar una diferencia significativa entre los grupos de 9 y 10 años. Existe una diferencia significativa entre el primer y último grupo de edad en ambos sexos.

5.3.3. Producción de CO_2 “ VCO_2 ” (L/min).

El comportamiento del VCO_2 en la población infantil de ambos sexos, muestra una relación lineal con una correlación de 0,98, con una gráfica muy similar con la diferencia de que las niñas se detienen antes. En ambos sexos, hay diferencias significativas entre el primer y último grupo. Los grupos de 9 y 10 años en la muestra de sexo femenino siguen con el mismo comportamiento que en los parámetros anteriores, es decir, existen diferencias significativas entre estos grupos. Al comparar entre sexos, solo hay diferencias en los grupos de 8 y 9 años.

5.3.4. Ventilación “VE” (L/min).

El comportamiento de la ventilación (VE) en la población infantil de ambos sexos, muestra un ajuste lineal y un comportamiento creciente con la intensidad del ejercicio, deteniéndose por edades manteniendo ese orden en todos los parámetros. El valor absoluto promedio al comenzar el ejercicio es de 19,16 L/min, y al finalizar la prueba, varían desde los 39,23 y 70,66 L/min a los 7 y 12 años respectivamente en los sujetos de sexo masculino. En el sexo femenino, el valor absoluto promedio al inicio del ejercicio es de 15,98 L/min, y al finalizar la prueba, los valores absolutos oscilan entre los 46,30 y 65,30 L/min. En los sujetos de sexo masculino, hay diferencias significativas a los 10 y 11 años, mientras que en el sexo femenino, las diferencias siguen en los grupos de 9 y 10 años. En ambos sexos hay diferencias entre el primer y último grupo de edad. Las diferencias entre sexos se dan a los 8 y 9 años.

5.3.5. Espacio muerto fisiológico estimado “VD/Vt Est”.

El comportamiento del VD/Vt Est en la población infantil de ambos sexos es similar al comportamiento de los sujetos adultos con el ejercicio, va disminuyendo conforme avanza el ejercicio, excepto en el grupo de las niñas de 10 años, que tiene un comportamiento distinto al habitual, ya que se mantiene y no desciende con el ejercicio.

La muestra de sexo masculino presenta diferencias significativas entre los grupos de edades de 7 y 8, 8 y 9 y 11 y 12 años, sin embargo no hay diferencias entre el primer y último grupo de edad. La muestra de sexo femenino, sin embargo, a parte de presentar diferencias significativas en los grupos de 9 y 10, y 10 y 11 años, muestra diferencias entre el primer y último grupo de edad. Al comparar por sexos, hay diferencias significativas a las edades de 9, 10 y 12 años.

5.3.6. Presión de CO₂ al final de la espiración “Pet CO₂” (mmHg).

El comportamiento de la Pet CO₂ en los sujetos de sexo masculino se mantiene estable dentro de los valores normales, similares a la población adulta. No hay hiperventilación en toda la muestra, sin embargo se aprecia una diferencia de comportamiento muy acusada entre sexos. En los sujetos de sexo femenino, la Pet CO₂ tiende a descender, y esto no ocurre en el sexo masculino, pero a diferencia del sexo masculino, los grupos de sexo femenino tienen un comportamiento durante el ejercicio más homogéneo, existiendo diferencias significativas en los grupos de 7 y 8; 8 y 9; 10 y 11 y 7 y 12 años. En los sujetos de sexo masculino, hay diferencias significativas entre todos los grupos de edad. Al comparar por sexos, solo hay diferencias a los 10 y 12 años.

5.3.7. Tasa de intercambio respiratorio “RER”.

El RER durante el ejercicio en ambos sexos, presenta un comportamiento casi idéntico, llegando a alcanzar los valores que se consideran máximos para la población adulta. Ambos sexos parten de un valor promedio inicial de 0,85, alcanzan valores iguales o superiores a 0,90 a los 3,5 y 2,5 minutos y superan el valor de 1,00 a los 6,5 y 4,5 minutos, en sujetos de sexo masculino y femenino respectivamente, sobre una duración total de 11 y 10 minutos en el sexo masculino y femenino respectivamente.

Esto nos indica que desde muy pronto se empiezan a utilizar los hidratos de carbono como combustible metabólico y la utilización de grasas en el total del ejercicio es escasa y tiene una duración muy corta. Por tanto, los sujetos desde los minutos 3,5 y 2,5 están utilizando la vía metabólica glucolítica y por otra parte, el comportamiento del VECO₂, al mantenerse la fase isocápnic, nos indica que posiblemente se está aclarando los metabolitos de la vía metabólica glucolítica a una tasa mayor que la que ocurre normalmente en adultos, ya que después de la fase de meseta, el VECO₂ tendería a aumentar bruscamente según el modelo de Skinner y McLellan⁹⁰.

5.3.8. Equivalente ventilatorio de O₂ “VEO₂”.

El comportamiento y valores del VEO₂ están dentro de la normalidad en los grupos de ambos sexos, existiendo más variabilidad entre edades en el sexo masculino (9 y 10; 11 y 12; 7 y 12 años), sin embargo, el sexo femenino solo muestra diferencias entre los 7 y 8 años.

La literatura habla de valores de VEO₂ superiores en niños debido a una ventilación menos eficiente en estos. Sin embargo, durante el ejercicio máximo, se han documentado valores menores en niños que en adultos, sugiriendo que la causa es una capacidad anaeróbica menor.

5.3.9. Equivalente ventilatorio de CO₂ “VECO₂”.

En el análisis grupal, se observa que la fase de meseta se mantiene durante todo el ejercicio en todos los grupos de edad y sexo. Esto podría indicar que se produce un tamponamiento constante durante todo el ejercicio, pero también que al ser duraciones diferentes de ejercicio, el análisis de grupo no refleje los comportamientos individuales. De hecho, al determinar el VT₂ se ha utilizado el incremento de VE/VCO₂ según el modelo de Skinner y McLellan⁹⁰, aunque este incremento no es constante en todos los casos y se presenta a niveles muy altos del ejercicio.

5.3.10. Frecuencia cardiaca “FC” (s.p.min).

La FC presenta un comportamiento uniforme en ambos sexos, creciendo con el aumento de la intensidad del ejercicio y alcanzando una meseta al final del mismo. Se aprecia como a intensidades más bajas del ejercicio, hay una dispersión de los valores mayor que a intensidades más altas, donde el comportamiento es más uniforme en todos los grupos y sexos.

Los valores promedios al inicio del ejercicio son más altos en el sexo femenino (139,54 s.p.min) que en el masculino (133,14 s.p.min) sin llegar a ser significativos. Los valores promedio al finalizar el ejercicio, también son más altos en el sexo femenino que en el masculino (198,00 y 195,03 s.p.min respectivamente). Si seguimos la indicación de Hebestreit⁷² citando a Rowland¹¹², estos valores finales se consideran máximos para un ejercicio en cicloergómetro.

En ambos sexos, hay diferencias significativas entre los 7 y 12 años, sin existir diferencias al comparar los sexos.

5.4. Relación particular de la ventilación y la producción de CO₂: VE vs. VCO₂.

En adultos, el sistema ventilatorio tiene un comportamiento establecido de VCO₂. La relación es lineal, se ajusta a una correlación cercana al 1, es independiente de causas ajenas y responde de forma idéntica a la VCO₂.

El comportamiento en la muestra de este trabajo es muy similar al obtenido en la población adulta, sin existir diferencias entre grupos de edad ni sexo, salvo el tiempo de duración del ejercicio. Esto es sorprendente, ya que tradicionalmente se ha considerado como ineficaz la VE en los niños en relación a los adultos. Sin embargo, podemos aportar con estos datos que la población infantil estudiada posee una ventilación de similar eficacia a la población adulta.

Esta discrepancia abrirá el campo para posteriores estudios.

5.5. Relación particular de la frecuencia cardiaca y el consumo de O₂ relativo a la masa corporal: FC vs. VO₂/kg.

El comportamiento de la relación particular de la FC y el VO₂/kg considerando los valores promedios por grupos de edad, muestra una correlación lineal muy alta, superior en los sujetos de sexo masculino, existiendo en ambos sexos una mayor dispersión de los valores en tasas de intensidades altas de ejercicio. Este comportamiento es más acusado en el sexo femenino.

Si consideramos el comportamiento de la relación particular de la FC y el VO₂/kg individualmente, encontramos que no existe correlación entre ambos parámetros, por tanto, la FC no tiene capacidad predictiva sobre el VO₂/kg en la población estudiada. Este comportamiento es el esperado, acorde con la realidad.

Como conclusión, podemos corroborar los datos existentes en la literatura acerca de la ineficacia de la FC como indicador del VO₂/kg de forma individual en sujetos sanos con edades comprendidas entre los 7 y 12 años. Sin embargo, si se puede utilizar la FC como un indicador del VO₂/kg considerando los valores promedios de cada grupo de edad.

5.6. Datos máximos y en el umbral anaeróbico de la prueba de esfuerzo.

5.6.1. Valores máximos y en el umbral anaeróbico de $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$.

Los valores máximos obtenidos del $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$ en la muestra son similares a los valores que ofrece la literatura en ejercicios máximos que utilizan protocolos en cicloergómetro. Los autores⁵⁵ que comparan los valores absolutos de VO_2 obtenidos en ejercicios utilizando distintos ergómetros (tapiz y cicloergómetros) encuentran que los valores alcanzados en tapiz son entre un 7 y 19 % superiores a los obtenidos en cicloergómetros. Los valores obtenidos en los sujetos de sexo masculino oscilan entre los $42,94 \pm 8,48$ (9 años) y los $47,89 \pm 9,75$ (12 años) ml/kg/min. Sin existir diferencias significativas entre ningún grupo de edad. Los valores alcanzados por el sexo femenino oscilan entre los $31,37 \pm 9,02$ (9 años) y los $39,02 \pm 5,24$ (10 años) ml/kg/min, encontrándose diferencias solamente entre los 9 y 10 años, pensamos que la causa es el valor de $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$ más bajo respecto a los demás grupos, pero no encontramos ninguna explicación lógica a las diferencias persistentes encontradas entre estos dos grupos en numerosos parámetros. Si obviamos la diferencia encontrada entre los 9 y 10 años en el sexo femenino, el resto de la muestra, sigue el patrón establecido habitualmente en este parámetro, es decir, el $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$, se mantiene estable en el tiempo, puntualizando que en las edades más tempranas, hay una variabilidad de datos mayor.

Al comparar los valores de $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$ entre sexos, encontramos que existen diferencias significativas a los 8, 9 y 12 años y a los 11 las diferencias no llegan a ser significativas ($p = 0,06$) pero debemos mencionar que se mantiene la tendencia observada. La literatura al respecto sigue dos tendencias, la primera habla a favor de valores similares de $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$ hasta los 12 años, y es a partir de esa edad cuando aparecen las diferencias. La segunda tendencia, la marcan aquellos estudios que encuentran valores superiores en el sexo masculino respecto al femenino^{92,cxiv} en distintas edades. Nuestros resultados, siguen la segunda tendencia.

5.6.2. Valores máximos, en el umbral anaeróbico y relativos a la masa corporal (P_{pico} , P_{UA} y P_{pico}/kg).

Los valores de P_{pico} alcanzados en este estudio, aumentan con la edad en ambos sexos, como demuestran las diferencias significativas encontradas entre los grupos de 7 y 12 años tanto en niños como en niñas. Esta respuesta ha sido habitual tanto en estudios transversales^{40,49,50}, como en los longitudinales⁴⁷. Respecto a los valores absolutos obtenidos de la P_{pico} en este estudio, no podemos realizar una comparación con otros estudios debido a los diferentes tests usados en la medición. La mayoría de los trabajos, han utilizado tests de potencia muscular de corta duración, y nosotros hemos aplicado un test progresivo hasta el agotamiento, por tanto nuestros valores absolutos de P_{pico} son menores comparados con los obtenidos por los test de potencia muscular. Este aspecto lo señala Van Praagh et al⁴², al especificar que la STMP no solo se relaciona con la edad y el sexo, sino que también depende de la duración del ejercicio, el grupo muscular involucrado y el tipo de ergómetro usado.

Los datos obtenidos de $P_{pico UA}$ presentan un comportamiento similar de aumento que la P_{pico} en ambos sexos, sin embargo, la posición relativa de la $P_{pico UA}$ respecto a la P_{pico} va distanciándose con el crecimiento, y el porcentaje sobre la P_{pico} se reduce en ambos sexos. Este comportamiento indicaría que la capacidad de soportar un esfuerzo físico intenso (en el umbral anaeróbico) aumenta con el crecimiento, así, esto puede tener relación con la mayor motivación y capacidad de soportar un esfuerzo de alta intensidad en sujetos de más edad, ya que por un lado, la capacidad de recuperación es mayor en niños que en adultos, y la percepción del esfuerzo es similar en niños y adultos. Por tanto, podríamos hablar de un componente de motivación muy alto en relación al rendimiento anaeróbico en sujetos de corta edad.

A parte de las diferencias encontradas entre el primer y último grupo de edad, tanto en la P_{pico} como en la $P_{pico UA}$, solo se han encontrado diferencias significativas entre los grupos de 9 y 10 años en toda la muestra de ambos sexos. No hemos encontrado otro estudio que obtenga este resultado, y no podemos dar una interpretación a este hecho, solo podemos ver que se repite este comportamiento en estos grupos de edad, sobre todo en el sexo femenino, en numerosos parámetros tanto respiratorios y ventilatorios como de rendimiento anaeróbico.

