

Variables antropométricas y de rendimiento físico en niños y niñas de 10-15 años de edad

Anthropometrics variables and performance in children of 10-15 years old

*José Antonio Domínguez Montes **Luís Sánchez Medina ***David Rodríguez Rosell ****Juan José González Badillo
*CEIP «Vicente Aleixandre», Brenes, *****Universidad Pablo de Olavide

Resumen. El objetivo fue comprobar la relación y los cambios en la evolución de variables antropométricas básicas y el rendimiento en pruebas físicas en personas de 10-15 años de edad. Se seleccionaron 76 niños y niñas al ~50%. Se formaron seis grupos, según la edad. Se midieron la talla, el peso corporal (PC), el índice de masa corporal (IMC), el sprint en 0-20 m, el salto vertical (CMJ) y un test de resistencia [Test de la Universidad de Montreal (TUM)]. En la distancia de 0-10 m de sprint y en CMJ, sólo a partir de los 13 años se alcanzaron diferencias significativas con respecto al grupo de 10 años, y ningún grupo mejora de manera significativa con respecto al grupo de 12 años. En la distancia de 10-20 m y de 0-20 m de sprint se observaron diferencias significativas desde 12 años con respecto a 10 años, y desde 13 con respecto a 11, pero sólo el grupo 15 años fue superior al de 12. En el TUM se observó una tendencia a aumentar el resultado desde 10 a 14 años, pero en ningún caso las diferencias fueron significativas. Las relaciones entre el CMJ y TUM con el sprint fueron todas significativas y negativas. El control del peso corporal no redujo estas relaciones. El IMC presentó correlaciones positivas con el sprint, y negativas con CMJ y TUM, y el control de la talla aumentó todas estas correlaciones. El IMC fue estable durante todo el rango de edad. Los sujetos más resistentes tendían a ser también más rápidos y a saltar más. La relación entre el IMC y la resistencia fueron independientes de la edad.

Palabras clave. Talla, peso corporal, IMC, salto, aceleración, resistencia, jóvenes 10-15 años.

Abstract. The objective was to determine the relationship and changes in the evolution of basic anthropometric variables and physical performance tests in children aged 10-15 years. Seventy-six boys and girls were selected (approximately 50% of each). Six groups were formed according to age. Assessments included height, body weight (BW), body mass index (BMI), 0-20 m sprint, vertical jump (CMJ), and an endurance test [Test of the University of Montreal (TUM)]. In the distance of 0-10 m. sprint and CMJ, only from 13 years significant differences from the group 10 years were reached, and no group improved significantly compared to the group of 12. In the distance of 10-20 m and 0-20 m sprint significant differences from 12 years to 10 years, and from 13- to 11- years, were observed, but only the 15- years old group did better than the 12- years old. Regarding TUM, a tendency to increase the output from 10 to 14 years was observed, but in any case the differences were significant. Relations between the CMJ and TUM with sprint were all significant and negative. Controlling for body weight did not reduce these relationships. The IMC showed positive correlations with sprint, and negative with CMJ and TUM, and controlling for height increased these correlations. BMI was stable throughout the age range. The subjects with the highest endurance also tended to be faster and jump higher. The relationship between BMI and endurance was independent of age.

Keywords. Height, body weight, BMI, jump, sprint, endurance, young 10-15 years old.

Introducción

No se conoce con precisión en qué medida las habilidades motrices que muestran los niños se deben a un mejor control del sistema motriz, a una mayor capacidad de aprendizaje en el campo motriz o a una mejor base fisiológica o bioquímica (Hahn, 1988). El grado de rendimiento alcanzado como resultado de la evolución natural se vería modificado si el sujeto fuera sometido a una actividad física sistemática. Pero éste no es el objetivo de nuestro análisis, sino el de la evolución natural del niño/a con su dotación genética y con la influencia del ambiente.