La variable antropométrica que hemos considerado para eliminar el efecto del crecimiento y desarrollo, y así poder comparar los sujetos de distintas edades, es la masa corporal ($P_{\text{pico}}/\text{kg}$). Esta variable se ha utilizado de forma sistemática en la literatura sobre la Fisiología del Ejercicio Físico en la población infantil ya que por un lado se ha demostrado que la STMP presenta una correlación muy alta con la talla corporal, y por otro lado se ha utilizado frecuentemente (W/kg) para comparar sujetos de distinta talla⁴². Sin embargo, somos conscientes de la evidencia que demuestra que simplemente dividiendo el rendimiento entre la masa corporal, no es el mejor método para obtener una variable independiente de la talla, como expresa Martin et al⁴⁷ citando a Winter et al^{cxv}. Los métodos que se han utilizado recientemente para controlar las variables que influyen en el rendimiento anaeróbico son por un lado, análisis múltiples alométricos⁴⁹ en los estudios *cross sectionales*, y por otro los análisis de regresión multinivel⁴⁷ en estudios longitudinales.

Los sujetos de ambos sexos, muestran un comportamiento de la $P_{\text{pico}}/\text{kg}$ sin cambios con el crecimiento. Este comportamiento constante, se observa en toda la muestra excepto en los grupos de 8 y 9, y 9 y 10 años en los sujetos de sexo masculino, pero puede explicarse por un lado, por el valor significativamente más alto de masa corporal del grupo de 9 años respecto al de 8 años. Por otro lado, hay diferencias significativas en el valor de P_{pico} entre los grupos de 9 y 10 años, y el grupo de 9 años, tiene una masa corporal superior, aunque no es significativa, a la del grupo de 10 años. Los sujetos de sexo femenino, por el contrario, tienen un comportamiento más estable, sin diferencias significativas entre grupos.

Existen muy pocos datos en la literatura acerca de las diferencias en el rendimiento anaeróbico (P_{pico}) en relación al sexo, y estas se han establecido generalmente en el periodo de la adolescencia^{42,47}, y se han atribuido comúnmente a influencias hormonales⁴². En este estudio, las diferencias se han encontrado a los 7, 8, 9 y 12 años, por tanto, los resultados aquí obtenidos señalan diferencias relacionadas con el sexo durante el crecimiento, excepto a los 10 y 11 años. De Ste Croix et al⁴⁶, tampoco obtuvo diferencias relacionadas con el sexo en la P_{pico} desarrollada por niños y niñas de 10 y 11 años durante un Test Anaeróbico de Wingate. Sin embargo, las diferencias relacionadas con el sexo durante el crecimiento en la P_{pico} UA y $P_{\text{pico}}/\text{kg}$, obtenidas en este trabajo, no son tan claras, ya que se dan a los 8 y 10 años respectivamente.

Aunque nuestros resultados referentes a las diferencias en el rendimiento anaeróbico en relación con el sexo, difieren en principio de los datos obtenidos por otros trabajos, si coinciden en que los incrementos en la P_{pico} durante el crecimiento son superiores en el sexo masculino que en el femenino.

Los motivos o factores que intervienen en el desarrollo de la potencia en ambos sexos, ha sido objetivo de estudio de numerosos autores, y las variables que han encontrado que explican estas diferencias se resumen en:

- Davies et al^{cxvi}, al medir la potencia de corta duración en salto y en cicloergómetro, en 54 niños y niñas de 11 y 14 años, encontraron que a la edad de 11 años no había diferencias significativas entre sexos al medir la potencia en salto ni en cicloergómetro, pero a los 14 años, los niños desarrollaron una potencia un 25% más alta que las niñas, en ambos tests, al relacionar la potencia obtenida en ambos tests por el volumen muscular de la pierna, las diferencias en el desarrollo de potencia absoluta desaparecieron. Por tanto, el incremento en la potencia mecánica absoluta con la edad, se ha relacionado con la talla y la fuerza que puede ser ejercida a la frecuencia óptima de movimiento en la población infantil.

- Mero et al^{cxvii}, estudiaron la relación entre las características de las fibras musculares y la capacidad de rendimiento físico en niños deportistas (velocistas, fondistas, levantadores de peso y tenistas) de 11 a 13 años al desarrollar un test anaeróbico máximo de 60 segundos. Las conclusiones a las que llegaron son que, por un lado, la herencia afectó en parte la selección del deporte. Por otro lado, el crecimiento, desarrollo y entrenamiento estaban asociados con el área fibrilar muscular, que afecta a la capacidad de rendimiento físico del sistema neuromuscular en niños entrenados.

- Docherty et al^{cxviii} han encontrado una fuerte relación entre variables antropométricas y de rendimiento en 52 niños y niñas de 10,8 y 11,1 años respectivamente, de similares medidas antropométricas a excepción de la grasa corporal. Los niños mostraron valores superiores a las niñas en la potencia aeróbica máxima, rendimiento anaeróbico y fuerza. En los niños, se encontró una relación fuerte entre la altura y el peso y el rendimiento anaeróbico, mientras que en las niñas el peso y el volumen del muslo se relación fuertemente con todas las medidas del rendimiento.

- Dore et al⁴⁹ midieron a 506 sujetos de sexo masculino con edades comprendidas entre los 7,5 y 18 años mediante un test máximo en cicloergómetro de corta duración. Se encontró que la P_{pico} tuvo una correlación muy alta tanto con el volumen magro de la pierna como con la masa magra. El análisis de regresión utilizado, mostró que el 88,2% de la variación fue debida al volumen magro de la pierna y un 3% se explicó con la edad y el tiempo en alcanzar la P_{pico} . Los autores concluyeron señalando que aunque los efectos de los cambios dimensionales sobre la P_{pico} son evidentes, se deben considerar cambios cualitativos indeterminados de la función muscular durante la maduración.

- De Ste Croix et al⁴⁶ midieron a 15 niños y 19 niñas en dos ocasiones (con $10,0 \pm 0,3$ y $11,8 \pm 0,3$ años) con un Test Anaeróbico de Wingate, encontrando que el volumen muscular del muslo, la masa corporal, la suma de pliegues cutáneos y la edad, ejercen una influencia positiva en el rendimiento de la STMP en estos sujetos.

- Martin et al⁴⁷, analizaron la influencia de la edad, masa corporal y volumen magro de la pierna sobre la potencia máxima de 100 sujetos de sexo femenino y 109 de sexo masculino de 7,5 a 17,5 años, usando un análisis de regresión multinivel y comparando los resultados entre sexos. Los autores encontraron un aumento de la P_{pico} con la edad en ambos sexos. Pero los factores que explicaban el desarrollo de la potencia eran distintos para ambos. En ambos sexos, el volumen magro de la pierna, la masa corporal y la edad fueron las variables determinantes de la P_{pico} . En las niñas, el volumen magro de la pierna determinó el 68% de la variación, por lo que el incremento de la P_{pico} se debió en gran parte por la mejora de los factores musculares cuantitativos. En los niños, la edad determinó el 57% de la variación total y la influencia de los factores musculares cualitativos (tipo de fibra II, habilidad glucolítica, coordinación motriz, activación de unidades motoras) fueron mayores respecto a las niñas.

Los autores⁴⁷ decidieron analizar las diferencias en los parámetros de fuerza y frecuencia óptima de pedaleo, en relación con el sexo, encontrando por un lado que la variable de la longitud de la pierna explicaba el 83% de la variación de la frecuencia óptima de pedaleo y el volumen magro de la pierna fue la variable principal de la variación de la fuerza óptima de pedaleo. No se encontraron diferencias significativas entre sexos al comparar la fuerza óptima de pedaleo, sin embargo, para la misma

longitud de pierna, la frecuencia óptima de pedaleo, fue superior en niños que en niñas. Estas diferencias se atribuyeron a factores musculares cualitativos relacionados con parámetros de la velocidad de contracción (diferencias en la proporción y/o reclutamiento de fibras rápidas). Por tanto, los autores⁴⁷ han apuntado que esta diferencia de sexo puede estar en relación con diferencias en la coordinación motora. Además, se ha sugerido que debe producirse alguna maduración neural o desarrollo en el reclutamiento de unidades motoras con la edad. Así, en el trabajo de De Ste Croix et al⁴⁶, se cita, que “los niños de 16 años podían activar significativamente más de sus unidades motoras disponibles que los niños de 11 años^{cxix}”.

A parte de las aportaciones de estos estudios transversales y longitudinales, existe más evidencia basada en metaanálisis que apoyan que la diferencia observada entre niños y, adolescentes y adultos durante los test de potencia muscular de corta duración, se relacionan más con factores neuromusculares, hormonales y de coordinación motora, que con una producción reducida de lactato por el mecanismo de la glucólisis⁴². Esta hipótesis la han apoyado autores como Gaul et al²³, Tolfrey et al^{cxv}, Van Praagh¹⁰¹, entre otros, que señalan a los factores neuromusculares, hormonales una mejora en la coordinación motora y la motivación, como posibles factores que debían afectar el rendimiento anaeróbico en niños.

En resumen, los primeros estudios sobre el rendimiento anaeróbico en la población infantil se establecieron en los años 70⁴⁸. Desde entonces, se han realizado numerosos trabajos con el objetivo de establecer la relación existente entre la edad y el sexo sobre la STMP. Durante muchos años, los investigadores han utilizado como instrumento de medida el Test Anaeróbico de Wingate, que fue diseñado en origen para la población adulta y más tarde se validó para la población infantil. Sin embargo, aunque siempre ha contado con la confianza de numerosos científicos de relevancia en el campo de la Fisiología del Ejercicio Físico, también es cierto que ha tenido un sector, aunque minoritario, pero no por eso menos importante, que ha puesto en duda no la capacidad de este test, sino la utilidad con la que se ha manejado al comparar los resultados del rendimiento obtenido en dos poblaciones distintas en numerosos parámetros que influyen directamente sobre el rendimiento al desarrollar dicho test. Por este motivo, entre otros (el Test Anaeróbico de Wingate no mide los componentes de

fuerza y velocidad), en los últimos años, otros tests han emergido y han cobrado mayor popularidad como es el caso del test de F-V en cicloergómetro.

A pesar del modo de medida utilizado, se ha establecido un acuerdo generalizado acerca del menor rendimiento en niños y adolescentes respecto a los sujetos adultos al desarrollar potencia anaeróbica. Así, Inbar et al⁴⁰ aportaron al respecto, que las diferencias observadas en niños comparadas con la de adolescentes y adultos, eran tanto sobre los valores absolutos de P_{pico} , como en los relativos a la masa corporal y masa magra. De los 300 sujetos varones con edades comprendidas entre los 10 y 45 años que desarrollaron el Test Anaeróbico de Wingate con piernas y brazos, se obtuvo que el rendimiento máximo se alcanzó al final de la tercera década en el test realizado en pedaleo, mientras que en el test desarrollado con los brazos, el rendimiento máximo se alcanzó al final de la segunda década.

Durante muchos años, la literatura sobre Fisiología del Ejercicio Físico en la población infantil, ha otorgado a este problema causas de índole cualitativa, haciendo referencia a la maduración, relacionándolo con una tasa glucolítica anaeróbica reducida en niños, niveles de acidosis en ejercicio máximo más bajos, factores hormonales... Esta idea se ha desarrollado extensamente en el Capítulo I: Introducción.

Sin embargo, en los últimos años, ha surgido otra teoría o planteamiento que da un giro al pensamiento tradicional en este tema, ya que justifica las diferencias existentes, entre niños y adolescentes comparados con los adultos, en el rendimiento anaeróbico debido a factores cuantitativos, relacionados con el aumento de la masa corporal, masa magra, suma de pliegues cutáneos, altura, volumen muscular, longitud de la pierna, además de otros factores de coordinación inter e intra neuromuscular. Este planteamiento está avalado por los últimos estudios tanto transversales como longitudinales que han estudiado las distintas variables que afectan tanto a la edad como al sexo en el desarrollo de la STMP. Llegando a las siguientes conclusiones:

- El aumento de la P_{pico} está relacionado con el crecimiento en la población estudiada de 7 a 12 años de ambos sexos.
- El mayor incremento de P_{pico} observado en niños respecto a las niñas durante el crecimiento en otros estudios, también se ha obtenido en la población analizada en nuestro trabajo.

- Aunque el factor que se ha utilizado en este trabajo (la masa corporal) para eliminar los efectos del crecimiento y desarrollo en relación al rendimiento anaeróbico, no es el método más seguro para obtener una variable independiente de la talla, los resultados obtenidos en este trabajo de la $P_{\text{pico}}/\text{kg}$, junto a los valores de las concentraciones de lactato sanguíneo y los parámetros ventilatorios, apoyan la idea de los autores que otorgan a los factores musculares cuantitativos, la causa predominante del desarrollo de la P_{pico} en la población infantil.

5.6.3. Valores pico y en el umbral anaeróbico de la frecuencia cardiaca (FC_{pico} y FC_{pico} UA).

La literatura no ofrece muchos datos de la frecuencia cardiaca máxima ni en el umbral anaeróbico para la población infantil en general. Los valores de FC_{pico} y FC_{pico} UA obtenidos en este trabajo en la población de sexo masculino son similares, sin diferencias significativas entre los distintos grupos de edad, manteniéndose el porcentaje de FC_{pico} UA respecto a la FC_{pico} constante en todas las edades, aunque la FC_{pico} tiende a aumentar ligeramente con la edad en niños sin llegar a ser significativas. La población de sexo femenino tiene un comportamiento muy similar (aunque en las niñas, la FC_{pico} tiende a disminuir ligeramente) exceptuando el valor obtenido en el grupo de 7 años en la FC_{pico} UA, que muestra diferencias significativas tanto con el siguiente grupo de edad, como con el grupo de 12 años. Hemos considerado obviar este dato, ya que para las niñas de 7 años, una vez alcanzado el umbral anaeróbico, ha sido muy difícil mantener la intensidad del ejercicio, de ahí el porcentaje tan alto (99%) de la FC_{pico} UA respecto a la FC_{pico} . Por tanto, sin tener en cuenta este grupo de edad, no hay diferencias significativas entre los distintos grupos.

Al comparar los valores de FC_{pico} en relación al sexo solo se observan diferencias significativas a los 7 años, al igual que en la FC_{pico} UA.

Resulta difícil comparar estos valores con los obtenidos con otros trabajos, ya que los datos aportados normalmente corresponden a un grupo de edad reducida y a un único sexo. Dotan et al²⁴ obtuvieron una FC_{pico} media de $195,9 \pm 6,3$ en 14 niños

prepúberes de $11,5 \pm 0,5$ años y Wirth et al⁵⁸ encontraron valores de FC_{max} entre 180 y 192 s.p.min en sujetos prepúberes de sexo masculino y femenino respectivamente, utilizando ambos estudios protocolos de ejercicio en cicloergómetros. Por otro lado, hemos encontrado valores de FC_{pico} superiores^{25,89} a los nuestros, pero todos ellos medidos en tests en tapiz. Esto corresponde con la aportación realizada por Turley et al⁷¹ referente a los valores menores de FC_{pico} encontrados generalmente en tests realizados en cicloergómetros respecto a los desarrollados en tapiz.

Ante estos resultados y la aportación de Baquet et al⁶⁰ referente a la gran variabilidad inter-individual observada en la FC_{pico} característica de la población infantil, podemos concluir que utilizar la FC como un indicador de la intensidad del ejercicio en estas edades no sea lo más adecuado.

5.6.4. Valores de las concentraciones de lactato sanguíneo al final de la prueba de esfuerzo.

Los valores de las concentraciones de lactato sanguíneo al finalizar la prueba se han mantenido constantes para ambos sexos, sin cambios significativos, con el crecimiento. Estos valores han sido más altos (sin llegar a ser significativos) en el sexo femenino, oscilando entre los $9,02 \pm 2,09$ y los $11,47 \pm 4,61$ mmol/L, que en el masculino, $8,97 \pm 2,23$ y $10,75 \pm 2,19$ mmol/L.

Un dato curioso, es el valor inferior de la concentración de lactato sanguíneo en el grupo de 10 años en ambos sexos, ya que vuelve a repetirse este comportamiento diferente en numerosos parámetros medidos en este trabajo en este grupo de edad.

Estos valores finales, son similares a los alcanzados en otros estudios^{22,23,24,25,94,cxxi} utilizando protocolos distintos de ejercicio y en sujetos generalmente de sexo masculino y con edades comprendidas entre los 9 y 12 años.

La literatura tradicionalmente ha sugerido un aumento de los valores de lactato sanguíneo con el ejercicio máximo (generalmente utilizando tests de potencia muscular anaeróbica), durante el crecimiento y la maduración, señalando que durante la segunda década de la vida es cuando se produce el cambio en el metabolismo energético entre

niños y adultos⁴¹, con la maduración de la vía metabólica glucolítica coincidiendo con la maduración sexual.

Sin embargo, los resultados obtenidos en nuestro estudio han ido en contra de esta idea del aumento del lactato sanguíneo pico con el crecimiento, ya que los valores finales se mantienen constantes durante las edades que comprende la etapa escolar de primaria. Sjoedin et al^{xxxii}, han encontrado resultados similares pero durante el periodo de la adolescencia y pubertad en un estudio longitudinal (el lactato sanguíneo pico permaneció constante tanto en un grupo de 8 niños de 12 años corredores, sometidos a un entrenamiento, como en un grupo control, a los que se midió la concentración pico de lactato sanguíneo y el VO_{2pico}/kg , cada 6 meses durante 8 años. Sin embargo, el VO_{2pico}/kg descendió en el grupo control, permaneciendo constante en el grupo entrenado).

Por tanto, estos datos defienden una de las ideas principales de nuestro estudio, referente a la similitud en el comportamiento metabólico entre niños y adultos en el ejercicio. Además existe más evidencia que apoya este planteamiento. Por un lado, hay estudios que al utilizar protocolos de ejercicio de mayor duración^{23,75}, han obtenido valores de lactato sanguíneo más altos. Esto indica que los protocolos de ejercicio que miden la potencia muscular, deben limitar la capacidad de trabajo en la población infantil, y por tanto, las diferencias encontradas deben ser motivo de factores neuromusculares. Por otro lado, Beneke et al⁴¹, al estudiar la relación existente entre el máximo estado estable de lactato (MLSS) (que representa la carga máxima constante que puede desarrollarse mediante el metabolismo aeróbico y/o la mayor tasa individual de glucólisis anaeróbica en la que el piruvato producido puede ser usado por el metabolismo aeróbico) y la edad, obtuvieron que la MLSS era independiente de la edad, por tanto, este resultado vuelve a apoyar la teoría que ha señalado a los factores neuromusculares y la eficiencia de trabajo mecánico, como causantes de los cambios en respuesta al ejercicio durante el crecimiento y la maduración, más que a los cambios en el metabolismo oxidativo y/o glucolítico, o un indicador de una capacidad anaeróbica reducida en la población infantil⁴¹.

Otro aspecto importante que ha suscitado el interés de numerosos investigadores en este campo, ha sido el relacionado con la recuperación después de un ejercicio de

corta duración y alta intensidad. Muchos trabajos^{51,52,53,54,121} han sugerido que los niños tienen la capacidad de recuperarse más rápido que los adultos después de un ejercicio anaeróbico, sin embargo Dotan et al²⁴, no encontraron diferencias en la recuperación tras desarrollar un Test Anaeróbico de Wingate entre niños y adultos.

De los estudios que defienden que los niños recuperan antes que los adultos tras realizar ejercicios anaeróbicos, hay una corriente más tradicional que ha achacado a este hecho, a la menor implicación de las vías energéticas glucolíticas^{52,54} generalmente atribuida a esta población, sin embargo, hay autores que a parte de haber considerado esta teoría de la “inmadurez anaeróbica glucolítica”, lo han relacionado con una capacidad superior de eliminación de metabolitos con el ejercicio, debido en parte a una distancia de difusión más corta entre los músculos y los capilares en los niños⁵¹. Beneke et al¹²¹ analizaron la cinética de lactato sanguíneo en niños, adolescentes y adultos en condiciones de ejercicio máximo de corta duración, y han establecido que las diferencias relacionadas con la edad es improbable que refleje diferencias en el lactato muscular, pero en parte refleja una eliminación más rápida fuera del compartimento sanguíneo.

Para comparar la concentración de lactato sanguíneo entre los distintos grupos de edad y poder eliminar el efecto del crecimiento y maduración por un lado y por otro analizar su comportamiento durante el crecimiento en estas edades, hemos establecido la relación entre la concentración de lactato sanguíneo al finalizar el ejercicio y la masa corporal. Esta relación ha tendido a descender con la edad, mostrándose más acusado el descenso en los sujetos de sexo femenino, ya que se han dado diferencias significativas entre los grupos de 8 y 9; 10 y 11; y 7 y 12 años. En cambio, no se han observado diferencias significativas en los sujetos de sexo masculino, aunque siguen este comportamiento. Las diferencias en relación al sexo solo se han observado a la edad de 8 años. No hemos encontrado algún estudio que haya establecido esta relación con el lactato sanguíneo y la masa corporal, sin embargo, si está generalmente establecida para otros parámetros, tanto de forma física como de rendimiento (VO_{2pico}/kg , $P_{pico}/kg...$) por tanto hemos considerado interesante realizar este análisis. Nuestros resultados van en contra del pensamiento tradicional existente acerca del aumento de las concentraciones de lactato sanguíneo con la edad, sin embargo el comportamiento que ha seguido, se asemeja más al comportamiento de otros parámetros, como el VO_{2pico}/kg .

De manera similar hemos establecido la relación entre el valor de las concentraciones de lactato sanguíneo y el rendimiento máximo alcanzado (P_{pico}) durante el ejercicio. Así, se ha intentado analizar y comparar el lactato sanguíneo alcanzado por unidad de potencia desarrollada durante el crecimiento y en relación al sexo. De nuevo, no hemos encontrado otro trabajo en la literatura revisada que haya utilizado esta relación, pero está demostrado que la potencia máxima aumenta con la edad, y los resultados de este estudio apoyan esta idea. Por otro lado, si las concentraciones de lactato sanguíneo aumentaran también con la edad, debido a la maduración de la vía metabólica anaeróbica glucolítica, como es habitual encontrar en la literatura, la relación entre el lactato sanguíneo y la P_{pico} desarrollada, se mantendría constante, pero el incremento de la P_{pico} durante el crecimiento y la maduración es muy superior al aumento del lactato sanguíneo pico¹⁰¹. Nuestros resultados demuestran que esta relación desciende con el crecimiento en la edad escolar de manera significativa, en ambos sexos, siendo este descenso más acusado en los sujetos de sexo femenino, ya que a parte de existir diferencias entre el primer y último grupo de edad, también se han encontrado entre los 8 y 9; y 9 y 10 años. Esta diferencia encontrada en el sexo femenino respecto al sexo masculino, puede deberse a las diferencias en el grado de actividad física, que ha sido superior en el sexo masculino.

Las diferencias en relación al sexo, han mostrado un comportamiento idéntico al parámetro anterior (mmol/kg), estableciéndose dicha diferencia a los 8 años.

Por tanto, estos resultados confirman los dos primeros puntos de la Hipótesis planteada, ya que, por un lado, apoyan la teoría actualmente más seguida por numerosos autores, que otorga a los factores neuromusculares, hormonales y de mejora de la coordinación motora¹⁰¹, la causa de las diferencias en el desarrollo del rendimiento anaeróbico entre la población infantil y los adolescentes y adultos.

Por otro lado, nuestro segundo planteamiento respecto a las concentraciones más bajas de lactato en sangre informadas habitualmente en los niños en relación con los adultos, ha sido justificarlo con la utilización de tests que limitan la capacidad de trabajo debido a factores neuromusculares en la población infantil, por lo que el lactato sanguíneo acumulado al final de una prueba progresiva hasta el agotamiento debía ser similar al de los adultos.

Una vez encontrado que los valores de lactato sanguíneos al finalizar la prueba se han mantenido constantes, y por otro lado, la tendencia tanto del lactato final relativo a la masa corporal, como a la P_{pico} alcanzada, ha sido descender durante el crecimiento, podemos pensar que al alcanzar la madurez, los valores de lactato sanguíneo relativos a la masa corporal y a la P_{pico} desarrollada, desciendan. Para comprobar esto, hemos comparado los resultados obtenidos en este trabajo con una muestra de adultos de sexo masculino atletas, cuyos resultados se exponen en el siguiente apartado.

5.7. Estudio comparativo de los valores de las concentraciones de lactato sanguíneo en la población infantil analizada en este trabajo comparada con un grupo sujetos atletas (ciclistas y triatletas) de sexo masculino.

De los resultados obtenidos en este trabajo y la revisión realizada, podemos pensar que al llegar a la madurez, la concentración de lactato por unidad de masa corporal y potencia pico desarrollada, disminuyan, siguiendo la tendencia observada durante el crecimiento en esta muestra. Para comprobar esto, hemos seleccionado una muestra de 18 hombres adultos de $25,1 \pm 3,2$ años, deportistas profesionales (ciclistas y triatletas) que ya habían sido medidos en el mismo centro, bajo las mismas condiciones, usando el mismo protocolo de ejercicio, en cicloergómetro, con la diferencia de que empezaban a una intensidad mayor (50 W) y los incrementos de carga por minuto eran superiores (25 W/min).

Se han encontrado diferencias significativas en todos los parámetros antropométricos medidos (masa corporal y talla) así como en el $VO_{2\text{pico}}$ tanto absoluto como relativo y P_{pico} desarrollada entre niños y niñas de todas las edades y el grupo de adultos (ver Tabla 46). Los valores de lactato finales han sido similares entre la población infantil y el grupo de adultos, sin embargo, al relativizar por la masa corporal y la potencia desarrollada, los niños son capaces de producir el doble de lactato por unidad de masa corporal y el triple por unidad de potencia pico desarrollada que el grupo de adultos atletas (ver Tabla 46). Por tanto, estos resultados han confirmado la tendencia descendente de estos parámetros observada durante el crecimiento en las edades de 7 a 12 años, siendo más acusada incluso al compararlos con los adultos.

Estos resultados, nos hacen pensar que los niños y niñas de estas edades, son capaces de producir valores similares de lactato sanguíneo que la población adulta, pero la tasa de eliminación mediante el Ciclo de Cori, debe ser superior, de ahí las diferencias que se encuentran en los estudios que comparan a la población infantil con una población adulta sedentaria o de atletas de velocidad o potencia. Por tanto, los niños parecen ser más eficaces en tareas de carácter anaeróbico, ya que la mayor producción de lactato en esta población tanto en relación a la masa corporal como a la potencia pico alcanzada, sugieren una participación relativa mayor de las vías anaeróbicas en la generación de la potencia muscular total^{cxiii}.

Debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de interpretar los datos de los distintos estudios referentes a las diferencias en los valores de lactato entre la población infantil y adulta:

- En primer lugar, debemos partir de la base de que la concentración de lactato después del ejercicio es un indicador cualitativo del grado de estrés del metabolismo anaeróbico mediante un ejercicio particular, más que una medida cuantitativa de la glucólisis anaeróbica⁴².
- En segundo lugar, hay que tener en cuenta que los estudios realizados para comparar las concentraciones de lactato sanguíneo entre niños prepúberes y adultos que han utilizado protocolos de distintas duraciones, han encontrado que las diferencias se reducen al aumentar la duración del test²³, encontrando similitudes en estos valores.
- En tercer lugar, entre los adultos, también se observan diferencias entre deportistas de resistencia y velocidad, alcanzando valores de lactato máximos significativamente superiores, los últimos en relación a los primeros^{cxxiv}, al utilizar tests de potencia anaeróbica, pero al desarrollar test de potencia aeróbica máxima con determinaciones de lactato sanguíneo finales, los valores son similares entre los distintos grupos.