Según Rowland (2005), la multitud de factores que contribuyen al desarrollo fisiológico durante la niñez se puede dividir en dos grupos, los que están relacionados con el tamaño corporal y los que son independientes del tamaño. Si aumenta el tamaño del corazón, se alcanzará un mayor volumen sistólico, mayor gasto cardiaco y podrá aumentar el consumo de oxígeno, o si aumenta el área de la sección transversal del músculo, tenderá a aumentar la fuerza. A partir de la pubertad, la influencia de las hormonas sexuales causa un estancamiento en las niñas, que alcanzan la madurez sexual, y una aceleración del desarrollo en los niños. Entre los factores independientes del tamaño se incluyen, por ejemplo, la frecuencia cardiaca máxima, la contractilidad del miocardio o los niveles de hemoglobina en sangre, que tienden a una estabilización.

La correlación entre la talla y el peso corporal con el rendimiento en una serie de tareas físicas son generalmente bajas o moderadas, teniendo una limitada utilidad como predictores desde los cuatro a los 18 años (Malina, Bouchard & Bar-or, 2004), y estas correlaciones no varían con el sexo. Sin embargo, la relación entre el tamaño y el rendimiento tiende a estar condicionada por la edad. La edad, el peso y la talla están

relacionados entre sí, luego es necesario controlar una o dos de estas variables cuando se calcula la relación de las demás con el rendimiento, con el fin de conocer la influencia o relación específica de cada una de ellas con dicho rendimiento. En edades comprendidas entre cuatro y 16 años, el mejor predictor de la fuerza fue el peso corporal en niños, mientras que en las niñas fueron el peso y la edad (Beenakker, Van der Hoeven, Fock & Maurits, 2001).

El porcentaje de masa libre de grasa (MLG) debería esperarse que fuera una característica positiva para el rendimiento motor. De hecho, se ha observado que el valor absoluto de la MLG está positivamente asociado con la fuerza estática o isométrica, lo cual es coherente con el hecho de que a mayor sección transversal del músculo, tiende a ser mayor la fuerza que puede desarrollar el sujeto. Malina et al. (2004) indican que entre los siete y 12 años de edad, en niños, la MLG absoluta y relativa (en relación con el peso corporal) están moderadamente relacionadas, y en una magnitud semejante, con el rendimiento en el desplazamiento del peso corporal: sprint, salto de longitud a pies juntos y salto vertical, y en las niñas, los datos son semejantes. La MLG parece tener también relación con la capacidad de salto.

En el estudio de Doré Martin, Ratel, Duché, Bedú & Van Praagh (2005) se observó que la masa magra de la pierna fue el mejor predictor de la capacidad de salto (explicaba el 76% de la varianza en niños y el 88% en niñas), medida a través del «índice de salto vertical contramovimiento»: $\text{peso corporal} \cdot g \cdot h$, donde «g.» es la aceleración de la gravedad y «h.» la altura del salto. Al contrario que la MLG, la proporción de grasa tiene generalmente una influencia negativa sobre el rendimiento.

El consumo máximo de oxígeno está relacionado con el sexo, el tamaño del cuerpo y el grado de madurez en los niños y adolescentes. El valor del consumo depende fundamentalmente del producto del gasto cardíaco y la diferencia arterio-venosa. Dado que la frecuencia cardiaca tiende a disminuir con la edad, el principal factor para aumentar el consumo de oxígeno con la edad es el cambio en el volumen sistólico,

que aumenta con la edad hasta la adolescencia. En cuanto a la capacidad de extraer oxígeno de la sangre (diferencia arterio-venosa), se ha propuesto que esta capacidad es ligeramente mayor en la niñez que en la adolescencia o en la edad adulta (Turley & Wilmore, 1997). Por otra parte, no parece que la función pulmonar sea limitante del consumo de oxígeno en los niños sanos. Ekelund, Poortvliet, Nilsson, Yngve, Holmberg & Sjostrom (2001) observaron que el gasto energético en la actividad física tenía una relación positiva baja, no significativa ($r=.3$), con la condición física aeróbica en niños, y significativa ($r=.45$) en niñas. Dencker, Thorsson, Karlsson, Lindén, Svensson, Wollmer & Andersen (2006) encontraron relación positiva significativa entre la actividad física diaria medida con acelerómetro y el pico de consumo de oxígeno, pero especialmente con las actividades de alta intensidad llevadas a cabo y el pico de consumo, aunque con valores de correlación moderados-bajos, .32 en hombres y .3 en mujeres.