Por tanto, al aumentar la duración de los tests, y al relativizar el lactato entre las diferencias relacionadas con el crecimiento y el rendimiento, observamos que estas diferencias no solo desaparecen, tanto en adultos con distintos grados de entrenamiento, como entre adultos y niños, sino que son superiores en los niños.

A parte, existen otras similitudes entre la población infantil y la población adulta, así, por un lado y a pesar de alcanzar concentraciones de lactato sanguíneo más bajas que los adultos, el nivel de esfuerzo percibido es similar, durante el ejercicio relativo al umbral ventilatorio, en niños prepúberes y adultos^{cxxv}. Por otro lado, la recuperación activa también disminuye antes los valores de lactato sanguíneo después de un ejercicio intenso, en los niños los niños, al igual que en los adultos⁹⁴.

5.8. Análisis de los estudios que inspiraron la teoría de “la inmadurez anaeróbica glucolítica en la población infantil”.

Al analizar los estudios realizados inicialmente que postularon que los niños alcanzaban menores concentraciones de lactato sanguíneo y muscular tras realizar un ejercicio submáximo y máximo comparados con adultos, observamos por un lado, que los valores en niños varían ampliamente según los trabajos, siendo estos valores de 5,7 y 6,8 mmol/L en el trabajo de Robinson, en niños de 10,4 y 14,1 años. Åstrand, encontró valores de 9,2 y 8,7 mmol/L en niños de 10 a 11 y de 12 a 13 años. Estos datos están recogidos en el trabajo de Eriksson¹⁹, corresponden a un ejercicio en tapiz pero no se detalla el protocolo utilizado por cada autor.

Eriksson et al³⁰, sometieron a 8 niños sanos de 13,6 años, a un ejercicio progresivo máximo en cicloergómetro (tardando 6 minutos hasta el agotamiento) a 300-600-900 kpm/min hasta el máximo 900-1350 kpm/min. Se realizaron biopsias musculares (vasto lateral) en reposo y después de cada carga de trabajo, para determinar las concentraciones de glucógeno, glucosa-6-fosfato, lactato, ATP y CP. La concentración de lactato sanguíneo se tomó a la vez que se realizaban las biopsias musculares. Los resultados obtenidos tanto del VO_{2max} como de la FC_{max} al finalizar la prueba, fueron de 2,57 L/min; 50 ml/kg/min y 195 s.p.min. Se observó que la concentración de ATP pasó de 5,0 a 3,9 mmol/kg desde el reposo al máximo. Así mismo, el valor de la CP cayó de 17,0 mmol/kg en reposo, hasta 4,9 mmol/kg en el máximo. El nivel de glucógeno muscular pasó de ser 69 mmol de glucosa/kg de músculo en reposo a 34 mmol/kg en el máximo.

Respecto a la concentración de lactato muscular y sanguíneo encontrada en estos niños, hay que señalar que solo se dieron los datos de lactato muscular, que pasaron de los 1,3 mmol/kg en reposo, a la media de 11,3 mmol/kg al finalizar el ejercicio.

Ante estos resultados, los autores aportaron por un lado, que la reducción de los depósitos de fosfágenos con el ejercicio fue muy similar en el grupo de niños con los adultos. Por otro lado, señalaron que existían diferencias sorprendentes en las concentraciones de lactato, tanto sanguíneo como muscular, entre niños y adultos y que los valores de lactato sanguíneo en niños eran muy similares a los obtenidos por

Åstrand, para el mismo rango de edad y parecía que la causa de estos valores más bajos, se debían a una producción menor de lactato. Se apuntó que en adultos existía una buena correlación entre el déficit de oxígeno al comienzo de un ejercicio fuerte y la concentración de lactato, para comparar esta hecho en niños se determinó el déficit de oxígeno en 4 de ellos. Los resultados mostraron que existía también una buena correlación entre el déficit de oxígeno y la concentración de lactato muscular en estos. Quizás, uno de los datos más importantes que se obtuvieron en este trabajo, fue la correlación significativa que se encontró entre el lactato muscular máximo obtenido y los índices de volúmenes testiculares, que llevaron a sugerir a estos autores “que la maduración sexual de estos sujetos ejerció una influencia en la producción de lactato”.

Debemos señalar algunos aspectos que nos hacen pensar que estos resultados hay que analizarlos con precaución y no se deben extraer conclusiones definitivas, ya que el tamaño de la muestra era tan solo de 8 niños, con unas diferencias muy grandes tanto en edad (de 13,1 a 14,8 años) como en las características antropométricas que presentaban (de 153 a 173 cm de altura y de 39,7 a 63,9 kg de peso corporal). Quizás, la diferencia más importante sea la existente en la maduración sexual de estos niños. La medida utilizada fue el índice de volumen testicular, cuyos valores oscilaron entre los 5,3 y los 15,8 cm³.

Esto hace que las diferencias tan “sorprendentes” obtenidas en las concentraciones de lactato muscular, que variaban de los 6,3 a los 14,6 mmol/kg, vayan acorde con estas diferencias antropométricas y de maduración sexual observadas. Por otro lado, los autores señalaron los bajos valores obtenidos de lactato sanguíneo, sin embargo, estos datos no se aportaron, y si fueron similares a los obtenidos por Åstrand, para niños de 13 años, estos deben ser del orden de 8,7 mmol/L.

Por tanto, nos parece atrevido pensar que la relación existente entre los mayores valores de lactato muscular y los mayores índices de volumen testicular, responda a una inmadurez del metabolismo anaeróbico y su consecuencia en estos niños sea una menor producción de lactato. Sobre todo, si no se tienen en cuenta aspectos como las diferencias antropométricas (de peso y altura) y fundamentalmente aquellos factores que influyen en el desarrollo de la potencia, como son las diferencias de masa muscular, la maduración sexual y hormonal, que sin duda, deben determinar en parte los resultados obtenidos.

Un segundo trabajo de éste grupo³¹ debe ser analizado en profundidad, ya que fue el estudio que determinó la causa de la inmadurez anaeróbica láctica en los niños, y asentó posteriormente esta idea. Se realizó con un doble objetivo, por un lado determinar la actividad de la enzima PFK en la musculatura esquelética en niños y por otro, examinar los efectos del entrenamiento en el metabolismo de la musculatura esquelética en niños de 11 a 13 años. El trabajo consta de dos series o experimentos distintos:

- La serie I consistió en una muestra de 8 niños de 11 a 13 años que participaron en un programa de entrenamiento de 4 meses, en el que el protocolo de entrenamiento consistía en tres sesiones semanales de 60 minutos de duración cada una, en las que incluían 5-10 minutos de calentamiento en suelo, 15-25 minutos de carrera interválica, baloncesto y fútbol. Las biopsias musculares fueron tomadas del vasto lateral en reposo y tras el esfuerzo (tres cargas de 4 minutos con 15 minutos de recuperación), antes y después de 4 meses de entrenamiento. Se analizó el glucógeno, piruvato, lactato, ATP, CP, glucosa y glucosa-6-fosfato.

Los resultados de este experimento muestran que los niños aumentaron su VO_{2max} en un 15%; que los valores de lactato sanguíneo al final del ejercicio durante el trabajo máximo y submáximo, fueron menores pero paralelos a los valores medios de lactato muscular (4,8 y 5,9 mmol/L antes y después del entrenamiento respectivamente); que el ATP muscular no varía significativamente y que el lactato muscular sólo varía significativamente en esfuerzo máximo (8,8 y 13,7 mmol/kg antes y después del entrenamiento).

- La serie II del estudio consistió en una muestra de 5 niños de 11 a 13 años que desarrolló un programa de entrenamiento de 6 semanas consistente en 3 sesiones semanales de 20 minutos en bicicleta. Se realizó una biopsia muscular en reposo antes y después de 2 y 6 semanas de entrenamiento. Los resultados mostraron que el VO_{2max} se incrementó en un 8%; los valores medios de PFK (micromol/g/min) fueron: 8,42 antes del entrenamiento; 12,46 a las 2 semanas y 15,41 a las 6 semanas de entrenamiento. El valor en adultos aproximadamente es de 15 – 20 micromol/g/min.

Para los autores, el bajo lactato sanguíneo de los niños de 11 a 13 años comparado con adultos, tanto en reposo como después de un trabajo submáximo, concuerda con datos aportados anteriormente^{21,30}. En contraste con el músculo, el lactato sanguíneo, tiende a ser menor a mayores cargas de trabajo después del entrenamiento. Esto debe ser el resultado de una mayor extracción de lactato por otros tejidos o por una diferente tasa de producción y utilización de los diferentes tipos de fibras en el músculo en ejercicio.

Al analizar el trabajo, debemos hacer mención de nuevo al tamaño de la muestra (8 niños en la serie I y 5 en la II), aspecto que los propios autores tienen en cuenta cuando analizan el cambio del tipo de fibras después del entrenamiento en la serie II, de forma que no exponen una conclusión debido a los “pocos sujetos y pequeña muestra estudiada”. En realidad, en el trabajo se están comparando dos experimentos distintos realizados en momentos y en situaciones diferentes. Así, en la muestra de la serie I se produce un cambio madurativo importante durante los 4 meses que dura el experimento, pasando de un volumen testicular de 5,3 a 8,7 cm³, y esto no es tenido en cuenta en las conclusiones. Los protocolos de entrenamiento no parecen adecuados a efectos comparativos, ya que la serie I utiliza lo que parece ser una clase escolar de Educación Física, mientras que la serie II realiza 20 minutos de pedaleo tres veces en semana, sin detallar la intensidad.

Por otro lado, los datos recogidos en las biopsias no son homogéneos, de forma que en la serie I no se analiza la actividad enzimática de la PFK, mientras que en la serie II no se estudia el glucógeno, lactato, ATP, CP, glucosa y glucosa-6-fosfato.

En cuanto a los valores de lactato muscular, debemos analizar varios aspectos: los valores de lactato muscular de la serie I, varían de 10 mmol/kg hasta 17 mmol/kg, después de acabar el periodo de entrenamiento y tras realizar una prueba máxima. Ante estos valores, nos parece atrevido afirmar que son bajos. Por otra parte, los valores de lactato sanguíneo y muscular obtenidos antes y después del entrenamiento, tanto en reposo como durante un ejercicio a distintas cargas de trabajo, aumentan después del entrenamiento y durante el ejercicio, pero los valores sanguíneos siempre son menores (la mitad aproximadamente) a los valores obtenidos en el músculo.

Respecto a la enzima PFK en la serie II, los autores dan los valores promedios, pero dado el pequeño tamaño de la muestra, deberíamos fijarnos en el rango de valores (expresados en micromol/g/min):

- 6,05 - 19,76 (antes del entrenamiento).
- 9,68 - 14,72 (a las 2 semanas de entrenamiento).
- 10,21 - 18,78 (a las 6 semanas de entrenamiento).

Si se analizan estos valores en comparación con los esperados en adultos (15 – 20 micromol/g/min) se puede concluir fácilmente que con cinco casos es muy arriesgado afirmar que los niños muestren una reducida actividad de la enzima PFK, considerada en este estudio como una medida de la “capacidad anaeróbica”. Además, la alta actividad de la PFK después del entrenamiento, en el segundo experimento, sugiere que el entrenamiento incrementa la actividad glucolítica de la musculatura esquelética en niños en un 83%, frente a un 30% de incremento de la actividad enzimática oxidativa (SDH), por tanto, choca pensar que una vía metabólica “inmadura” pueda aumentar tanto después de un entrenamiento.

Estos trabajos, contrariamente a lo que se ha propuesto hasta ahora, muestran que los valores de lactato sanguíneo obtenidos en niños, aparte de variar significativamente de unos a otros, según el protocolo y duración utilizados, no son tan distintos a los obtenidos en adultos y han servido de base a planteamientos dudosos, probablemente siendo mal interpretados.

Paralelamente a este análisis, debemos revisar los trabajos iniciales que tomaron muestras de lactato sanguíneo y muscular en adultos, que sirvieron de referencia para compararlos con los valores obtenidos en niños, en los que también encontramos una gran variabilidad en los resultados obtenidos. Esto lo demuestran los siguientes estudios:

Karlsson y Saltin¹⁰, en 1970, someten a 3 hombres, estudiantes de 25,6 años de media y con un VO_{2max} de media de 4,36 L/min, a un test máximo en cicloergómetro a tres cargas máximas distintas de trabajo (la más dura a 2,350 kpm/min y con una duración media de 2,39 minutos; la intermedia a 1,897 kpm/min y con una duración de

6,31 minutos y la más suave a 1,630 kpm/min durante 16,5 minutos). Se tomaron muestras de lactato muscular, y lactato sanguíneo, tanto al finalizar la prueba, como durante la recuperación (lactato pico). Los resultados obtenidos durante la carga más dura, de lactato muscular fueron 16,1 mmol/kg y de lactato sanguíneo inmediatamente al finalizar fueron 6,7 mmol/L (6,3, 6,3, 7,4), y durante la recuperación (lactato sanguíneo pico) 13,4 mmol/L (13,0-13,9). Los resultados obtenidos en la carga intermedia de lactato muscular y sanguíneo al finalizar fueron 16,0 mmol/kg y 11,5 mmol/L (9,7, 11,4, 13,5) y durante la recuperación: 13,3 mmol/L (12,4-15,2). Tras la carga más suave la media de lactato muscular fue de 12,0 mmol/kg y los valores de lactato sanguíneo, tanto al finalizar, como durante la recuperación, fueron 9,1 mmol/L (8,3, 9,3, 9,8).

Karlsson et al¹¹, en 1971, sometieron a 28 hombres (13 estudiantes de Educación Física de 24 años y 15 soldados no entrenados de 20 años) a un test máximo en cicloergómetro a dos cargas (una submáxima al 77% del VO_{2max} durante 6 minutos y después de 10 minutos de descanso, una carga máxima de 2-3 minutos). Se realizaron biopsias musculares en la parte lateral del cuádriceps y se tomaron muestras de lactato sanguíneo, en todas las cargas de trabajo y al finalizar. Las concentraciones máximas de lactato muscular fueron de $22,7 \pm 1,6$ y $16,9 \pm 0,7$ mmol/kg, para el grupo de estudiantes y soldados respectivamente. Y los valores de lactato sanguíneo máximo alcanzaron los $14,6 \pm 0,6$ y $12,3 \pm 0,7$ mmol/L en el grupo de estudiantes y soldados respectivamente. Según los autores, las diferencias encontradas en las concentraciones de lactato muscular obtenidas por ambos grupos, “podrían explicarse por una mayor motivación y adaptación al rendimiento”. En ningún momento, se plantearon un menor metabolismo anaeróbico.

Al año siguiente, Karlsson et al⁹, llevan a cabo un entrenamiento con 14 de los militares del trabajo anterior, y las concentraciones de lactato muscular y sanguíneo obtenidas a los tres y siete meses del periodo de entrenamiento, fueron $14,8 \pm 1,0$ y $19,3 \pm 0,9$ mmol/kg y $11,8 \pm 0,8$ y $11,6 \pm 0,6$ mmol/L respectivamente.

Komi et al⁸⁴ comparan parejas de gemelos jóvenes, hombres y mujeres con una edad media de 17,8 y 19,4 años respectivamente, tras realizar un test máximo en tapiz,

los valores de lactato sanguíneo máximo obtenidos fueron $8,8 \pm 2,6$ y $6,4 \pm 2,2$ mmol/L en hombres y mujeres respectivamente.

Así, las concentraciones de lactato sanguíneo obtenidas en estos trabajos en sujetos adultos varían de los $8,8 \pm 2,6$ ⁸⁴, hasta los $14,6 \pm 0,6$ ¹¹ mmol/L. Estos datos, son similares a los obtenidos en niños en algunos estudios, que varían de los $8,0$ ¹⁹ mmol/L a los $13,1 \pm 2,6$ ⁷⁵ mmol/L.

Respecto a los valores de lactato muscular, a pesar de los pocos datos existentes en niños, estos, alcanzaron valores de $11,3$ ³⁰ mmol/kg (de 6,3 a 14,6 mmol/kg) y 8,8 mmol/kg en niños sedentarios y $13,7$ ³¹ mmol/kg (de 10 a 17 mmol/kg) después de un periodo de entrenamiento. Los valores obtenidos en adultos, varían según los protocolos utilizados, por ejemplo, de $12,0$ ¹⁰ mmol/kg (de 10,8 a 13,3 mmol/kg) al realizar un test máximo con una carga suave y una duración media de 16,5 min, hasta los 16,1 mmol/kg (de 14,4 a 18,4 mmol/kg) alcanzados en un test máximo a una carga elevada y 2,39 min de duración. En otro estudio, se alcanzaron concentraciones de $22,7 \pm 1,6$ y $16,9 \pm 0,7$ ¹¹ mmol/kg, en hombres entrenados y sedentarios respectivamente.

5.9. Interpretación de los estudios enzimáticos y relación con los resultados obtenidos en este trabajo.

Una explicación a los resultados enzimáticos contradictorios encontrados desde los años 80 en el metabolismo muscular en niños y adolescentes, y de los que no se han obtenido conclusiones que den una respuesta satisfactoria, podría ser la siguiente:

Los niños y adolescentes, durante el periodo de crecimiento, se caracterizan por un lado, por tener un menor contenido de glucógeno muscular y por otro lado por estar en un continuo proceso de crecimiento de sus tejidos y órganos. El aporte energético procedente de la degradación de los depósitos de glucógeno muscular no resulta suficiente para las necesidades anabólicas y catabólicas de esta población durante el ejercicio, por tanto, tienen que ser otras rutas metabólicas las que aporten esta energía.

Aunque tradicionalmente se le ha asignado a la población infantil una actividad enzimática glucolítica (PFK) menor y una actividad enzimática oxidativa (SDH) mayor comparada con los adultos^{31, 67}, otros estudios muestran resultados contrarios tanto en estas enzimas⁷⁰ como en otras^{68,69,88,89}. Puesto que la PFK es la enzima limitante de la glucólisis y los datos que normalmente se han analizado en la literatura parecen ser contradictorios, hay un estudio sobre el metabolismo fetal^{cxvii}, que analiza 166 especímenes musculares de 65 fetos y 55 especímenes musculares de 53 niños de 0 a 10 años. Se analizó la actividad enzimática de la PFK y SDH, encontrando que la actividad de la PFK fue menor durante la gestación, pero alrededor de las 25 semanas de gestación el valor medio fue de 3-4 mmol/kg/min y en el parto el valor alcanzó los 7 mmol/kg/min. Durante el primer y los 5 años de vida, la actividad de la PFK alcanzó los 11-12 mmol/kg/min, según aporta la autora¹²⁶, estos valores son similares a los de los adultos. La actividad de la SDH, fue más baja, durante la gestación y el parto.

Por tanto, de los datos que ofrecen los estudios sobre metabolismo fetal, podemos deducir que una de las vías metabólicas con gran activación sería el aporte energético y de sustratos (glucógeno hepático y muscular) continuo procedente del Ciclo de Cori. De esta forma, el lactato generado a través del metabolismo anaeróbico glucolítico, se utilizaría en el hígado para formar glucógeno hepático y a través de la sangre, iría de nuevo al músculo. Esto, explicaría los menores niveles de lactato

sanguíneo y muscular encontrados en algunos estudios, sobretodo, aquellos que utilizan pruebas de potencia anaeróbica.

Por otro lado, se han encontrado mayores niveles tanto de actividades enzimáticas procedentes del metabolismo de los aminoácidos, como de urea y GOT en niños y adolescentes. Estos resultados, tuvieron una interpretación, en la que los autores lanzaban la hipótesis de “la mayor importancia de la gluconeogénesis durante ejercicios de larga duración”, Aunque también señalaron otro aspecto que daba explicación a la mayor utilización del metabolismo de los aminoácidos, la incrementada síntesis proteica a esta edad.

Nosotros pensamos que la implicación del metabolismo de los aminoácidos, tiene dos funciones en los niños y adolescentes. La primera función es la gluconeogénica, en la que a partir de la alanina, se formaría piruvato, y este a su vez, generaría glucógeno muscular. La gluconeogénesis a partir de la alanina, es un mecanismo auxiliar del Ciclo de Cori, y una fuente de glucógeno muscular que apoya nuestra hipótesis de una mayor activación del Ciclo de Cori en los niños. La otra función, es la síntesis proteica, que sería más acusada durante la adolescencia, debido al mayor crecimiento muscular y mayores niveles de hormonas que lo estimulan en estas edades. Por tanto, quedarían explicados los resultados obtenidos en los estudios que encontraron mayores actividades enzimáticas del metabolismo de los aminoácidos.

Aunque numerosos autores han apoyado la hipótesis de una predominancia del metabolismo de los ácidos grasos mediante el ciclo de Krebs en niños y adolescentes para la obtención energética durante el ejercicio, en contra de un inmaduro metabolismo glucolítico, esta teoría choca en primer lugar con la evidencia del metabolismo fetal con predominancia anaeróbica láctica. Y en segundo lugar con la naturaleza propia de este proceso y por otro lado con la actividad característica de los niños.

Está demostrado, que la contribución energética de las grasas depende de varios factores, entre ellos, el estado nutritivo de la persona, el estado de forma física, la intensidad y la duración del ejercicio y el flujo sanguíneo. Así, las grasas intra y extracelulares pueden proporcionar desde el 30 al 80% de la energía.

Por tanto, una persona para poder utilizar un mayor porcentaje de grasas durante el ejercicio, debe reunir unos requisitos. La intensidad del ejercicio para poder oxidar los ácidos grasos, debe ser baja y la duración prolongada. En el ejercicio ligero y moderado, la utilización de las grasas, varía con el flujo sanguíneo que recibe tanto el tejido adiposo como el músculo activo. El tejido adiposo libera más ácidos grasos libres (a.g.l.) para el suministro a los músculos activos, siendo la contribución energética de los triglicéridos intramusculares probablemente entre un 15 y 35%. Para aumentar este porcentaje de utilización de triglicéridos intramusculares, es necesario un entrenamiento de resistencia.

Hay otro factor importante que interviene en la utilización de las grasas, y es la disponibilidad de los hidratos de carbono, ya que la degradación de los ácidos grasos depende en parte de la degradación continua de los hidratos de carbono, que mediante la obtención de piruvato, a través de la glucólisis, se obtiene oxalacetato. Este compuesto es imprescindible para el correcto funcionamiento del ciclo de Krebs, ya que el acetil-CoA, entra en el ciclo al combinarse con el oxalacetato para formar citrato. Por tanto el agotamiento de los hidratos de carbono intramusculares, hace disminuir la actividad del ciclo de Krebs. Y los niños y adolescentes se caracterizan por tener menores depósitos de glucógeno muscular.

Por otro lado, se sabe que el Ciclo de Krebs proporciona intermediarios para la síntesis de bionutrientes que se utilizan para el mantenimiento y el crecimiento del organismo. Así, los hidratos de carbono sobrantes, proporcionan glicerol y fragmentos de acetilo para sintetizar triglicéridos. El acetil-CoA, actúa también como punto de partida para la síntesis de colesterol y numerosas hormonas. La mayoría de los compuestos carbonados que se forman en las reacciones del Ciclo de Krebs, proporcionan puntos de partida orgánicos para la síntesis de aminoácidos no esenciales, como la alanina. Ésta, una vez en el músculo, pasa a través de la sangre al hígado, donde forma piruvato y posteriormente forma glucógeno muscular.

Por tanto, sería más lógico pensar que en los niños, la utilización de los ácidos grasos mediante el ciclo de Krebs, tiene una función más de fábrica metabólica cuyo objetivo sería el crecimiento orgánico, que de obtención de energía para el ejercicio. Esta idea estaría apoyada por los resultados de los estudios enzimáticos, en los que las

enzimas limitadores del ciclo de Krebs son similares a las obtenidas en adultos, por tanto, no indica una mayor actividad en los niños.

Otro aspecto importante a señalar, que apoya nuestra hipótesis, sería la función gluconeogénica del glicerol. Esta función aportaría glucógeno muscular en los niños, y explicaría la alta actividad enzimática mostrada en niños y adolescentes, es el proceso de gluconeogénesis mediante el aporte de glicerol procedente de los triglicéridos.

Además, la función gluconeogénica del glicerol es importante cuando se agotan las reservas de glucógeno. Una molécula de glicerol, procedente de una molécula de triglicérido, aporta, por un lado, 19 moléculas de ATP durante su degradación por glucólisis. Esto genera energía inmediata para la contracción muscular y mayor cantidad de piruvato y lactato que posteriormente se convierte en glucógeno muscular mediante el ciclo de Cori.

El catabolismo de los triglicéridos, además, genera tres moléculas de ácidos grasos. Estas moléculas de ácidos grasos, mediante la beta-oxidación y su posterior implicación en el ciclo de Krebs, producen 441 moléculas de ATP, que irían destinadas a la función anabólica orgánica y tisular continua que existe en los niños.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES.

Hemos realizado una revisión crítica de los estudios que defienden la inmadurez de las vías anaeróbicas glucolíticas en la población infantil, que a su vez, explicaría las diferencias encontradas en dicha población con el crecimiento y la maduración, en numerosos aspectos. Después de desmenuzar objetivamente cada uno de estos aspectos, encontramos numerosos interrogantes y esta teoría propuesta de la inmadurez de la vía metabólica, no satisface desde hace tiempo las dudas planteadas como han dejado constancia ya numerosos autores.

Pensamos que el error de base, ha sido de tipo metodológico, ya que no se han considerado las diferencias neuromusculares durante el ejercicio máximo entre la población infantil y adulta, por tanto, hemos utilizado un protocolo de ejercicio progresivo hasta el agotamiento con pequeños incrementos de la carga para no condicionar la musculatura de esta población y por consiguiente, obtener una información más ajustada a nivel metabólico durante el ejercicio.

Esto nos ha llevado a establecer unos objetivos e hipótesis de partida, aunque parezcan arriesgados y controvertidos, pensamos que, puedan dar una explicación menos sesgada y más ajustada a la realidad, permitiendo ofrecer las siguientes conclusiones:

1. El estudio de la tasa de intercambio respiratorio indica que los niños y niñas de este estudio utilizan los hidratos de carbono como combustible metabólico principal desde comienzos del ejercicio, siendo el consumo de grasas muy escaso y de breve duración, en contradicción con los datos que aporta la literatura habitualmente.
2. El análisis ventilatorio muestra una fase isocápnica mantenida durante todo el ejercicio en la muestra completa, lo que podría indicar un tamponamiento constante durante el ejercicio en niños.
3. El análisis ventilatorio, junto con las concentraciones de lactato sanguíneo, muestran que los sujetos de estas edades, no poseen una inmadurez de la vía

metabólica anaeróbica glucolítica, por lo que queda confirmada la hipótesis de partida a este respecto.