Entre 11 y 16 años, excepto en la flexibilidad, los hombres incrementaron la condición física en mayor medida que las mujeres (Baquet, Twisk, Kemper, Van Praagh & Berthoin, 2006). Se encontró una relación positiva significativa entre la actividad física regular y el salto, el sprint de 20m. y la carrera de 10x5m. en ambos sexos. No obstante, un aumento o disminución de la actividad física no se tradujo en cambios significativos de rendimiento durante este periodo de edad. En un estudio longitudinal con niños desde los 11 a los 13 años, jugadores de baloncesto, se concluyó que para mejorar la condición física básica, durante el periodo de competición, los niños deberían realizar entrenamientos específicos para la mejora de la capacidad cardiorrespiratoria y de la fuerza muscular (Vamvakoudis, Vrabas, Galazoulas, Stefanidis, Metaxas & Mandroukas, 2007).

Doré et al. (2008) no encontraron diferencias significativas entre las características antropométricas y el rendimiento en potencia máxima en el pedaleo entre 8 y 14 años entre niños y niñas. A la edad de 14 años, los niños conseguían mayor potencia que las niñas, pero también tenían mayor volumen de masa muscular (masa magra), a partir de los 14-16 años hasta los 18-20 sí había diferencias, pero no desde los 16-18 a los 18-20, ni siquiera entre los hombres. Para un volumen similar de MLG, los niños mostraron mayor potencia de piernas que las mujeres.

Las fases sensibles para el desarrollo motor se producen en edades muy tempranas. Loko, Sikkut & Aule (1996) observaron que las edades de mayor aumento proporcional de la fuerza en hombres fueron desde los 12 a los 17 años y en las mujeres entre los 10 y 13 años. Carron & Bayley (1984) y de Beunen & Manilla (1988), en Froberg & Lammert (1996), observaron que dos años antes del pico de velocidad de crecimiento se produce un aumento progresivo de la fuerza por kilo de peso corporal y que este aumento se mantiene durante el año posterior a dicho pico, para decrecer rápidamente después.

Como se deduce de esta breve revisión sobre el desarrollo corporal y el rendimiento físico en niños y adolescentes, este problema ha sido objeto de estudio por muchos autores desde hace bastantes años. Para este análisis se han utilizado numerosas variables, pero no hemos encontrado ningún estudio en el que se analice de manera conjunta la relación entre la edad, la talla, el peso corporal, el índice de masa corporal, el tiempo en sprint en 20m., el salto vertical y la estimación del consumo máximo de oxígeno en un test de campo. Por ello, el objetivo del estudio fue comprobar la relación y los cambios en la evolución de la edad, la talla, el peso corporal, el índice de masa corporal, el tiempo en sprint en 20m., el salto vertical y la estimación del consumo máximo de oxígeno a través de un test de campo en niños y niñas de edades comprendidas entre los 10 y los 15 años de edad.

Metodología

Sujetos

La muestra estuvo compuesta por 34 varones y 42 mujeres de 10 a los 15 años de edad. Dichas personas debían cumplir los siguientes requisitos: 1) no padecer ninguna enfermedad o problema de salud que pudiera suponer un riesgo ante el esfuerzo físico intenso, 2) no estar federado, ni competir o entrenar sistemáticamente en ninguna modali-

dad deportiva. Tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, los padres o tutores legales de los participantes dieron su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado.

Tests

Para medir la talla, los sujetos permanecieron de pie con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro.

El peso corporal (kg.) se midió en una báscula de precisión. Los sujetos fueron pesados descalzos, en pantalón corto y camiseta de manga corta.

El índice de masa corporal (IMC) se calculó dividiendo el peso, expresado en kilos, por la estatura, expresada en metros, elevada al cuadrado (kg./m^2).