4. El comportamiento de la ventilación en la muestra estudiada es muy similar al observado en la población adulta, sin diferencias entre edades ni sexo, excepto en el tiempo de duración del ejercicio. Por tanto, la población infantil aquí estudiada presenta una eficacia de ventilación similar a la de los adultos.
5. Los valores de las concentraciones de lactato sanguíneo al finalizar el ejercicio obtenidos en este trabajo, se mantienen constantes con el crecimiento. Sin embargo, presentan un comportamiento descendente al relativizarlo por la masa corporal y la potencia desarrollada durante el ejercicio, siendo este último parámetro más acusado. Este hecho, contradice la idea de la inmadurez de la vía metabólica glucolítica en esta población.
6. Al comparar estos parámetros (mmol/L; mmol/kg y mmol/W) entre la muestra estudiada en este trabajo y la muestra de sujetos adultos atletas, se observa que los niños presentan una ventaja clara para generar lactato en relación, tanto a la masa corporal como por unidad de potencia. Por tanto, al llegar a la madurez, parece que disminuye la producción de lactato por unidad de masa corporal y potencia desarrollada.
7. Parece ser que los niños son más eficaces metabólicamente al desarrollar tareas de carácter anaeróbico.
8. Estos datos confirman la hipótesis planteada que otorga a otros factores de índole neuromuscular, hormonal y de mejora de la coordinación, la causa de las diferencias encontradas entre niños y adultos habitualmente en tests de potencia muscular.
9. Hemos encontrado valores de $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$ superiores en niños respecto a los valores de las niñas, con diferencias significativas a los 8, 9 y 12 años, siguiendo esta tendencia a los 11 años. Esto apoya la línea de los estudios

que encuentran diferencias de sexo (superiores en el sexo masculino) en los valores de $VO_{2\text{pico}}/\text{kg}$.

10. La respuesta de la FC en el ejercicio máximo muestra un comportamiento bastante uniforme en los grupos y sexos.
11. El comportamiento de la relación particular de la FC y el VO_2/kg confirma que la FC no tiene capacidad predictiva sobre el VO_2/kg de forma individual en sujetos sanos de estas edades, sin embargo, si se puede utilizar la FC como un indicador del VO_2/kg considerando valores promedios por grupos de edad.
12. No es necesario la utilización de un test de potencia muscular para obtener concentraciones de lactato sanguíneo similares a la de los adultos en niños.
13. La tendencia ascendente de la potencia pico con el crecimiento, se mantiene en esta población con el protocolo de ejercicio utilizado.
14. Se observan diferencias significativas en numerosos parámetros entre los grupos de 9 y 10 años, predominantemente en el sexo femenino, compartiendo este comportamiento el sexo masculino en los grupos de 10 y 11 años. No hemos encontrado ninguna explicación lógica a este hecho.
15. Las diferencias significativas entre sexos se observan habitualmente a los 8 y 9 años, y en menor medida a los 10 y 12 años.
16. Las diferencias de potencia relacionadas con el sexo, las hemos encontrado a los 7, 8, 9 y 12 años. La literatura tradicionalmente las sitúa en torno a la pubertad, pero debido a que no hemos utilizado un test de potencia muscular, no debemos dar una interpretación a esta diferencia.
17. Los estudios que han establecido la idea de la “inmadurez anaeróbica glucolítica en los niños” plantean numerosos interrogantes, sobre todo, de

tipo metodológico...por tanto no debemos extraer conclusiones definitivas ya que, a nuestro juicio, esta teoría no demuestra los resultados observados.

18. Los estudios enzimáticos, por un lado, no demuestran que los niños posean una actividad enzimática glucolítica (PFK, entre otras) deficiente respecto a los adultos. Por otro lado, aportan datos contradictorios respecto a los valores de las actividades de las distintas enzimas.
19. La evidencia hace pensar que en los niños, la utilización de los a.g.l. mediante el Ciclo de Krebs, tiene una función de fábrica metabólica para el crecimiento orgánico, más que de obtención de energía para el ejercicio, ya que las enzimas de dicho ciclo no son superiores en la población infantil.
20. La lectura que hemos hecho de estos resultados enzimáticos es que el Ciclo de Cori, representa en esta población una vía metabólica con una gran actividad y un continuo aporte energético.

*7. PERSPECTIVAS
FUTURAS DE
INVESTIGACIÓN.*

7. PERSPECTIVAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.

El campo de la Fisiología del Ejercicio Físico en la población infantil y escolar presenta numerosas lagunas debido a diversas causas, principalmente de índole metodológica, ética, y en ocasiones se parte de supuestos sin base científica que lo sustente. Por tanto, es necesario plantear estudios que no partan de ideas ya preconcebidas.

Entre futuros estudios que podrían derivar de este trabajo, se plantean los siguientes:

- Estudiar las curvas de cinética de lactato durante el ejercicio en la población infantil y la adolescencia.
- Analizar la actividad enzimática de las distintas vías metabólicas en muestras de niños y niñas superiores a las existentes en la literatura, con el fin de determinar las características enzimáticas tanto aeróbicas como anaeróbicas en esta población.
- Realizar un análisis ventilatorio más exhaustivo, con determinación de la cinética ventilatoria individual mediante el modelo trifásico de Skinner y McLellan.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Fundamentos de fisiología del ejercicio. 2ª edición. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana, 2004.

² Álvarez E, García C, Zapico JM. Cristóbal Méndez y su obra, 1553: transcripción moderna y comentarios. Málaga: Consejería de Turismo, Comercio y Deporte; 2005.

³ Benedict FG, Cathcart EP. Muscular work, a metabolic study with special reference to the efficiency of the human body as a machine. Washington: Carnegie Institution; 1913.

⁴ Robinson S, Harmon PM. The effects of training and of gelatine upon certain factors which limit muscular work. Amer J Physiol. 1941; 133: 161-169.

⁵ Knehr CA, Hill DB, Neufeld W. Training and its effect on man at rest and at work. Amer J Physiol. 1942; 136: 148-156.

⁶ Åstrand P-O, Saltin B. Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. J appl Physiol. 1961; 16: 971-976.

⁷ Åstrand P-O, Hallbäck I, Hedman R, Saltin B. Blood lactates after prolonged severe exercise. J appl Physiol. 1963; 18: 619-629.

⁸ Karlsson J. Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man. Acta Physiol Scand. 1971; 358: 7-72.

⁹ Karlsson J, Nordesjö L-O, Jorfeldt L, Saltin B. Muscle lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man. J Appl Physiol. 1972; 33(2): 199-203.

¹⁰ Karlsson J, Saltin B. Lactate, ATP, and CP in working muscles during exhaustive exercise in man. J Appl Physiol. 1970; 29(5): 598-602.

¹¹ Karlsson J, Diamant B, Saltin B. Muscle Metabolites during Submaximal and Maximal Exercise in Man. *Scand J clin Lab Invest.* 1971; 26: 385-394.

¹² Robinson S. Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Int Z Angew Physiol.* 1938; 10: 251-323.

¹³ Andersen KL, Seliger V, Rutenfranz J, Mocellin R. Physical performance capacity of children in Norway. *Eur J Appl Physiol.* 1974; 33: 177-195.

¹⁴ Macek M, Vavra J. The adjustment of oxygen uptake at the onset of exercise: a comparison between prepuberal boys and young adults. *Int J Sports Med.* 1980; 1: 70-72.

¹⁵ Carlson JS, Naughton GA. An examination of the anaerobic capacity of children using maximal accumulated oxygen deficit. *Pediatr Exerc Sci.* 1993; 5: 60-71.

¹⁶ Williams JR, Armstrong N. Relationship of maximal lactate steady state to performance at fixed blood lactate reference values in children. *Pediatr Exerc Sci.* 1991; 3: 333-341.

¹⁷ Boisseau N, Delamarche P. Metabolic and Hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med.* 2000; 30(6): 405-422.

¹⁸ Fellmann N, Coudert J. Physiologie de l'exercice musculaire chez l'enfant. *Arch Pediatr.* 1994; 1(9): 827-840.

¹⁹ Eriksson BO. Physical training, oxygen supply and muscle metabolism in 11-13-year olds boys. *Acta Physiol Scand.* 1972; Supl 384: 5-48.

²⁰ Bar-Or O. New and Old in Pediatric Exercise Physiology. *Int J Sports Med.* 2000; 21(2): S 113- S 117.

²¹ Åstrand PO. Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age. Copenhagen: Munksgaard; 1952.

²² Dupont G, Berthoin S, Gerbeaux M. Performances lors d' un exercice intermittent anaérobie: comparaison entre enfants et sujets matures. *Sci Sports*. 2000; 15(3): 147-153.

²³ Gaul CA, Docherty D, Cicchini R. Differences in Anaerobic Performance Between Boys and Men. *Int J Sports Med*. 1995; 16(7): 451-455.

²⁴ Dotan R, Ohana S, Bediz C, Falf B. Blood Lactate Disappearance Dynamics in Boys and men Following Exercise of Similar and Dissimilar Peak-lactate Concentrations. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2003; 16(3): 419-429.

²⁵ Tanaka H, Shindo M. Running Velocity at Blood Lactate Threshold of Boys Aged 6-15 Years Compared with Untrained and trained young Males. *Int J Sports Med*. 1985; 6: 90-94.

²⁶ Cumming GR, Hastman L, McCourt J, McCullough S. High serum lactates occur in young children after maximal work. *Int J Sports Med*. 1980; 1: 66-69.

²⁷ Eriksson BO. Muscle metabolism in children-a review. *Acta Paediatr Scand*. 1980; 283: 20-27.

²⁸ Falgairette G, Bedu M, Fellmann N, Van Praagh E, Coudert J. Bioenergetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *Eur J Appl Physiol*. 1991; 62: 151-156.

²⁹ Mocellin R, Heusgen M, Gildein HP. Anaerobic threshold and maximal steady-state blood lactate in prepubertal boys. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991; 62(1): 56-60.

³⁰ Eriksson BO, Karlsson J, Saltin B. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediat Scand.* 1971; 217: 154-157.

³¹ Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B. Muscle Metabolism and Enzyme Activities after Training in boys 11-13 Years Old. *Acta Physiol Scand.* 1973; 87: 485-497.

³² Hebestreit H, Kriemler S, Hughson RL, Bar-Or O. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise in boys and men. *J Appl Physiol.* 1998; 85(5): 1833-41.

³³ Martinez LR, Haymes EM. Substrate utilization during treadmill running in prepuberal girls and women. *Med Sci sports Exerc.* 1992; 24: 975- 983.

³⁴ Foricher JM, Ville N, Gratas-Delamarche A, Delamarche P. Effects of submaximal intensity cycle ergometry for one hour on substrate utilisation in trained prepubertal boys versus trained adults. *J Sports Med Phys Fitness.* 2003; 43(1): 36-43.

³⁵ Timmons BW, Bar-Or O, Riddell MC. Oxidation rate of exogenous carbohydrate during exercise is higher in boys than in men. *J Appl Physiol.* 2003; 94(1): 278-84.

³⁶ Bell RD, MacDougall JD, Billeter R, Howald H. Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in six-year-old children. *Med Sci Sports Exerc.* 1980; 12(1): 28-31.

³⁷ Matoba H, Niu H. The effects of castration and testosterone administration on the histochemical fiber type distribution in the skeletal muscles of the mouse. In: Morecki A. *Biomechanics VII-B.* Baltimore: University Park Press; 1981.

³⁸ Krotkiewski M, Kral JG, Karlsson J. Effects of castration and testosterone substitution on body composition and muscle metabolism in rats. *Acta Physiol Scand.* 1980; 109: 233- 237.

-
- ³⁹ Fellmann N, Bedu M, Spielvogel H, Falgairette G, Van Praagh E, Jarrige JF et al. Anaerobic metabolism during pubertal development at high altitude. *J Appl Physiol.* 1988; 64(4): 1382-1386.
- ⁴⁰ Inbar O, Bar-Or O. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 1986; 18(3): 264-269.
- ⁴¹ Beneke R, Heck H, Schwarz V, Leithaeuser R. Maximal lactate steady state during the second decade of age. *Med Sci Sports Exerc.* 1996; 28(12): 1474-1478.
- ⁴² Van Praagh E, Doré E. Short-Term Muscle Power During Growth and Maturation. *Sports Med.* 2002; 32(11): 701-728.
- ⁴³ Bailey RC, Olson J, Pepper SL, Porszasz J, Barstow TJ, Cooper DM. The level and tempo of children's physical activities: an observational study. *Med Sci Sports Exerc.* 1995; 27(7): 1033-41.
- ⁴⁴ Ratel S, Lazaar N, Dore E, Baquet G, Williams CA, Berthoin S et al. High-intensity intermittent activities at school: controversies and facts. *J Sports Med Phys Fitness.* 2004; 44(3): 272-80.
- ⁴⁵ Armstrong N, Welsman J, Chia M. Short term power output in relation to growth and maturation. *Br J Sports Med.* 2001; 35(2): 118-24.
- ⁴⁶ De Ste Croix MBA, Armstrong N, Chia MYH, Welsman JR, Parsons G, Sharpe P. Changes in short-term power output in 10- to 12-year-olds. *J Sports Sciences.* 2001; 19: 141-148.
- ⁴⁷ Martin RJF, Dore E, Twisk J, Van Praagh E, Hautier A, Bedu M. Longitudinal Changes of Maximal Short-Term Peak Power in Girls and Boys during Growth. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36(3): 498-503.

-
- ⁴⁸ Williams CA. Children's and adolescents' anaerobic performance during cycle ergometry. *Sports Med.* 1997; 24(4): 227-40.
- ⁴⁹ Dore E, Diallo O, Franca NM, Bedu M, Van Praagh E. Dimensional changes cannot account for all differences in short-term cycling power during growth. *Int J Sports Med.* 2000; 21(5): 360-5.
- ⁵⁰ Martin RJ, Dore E, Hautier CA, Van Praagh E, Bedu M. Short-term peak power changes in adolescents of similar anthropometric characteristics. *Med Sci Sports Exerc.* 2003; 35(8): 1436-40.
- ⁵¹ Hebestreit H, Mimura K, Bar-Or O. Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *J Appl Physiol.* 1993; 74(6): 2875-2880.
- ⁵² Hebestreit H, Meyer F, Htay-Htay, Heigenhauser GJ, Bar-Or O. Plasma metabolites, volume and electrolytes following 30-s high-intensity exercise in boys and men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996; 72(5-6): 563-9.
- ⁵³ Zafeiridis A, Dalamitros A, Dipla K, Manou V, Galanis N, Kellis S. Recovery during high-intensity intermittent anaerobic exercise in boys, teens, and men. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37(3): 505-12.
- ⁵⁴ Ratel S, Bedu M, Hennegrave A, Dore E, Duche P. Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. *Int J Sports Med.* 2002; 23(6): 397-402.
- ⁵⁵ Krahenbuhl GS, Skinner JS, Kohrt WM. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sports Sci Rev.* 1985; 13: 503-38.
- ⁵⁶ McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Fundamentos de fisiología del ejercicio.* 2^a edición Madrid: McGraw-Hill/Interamericana; 2004.

⁵⁷ Pate RR, Ward DS. Endurance exercise trainability in children and youth. In: García WA, Lombardo JA, Stone JA. *Advanced in sports medicine and fitness*. Chicago (IL): Yaer Book Medical Publishers; 1990.

⁵⁸ Wirth A, Träger E, Scheele K, Mayer D, Diehm K, Reischle K et al. Cardiopulmonary Adjustment and Metabolic Response to Maximal and Submaximal Physical Exercise of Boys and Girls at Different Stages of Maturity. *Eur J Appl Physiol*. 1978; 39(4): 229-40.

⁵⁹ Obert P, Mandigouts S, Nottin S, Vinet A, N'Guyen LD, Lecoq AM. Cardiovascular responses to endurance training in children: effect of gender. *Eur J Clin Invest*. 2003; 33(3): 199-208.

⁶⁰ Baquet G, Van Praagh E, Berthoin S. Endurance Training and Aerobic Fitness in Young People. *Sports Med*. 2003; 33(15): 1127-43.

⁶¹ Danis A, Kiryazis Y, Klissouras V. The effect of training in male prepubertal and pubertal monozygotic twins. *Eur J Appl Physiol*. 2003; 89(3-4): 309-18.

⁶² Bengtsson, E. The working capacity in normal children, evaluated by submaximal exercise on the bicycle ergometer and compared with adults. *Acta Med Scand*. 1956; 154(2): 91-109.

⁶³ Sprynarova S. Development of the relationship between aerobic capacity and the circulatory and respiratory reaction to moderate activity in boys 11-13 years old. *Physiol Bohemoslov*. 1966; 15(3): 253-64.

⁶⁴ Danforth WH, Lyon JB. Glycogenolysis during Tetanic Contraction of Isolated Mouse Muscles in the Presence and Absence of Phosphorylase a*. *J Biol Chem*. 1964; 239(12): 4047-4050.

-
- ⁶⁵ Karparkin S, Helmreich E, Cori CF. Regulation of glycolysis in Muscle.II. Effect of stimulation and epinephrine en isolated frog sartorius muscle. *J Biol Chem.* 1964; 239: 3139.
- ⁶⁶ Eriksson BO, Grimby G, Saltin B. Cardiac output and arterial blood gases during exercise in pubertal boys. *J Appl Physiol.* 1971; 31: 348-352.
- ⁶⁷ Gollnick PD, Armstrong RB, Saubert IV CW, Piehl K, Saltin B. Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol.* 1972; 33(3): 312-319.
- ⁶⁸ Kaczor JJ, Ziolkowski W, Popinigis J, Tarnopolsky MA. Anaerobic and Aerobic Enzyme Activities in Human Skeletal Muscle from Children and Adults. *Pediat Research.* 2005; 57: 331-335.
- ⁶⁹ Berg A, Kim SS, Keul J. Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. *Int J Sports Med.* 1986; 7: 236-239.
- ⁷⁰ Haralambie G. Enzyme activities in skeletal muscle of 13-15 years old adolescents. *Bull Eur Physiopathol Resp.* 1982; 18: 65-74.
- ⁷¹ Turley K, Wilmore JH. Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults. *J Appl Physiol.* 1997; 83(3): 948-957.
- ⁷² Hebestreit H. Exercise testing in children – What works, what doesn`t, and where to go? *Paediatr Respir Rev.* 2004; 5 Supl A: S11-S14.
- ⁷³ Naughton G, Carlson J, Fairweather J. Determining the variability of performance on Wingate anaerobic tests in children aged 6-12 years. *Int J Sports Med.* 1992; 13(7): 512-7.
- ⁷⁴ Ayalon A, Inbar O, Bar-Or O. Relationships among measurements of explosive strength and anaerobic power. In: Nelson RC, Morehouse CA. *International Series on*

Sport Sciences, vol I, Biomechanics IV, University Park Press, Baltimore 1974; 572-577.

⁷⁵ Mero A. Blood lactate production and recovery from anaerobic exercise in trained and untrained boys. *Eur J Appl Physiol.* 1988; 57: 660-666.

⁷⁶ Rowland TW. Aerobic response to endurance training in prepubescent children: a critical analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 1985; 17: 493-7.

⁷⁷ Vaccaro P, Mahon A. Cardiorespiratory responses to endurance training in children. *Sports Med.* 1987; 4: 352-63.

⁷⁸ Shephard RJ. Effectiveness of training programmes for prepubescent children. *Sports Med.* 1992; 13(3): 194-213.

⁷⁹ Singer D. Phylogeny of Mammalian metabolism. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2002; 37(8): 441-60.

⁸⁰ Ascuitto RJ, Ross-Ascuitto NT. Substrate metabolism in the developing heart. *Semin Perinatol.* 1996; 20(6): 542-63.

⁸¹ Hay WW Jr. Recent Observations on the Regulation of Fetal Metabolism by Glucosa. *J Physiol.* 2006; 572(1): 17-24.

⁸² Taylor DJ, Thompson CH, Kemp GJ, Barnes PR, Sanderson AL, Radda GK et al. A relationship between impaired fetal growth and reduced muscle glycolysis revealed by ³¹P magnetic resonance spectroscopy. *Diabetologia.* 1995; 38(10): 1205-12.

⁸³ Magnusson AL, Powell T, Wennergren M, Jansson T. Glucose metabolism in the human preterm and term placenta of IUGR fetuses. *Placenta.* 2004; 25(4): 337-46.

⁸⁴ Komi PV, Karlsson J. Skeletal muscle fibre types, enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta Physiol Scand.* 1978; 103: 210-218.

⁸⁵ Lexell J, Sjoström M, Nordlund AS, Taylor CC. Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve*. 1992; 15(3): 404-9.

⁸⁶ Stanley WC, Gertz EW, Wisneski JA et al. Systematic lactate turnover during graded exercise in man. *Am J Physiol*. 1985; 249: 595-602.

⁸⁷ Beneke R, Leithaeuser RM, Schwarz V, Heck H. Maximales Laktat-Steady-State bei Kindern und Erwachsenen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2000; 51(3): 100-104.

⁸⁸ Haralambie G. Skeletal muscle enzyme activities in female subjects of various ages. *Bull Eur Physiopathol Resp*. 1979; 15: 259-267.

⁸⁹ Haralambie G, Reinartz H. Human Skeletal Muscle Enolase and Factors Influencing Its Activity. *Enzyme*. 1978; 23: 404-409.

⁹⁰ Skinner J, McLellan T. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport*. 1980; 51; 234-48.

^{xcⁱ} McMurray RG, Harrell JS, Bangdiwala SI, Hu J. Tracking of Physical Activity and Aerobic Power from Childhood through Adolescence. *Med Sci Sports Exerc*. 2003; 35(11): 1914-1922.

^{xcⁱⁱ} Eiberg S, Hasselström H, Grønfældt V, Froberg K, Svensson J, Andersen LB. Maximum oxygen uptake and objectively measured physical activity in Danish children 6-7 years of age: the Copenhagen school child intervention study. *Br J Sports Med*. 2005; 39: 725-730.

^{xcⁱⁱⁱ} Kemper HCG, Van de Kop H. Entrainement de la puissance maximale aérobie chez les enfants prépubères et pubères. *Sci Sports*. 1995; 10: 29-38.

^{xciv} Dotan R, Falk B, Raz A. Intensity effect of active recovery from glycolytic exercise on decreasing blood lactate concentration in prepubertad children. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32(3): 564-70.

^{xcv} Baquet G, Guinhouya C, Dupont G, Nourry Berthoin S. Effects of a short-term interval training program on physical fitness in prepubertad children. *J Strength Cond Res.* 2004; 18(4):708-13.

^{xcvi} Baquet G, Berthoin S, Dupont G, Blondel N, Fabre C, Van Praagh E. Effects of high intensity intermittent training on peak VO₂ in prepubertad children. *Int J Sports Med.* 2002; 23(6): 439-44.

^{xcvii} Hoffman JR, Kang J, Faigenbaum AD, Ratamess NA. Recreational sports participation is associated with enhanced physical fitness in children. *Res Sports Med.* 2005; 13(2): 149-61.

^{xcviii} Nourry C, Deruelle F, Guinhouya C, Baquet G, Fabre G, Bart F, et al. High-intensity intermittent running training improves pulmonary function and alters exercise breathing pattern in children. *Eur J Appl Physiol.* 2005; 94(4): 415-23.

^{xcix} Obert P, Mandigout M, Vinet A, Courteix D. Effect of a 13-week aerobic training programme on the maximal power developed during a force-velocity test in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med.* 2001; 22: 442-446.

^c Rowland TW, Auchinachie JA, Keenan TJ, Green GM. Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *Int J Sports Med.* 1987; 8(4): 292-7.

^{ci} Van Praagh E. Anaerobic fitness tests: what are we measuring? *Med Sport Sci.* 2007; 50:26-45.

^{cii} McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Fundamentos de fisiología del ejercicio.* 2^a edición Madrid: McGraw-Hill/Interamericana; 2004.

^{ciii} Sheehan JM, Rowland TW, Burke EJ. A comparison of four treadmill protocols for determination of maximum oxygen uptake in 10-to 12-year-old boys. *Int J Sports Med.* 1987; 8(1): 31-4.

^{civ} Figueroa-Colon R, Hunter GR, Mayo MS, Aldridge RA, Goran MI, Weinsier RL. Reliability of treadmill measures and criteria to determine VO₂max in prepubertal girls. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32(4): 865-9.

^{cv} Rivera-Brown AM, Alvarez M, Rodríguez Santana JR, Benetti PJ. Anaerobic power and achievement of VO₂ plateau in prepubertal boys. *Int J Sports Med.* 2001; 22(2): 111-5.

^{cvi} Brown JD, Mahon AD, Plank DM. Attainment of maximal exercise criteria in boys and men. *J Sports Med Phys Fitness.* 2002; 42(2): 135-40.

^{cvii} Rowland TW. *Developmental exercise physiology.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1996.

^{cviii} Gursel Y, Sonel B, Gok H, Yalcin P. The peak oxygen uptake of healthy Turkish children with referente to age and sex: a pilot study. *Turk J Pediatr.* 2004; 46(1): 38-43.

^{cix} Rowland TW, Cunningham LN. Oxygen uptake Plateau during Maximal treadmill Exercise in Children. *Chest.* 1992; 101(2): 485-9.

^{cx} Mocellin R, Lindemann H, Rutenfranz J, Sbresny W. Determination of W₁₇₀ and maximal oxygen uptake in children by different methods. *Acta Paediat Scand Suppl.* 1971; 217: 13-17.

^{cxii} Cabeza R, Gomez PT. Frecuencia cardíaca máxima. Nuevos planteamientos en su determinación para el deporte escolar. En: IV Congreso Nacional de Deporte en Edad Escolar "Deporte y Salud". Dos Hermanas (Sevilla): Excmo. Ayuntamiento de Dos Hermanas. Patronato Municipal de Deportes; 2006.431-442.

^{cxii} Rowland TW. Aerobic exercise testing protocols. In: Rowland TW, ed., *Pediatric Laboratory Exercise Testing. Clinical Guidelines*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1993.

^{cxiii} Cumming GR, Friesen W. Bicycle ergometer measurement of maximal oxygen uptake in children. *Can J Physiol Pharmacol*. 1967; 45(6): 937-946.

^{cxiv} Armstrong N, Welsman JR, Kirby BJ. Peak oxygen uptake and maturation in 12-yr olds. *Med Sci Sports Exerc*. 1998; 30(1): 165-9.

^{cxv} Winter EM, Nevill AM. Scaling: adjusting for differences in body size. In: Eston RG, Reilly T. *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Tests, Procedures and Data*, London: Routledge; 2001.

^{cxvi} Davies CT, Young K. Mechanical power output in children aged 11 and 14 years. *Acta Paediatr Scand*. 1985; 74(5): 760-4.

^{cxvii} Mero A, Jaakkola L, Komi PV. Relationships between muscle fibre characteristics and physical performance capacity in trained athletic boys. *J Sports Sci*. 1991; 9(2): 161-71.

^{cxviii} Docherty D, Gaul CA. Relationship of body size, physique, and composition to physical performance in young boys and girls. *Int J Sports Med*. 1991; 12(6): 525-32.

^{cxix} Blimkie, CJR. Age- and sex-associated variation in strength during childhood: Anthropometric, morphological, neurologic, biomechanical, endocrinologic, genetic and physical activity correlates. In: Gisolfi CV, Lamb DR. *Youth, exercise and Sport*. Indianapolis: Benchmark Press; 1989.

^{cxx} Tolfrey K, Armstrong N. Child-adult differences in whole blood lactate responses to incremental treadmill exercise. *Br J Sports Med*. 1995; 29(3): 196-199.

^{cxxi} Beneke R, Hutler M, Jung M, Leithauser RM. Modeling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents, and adults. *J Appl Physiol*. 2005; 99(2): 499-504.

^{cxxii} Sjoedin B, Svendenhag J. Oxugen uptake during running as related to body mass in circunpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol and Occup Phy*. 1992; 65(2): 150-7.

^{cxxiii} Guerrero L, Naranjo J, Carranza MD, Rueda J, Galván CDT, Guisado R. Lactato sanguíneo en niños durante un test progresivo hasta el agotamiento en cicloergómetro. *Arch Med Dep* 2006; XXIII (115): 359-64.

^{cxxiv} Paavolainen L, Häkkinen K, Nummela A, Rusko H. Neuromuscular characteristics and fatigue in endurance and sprint athletes during a new anaerobic power test. *Eur J Appl Physiol*. 1994; 69: 119-26.

^{cxxv} Mahon AD, Duncan GE, Howe CA, Del Corral P. Blood lactate and perceived exertion relative to ventilatory threshold: boys versus men. *Med Sci Sports Exerc*. 1997; 29(10): 1332-7.

^{cxxvi} Colling-Saltin AS. Some quantitative biochemical evaluations of developing skeletal muscles in the human foetus. *J Neurol Sci*. 1978; 39: 187-198.

9. ÍNDICE DE TABLAS

9. ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1: Cuadro resumen estudios enzimáticos	68
TABLA 2: Agrupación por edad y sexo de la muestra poblacional (n = 164).	74
TABLA 3: Datos antropométricos de la muestra.	85
TABLA 4: Valor de p (t-Student) para el peso (kg) y la talla (cm) para cada grupo de edad y su consecutivo, y entre el primer y último grupo de edad, en la muestra de sexo masculino.	86
TABLA 5: Valor de p (t-Student) para el peso (kg) y la talla (cm) para cada grupo de edad y su consecutivo, y entre el primer y último grupo de edad, en la muestra de sexo femenino.	87
TABLA 6: Comparación entre sexos del peso (kg) y talla (cm) de toda la muestra por edades.	88
TABLA 7: Características individuales generales de la muestra (sexo, número de historia (I.D.), edad, peso, talla y actividad física).	90
TABLA 8: Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	96
TABLA 9: Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	99
TABLA 10: Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	102
TABLA 11: Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	105
TABLA 12: Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	108
TABLA 13: Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	111
TABLA 14: Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	114

TABLA 15: Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	117
TABLA 16: Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo masculino.	120
TABLA 17: Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo femenino.	123
TABLA 18: Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo masculino.	126
TABLA 19: Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo femenino.	129
TABLA 20: Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.	132
TABLA 21: Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.	135
TABLA 22: Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.	138
TABLA 23: Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.	141
TABLA 24: Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo masculino.	144
TABLA 25: Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo femenino.	147
TABLA 26: Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo masculino.	150
TABLA 27: Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo femenino.	153
TABLA 28: Valores de la varianza por edades y valor de p (t-Student) entre edades en la muestra de sexo masculino.	156
TABLA 29: Valores de la varianza por edades y valor de p (t-Student) entre edades en la muestra de sexo femenino.	157
TABLA 30: Valor de p (t-Student) al comparar entre sexos por edades.	158

TABLA 31: Valores (promedios y D.S.) de VO_{2pico}/kg, VO_{2pico}/kg en el umbral anaeróbico (VO_{2pico}/kg UA) y su porcentaje en la muestra se sexo masculino.	170
TABLA 32: Valores (promedios y D.S.) de VO_{2pico}/kg, VO_{2pico}/kg en el umbral anaeróbico (VO_{2pico}/kg UA) y su porcentaje en la muestra de sexo femenino.	172
TABLA 33: Comparación entre sexos del VO_{2pico}/kg y VO_2/kg UA en toda la muestra.	174
TABLA 34: Valores (promedios y D.S.) de la potencia pico (P_{pico}), potencia en el umbral anaeróbico (P_{pico} UA), el porcentaje y potencia relativa a la masa corporal (P_{pico}/kg) en la muestra de sexo masculino.	176
TABLA 35: Valores (promedios y D.S.) de la potencia pico (P_{pico}), potencia pico en el umbral anaeróbico (P_{pico} UA), el porcentaje y potencia relativa a la masa corporal (W/kg) en la muestra de sexo femenino.	178
TABLA 36: Comparación entre sexos de la P_{pico}, P_{pico} UA y P_{pico}/kg en toda la muestra.	181
TABLA 37: Valores (promedios y D.S.) de la FC pico (FC_{pico}), FC pico en el umbral anaeróbico (FC_{pico} UA) y su porcentaje en la muestra de sexo masculino.	183
TABLA 38: Valores (promedios y D.S.) de la FC pico (FC_{pico}), FC pico en el umbral anaeróbico (FC_{pico} UA) y su porcentaje en la muestra de sexo femenino.	185
TABLA 39: Comparación entre sexos de la FC_{pico} y la FC_{pico} UA en toda la muestra.	187
TABLA 40: Valores de lactato sanguíneo final y relativo a la potencia (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo masculino.	189
TABLA 41: Valores de lactato sanguíneo final y relativo a la potencia (mmol/W) y masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo femenino.	193
TABLA 42: Comparación entre sexos de la concentración de lactato sanguíneo final (mmol/L), y relativo a la potencia pico (mmol/W) y masa corporal (mmol/kg) en toda la muestra.	197

TABLA 43: Valores de p (t-Student) entre los grupos de edad en la muestra de sexo masculino.	202
TABLA 44: Valores de p (t-Student) entre los grupos de edad en la muestra de sexo femenino.	203
TABLA 45: Valores de p (t-Student) entre ambos sexos por grupos de edad.	204
TABLA 46: Datos antropométricos, VO_{2pico} absoluto y relativo, P_{pico}, lactato final y relativo a la masa corporal y potencia desarrollada en adultos y muestra de niños y niñas de esta investigación.	207
TABLA 47: Lactato final (mmol/L) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos.	209

10. ÍNDICE DE FIGURAS

10. ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1: Esquema de la glucólisis (http://web.usal.es/~evillar/regulaci.htm) y situación de la PFK.	54
FIGURA 2: Ciclo de Cori, adaptado de http://web.usal.es/~evillar/regulaci.htm.	56
FIGURA 3: Realización de un E.C.G. a un sujeto experimental.	75
FIGURA 4: Realización de una espirometría a un sujeto experimental.	76
FIGURA 5: Prueba de esfuerzo de un sujeto experimental.	77
FIGURA 6: Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	97
FIGURA 7: Datos de VO₂ relativo a la masa corporal (VO₂/kg) (ml/kg/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	100
FIGURA 8: Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	103
FIGURA 9: Datos de VO₂ absoluto (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	106
FIGURA 10: Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	109
FIGURA 11: Datos de VCO₂ (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	112
FIGURA 12: Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo masculino.	115
FIGURA 13: Datos de ventilación (VE) (L/min) por edades en la muestra de sexo femenino.	118
FIGURA 14: Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo masculino.	121
FIGURA 15: Datos del espacio muerto fisiológico (VD/Vt Est) por edades en la muestra de sexo femenino.	124

FIGURA 16: Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo masculino.	127
FIGURA 17: Datos de presiones de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) (mmHg) por edades en la muestra de sexo femenino.	130
FIGURA 18: Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.	133
FIGURA 19: Datos del equivalente ventilatorio de O₂ (VEO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.	136
FIGURA 20: Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo masculino.	139
FIGURA 21: Datos del equivalente ventilatorio de CO₂ (VECO₂) por edades en la muestra de sexo femenino.	142
FIGURA 22: Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo masculino.	145
FIGURA 23: Datos de la frecuencia cardiaca (FC) (s.p.min) por edades en la muestra de sexo femenino.	148
FIGURA 24: Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo masculino.	151
FIGURA 25: Datos de la tasa de intercambio respiratorio (RER) por edades en la muestra de sexo femenino.	154
FIGURA 26: Estudio de la relación particular entre la ventilación (VE) y la producción de CO₂ (VCO₂): VE vs VCO₂ en la muestra de sexo masculino (n = 86).	161
FIGURA 27: Estudio de la relación particular entre la ventilación (VE) y la producción de CO₂ (VCO₂): VE vs VCO₂ en la muestra de sexo femenino (n = 78).	162
FIGURA 28: Estudio de la relación particular entre la ventilación (VE) y la producción de CO₂ (VCO₂): VE vs VCO₂ en toda la muestra (n = 164).	163
FIGURA 29: Estudio de la relación particular entre la frecuencia cardiaca (FC) y el VO₂/kg: FC vs VO₂/kg en la muestra de sexo masculino (n = 86).	165

FIGURA 30: Estudio de la relación particular entre la frecuencia cardiaca (FC) y el VO₂/kg: FC vs VO₂/kg en la muestra de sexo femenino (n = 78).	166
FIGURA 31: Estudio de la relación particular entre la frecuencia cardiaca (FC) y el VO₂/kg: FC vs VO₂/kg en toda la muestra (n = 164).	167
FIGURA 32: Potencia pico (P_{pico}), potencia pico en el umbral anaeróbico (P_{pico UA}) y potencia relativa a la masa corporal (P_{pico}/kg) en toda la muestra de ambos sexos.	179
FIGURA 33: Lactato sanguíneo final por edades en la muestra de sexo masculino.	190
FIGURA 34: Lactato final relativo a la potencia (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo masculino.	191
FIGURA 35: Lactato sanguíneo final por edades en la muestra de sexo femenino.	194
FIGURA 36: Lactato final relativo a la potencia (mmol/W) y a la masa corporal (mmol/kg) en la muestra de sexo femenino.	195
FIGURA 37: Lactato sanguíneo (mmol/L) al finalizar la prueba en niños de ambos sexos.	198
FIGURA 38: Lactato sanguíneo relativo a la masa corporal (mmol/kg) en niños de ambos sexos.	199
FIGURA 39: Lactato sanguíneo relativo a la potencia pico desarrollada (mmol/W) en niños de ambos sexos.	200
FIGURA 40: Lactato final (mmol/L) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos.	210
FIGURA 41: Lactato sanguíneo final (mmol/L) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.	211
FIGURA 42: Lactato sanguíneo final relativo a la masa corporal (mmol/kg) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.	213
FIGURA 43: Lactato sanguíneo final relativo a la potencia pico desarrollada (mmol/W) de la muestra de niños de ambos sexos (n = 154) y adultos atletas varones.	215
FIGURA 44: Niño de 6 años con problemas para pedalear.	218

FIGURA 45: Niño de 5 años con dificultades para realizar una prueba en tapiz.	218
FIGURA 46: Sujeto experimental de sexo masculino de 11 años realizando la prueba de esfuerzo con ayuda para detectar la FC.	220
FIGURA 47: Sujeto experimental de sexo femenino de 12 años realizando la prueba de esfuerzo con ayuda para detectar la FC.	220

11. ANEXOS

*11.1. Anexo 1: Consentimiento para la
realización de la prueba de esfuerzo.*

TESIS DOCTORAL
Laura Guerrero

Centro Andaluz de Medicina del Deporte
Universidad de Granada

“Análisis ventilatorio de la participación relativa del metabolismo aeróbico y anaeróbico en niños”.

D/D^a _____, con D.N.I. nº _____
como madre/padre de _____, doy mi
conformidad para que mi hijo/a participe en el estudio mencionado más arriba, para lo
cual AUTORIZO a que sea sometido/a a un reconocimiento médico basal (sobre el que
se me facilitará información correspondiente a su estado de salud) y a una prueba de
esfuerzo en bicicleta ergométrica. Soy informado/a de que el estudio se repetirá en el
intervalo de un año.

Igualmente AUTORIZO a los investigadores para utilizar todos los datos
obtenidos en las exploraciones e incluirlos en las correspondientes publicaciones
científicas.

En _____, a ____ de _____ de 2005

*11.2. Anexo 2: Cuestionario de
antecedentes médicos.*

CUESTIONARIO DE ANTECEDENTES

Le rogamos lea atentamente y rellene con la mayor exactitud posible todas las preguntas que figuran a continuación referentes a los antecedentes médicos y familiares de su hijo/a.

DATOS PERSONALES:

Nombre del niño/a :		
Fecha de nacimiento:	Teléfono:	
Domicilio:		
Población:	Provincia:	C.P.:

ANTECEDENTES FAMILIARES:

(Las siguientes preguntas se refieren a padres, hermanos, tíos y abuelos. Ponga una cruz en la casilla correspondiente a NO o SI. En las preguntas que responda SI, especifique el grado de parentesco con el niño; por ejemplo: “abuela paterna”).

	NO	SI
¿Algún familiar ha fallecido por enfermedad del corazón?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Algún familiar ha sufrido infarto o angina de pecho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Algún familiar padece de la tensión arterial?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Algún familiar padece diabetes (azúcar en la sangre)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Algún familiar padece de colesterol alto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Algún familiar padece asma bronquial?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Algún familiar ha fallecido “de repente”, sin causa conocida?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Edad	Peso	Talla
MADRE			
PADRE			

ANTECEDENTES MÉDICOS DEL NIÑO O LA NIÑA:

¿Ha sufrido alguna intervención quirúrgica?

NO SI (Diga cuál o cuales y con qué edad)

¿Ha sufrido alguna fractura?

NO SI (Diga cuál o cuales y con qué edad)

¿Ha sufrido alguna vez desmayos o pérdidas de conocimiento?

NO SI (Diga en qué circunstancias y con qué edad)

¿Padece de asma? NO SI

¿Padece algún tipo de alergia? NO SI (Especifíquela)

¿Padece de diabetes? NO SI

¿Utiliza plantillas?

NO SI (Diga por qué motivo)

¿Utiliza gafas?

NO SI (Diga por qué motivo)

¿Ha padecido o padece alguna otra enfermedad que quiera Vd. comunicarnos?

DATOS DE LA PERSONA QUE RELLENA EL CUESTIONARIO:

D/D^a _____

Relación con el/la niño/a: Padre Madre Tutor legal

Declaro bajo mi responsabilidad que los datos proporcionados acerca de los antecedentes de mi hijo/a son ciertos.

Fecha y Firma