Para medir la aceleración en carrera se realizó un test de sprint medido con células fotoeléctricas colocadas en la salida, a los 10 metros y a los 20 metros.

La posición de salida fue de pie, colocando uno de los pies justo detrás de una línea situada a un metro de la primera célula. Se realizó un calentamiento consistente en cinco minutos de carrera continua, seguidos de cuatro series de carreras progresivas a ~80% de intensidad durante 30 metros, a ~90% durante 20 metros, a ~95% durante 20 metros y al 100% durante 10 metros. Entre cada una de las series de calentamiento hubo dos-tres minutos de recuperación. A los tres minutos de realizar la última serie de calentamiento, comenzó el test. Se registraron dos intentos, con tres minutos de recuperación entre intento. Se animó a todos los sujetos a realizar la carrera a la máxima velocidad posible. Los mejores tiempos en cada carrera se tomaron como resultado del test.

El CMJ se midió a continuación, tras un calentamiento específico que consistió en dos series de 10 sentadillas profundas sin carga con dos minutos de recuperación entre serie y cinco saltos verticales con 15-30 segundos de recuperación entre ellos. Se recuperó durante dos minutos y se realizó el test. Se midieron cinco CMJ, con un tiempo de recuperación aproximado de un minuto entre saltos. El resultado del test fue la media de los tres valores centrales una vez eliminados el mejor y el peor salto.

Test de la Universidad de Montreal (TUM). Éste es un test de carrera continua de intensidad progresiva, que se realizó en una pista de atletismo, colocando 16 conos a una distancia de 25 metros. El aumento de velocidad fue de $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ cada dos minutos, como el test original, pero en nuestro caso no fue un test por escalones, sino en rampa, con la misma progresión de velocidad que el original. La velocidad inicial del test fue de ocho $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, y esta velocidad aumentó continuamente desde el principio hasta el final del test. Este test estima la velocidad aeróbica máxima (VAM) y su correspondiente valor de potencia aeróbica máxima de los participantes. (Léger & Boucher, 1980).

Instrumentos de medida

La talla se midió con un tallímetro convencional (Quirumed, Valencia, España). El peso corporal se midió con una báscula convencional (Quirumed, Valencia, España) con una precisión de $\pm 0.1 \text{ kg.}$, y el IMC se calculó utilizando los datos derivados de las dos medidas anteriores.

El tiempo en sprint fue medido con células fotoeléctricas (Racetime2, Microgate, Bolzano, Italia), realizándose la toma de tiempo en 0, 10 y 20m.

La altura del salto fue medida usando un medidor de tiempo de vuelo por infrarrojos (OptojumpNext, Microgate, Bolzano, Italia). Este sistema utiliza rayos infrarrojos modulados paralelos, invisibles y que no se ven afectados por la luz ambiental. Permite la medición de los tiempos de vuelo con una precisión de $\pm 1 \text{ ms.}$ Esta plataforma de infrarrojos ha sido recientemente validada (Glatthorn, Gouge, Nussbaumer, Stauffacher, Impellizzeri & Maffiuletti, 2011).

El tiempo para emitir las señales en el TUM se controló mediante un software programado y utilizado en un ordenador. El programa iba dando información a tiempo real sobre la velocidad a la que se desplazaban los sujetos en cada momento y el tiempo y la distancia recorrida.

Tabla 1. Fiabilidad de la velocidad y el CMJ.

Variables	CCI (IC 95%)	CV (%)
T 10m.	.95 (.92 / .97)	2.12
T 20m.	.98 (.97 / .99)	1.46
T 10-20m.	.99 (.98 / .992)	1.9
CMJ	.99 (.987 / .994)	3.9

Tabla 2. Características físicas descriptivas de la muestra del estudio por grupos de edad (n=76).

	G1 (n=12)	G2 (n=13)	G3 (n=13)	G4 (n=14)	G5 (n=12)	G6 (n=12)
Edad (meses)	119.83±3.83	129.46±2.57	142.15±3.98	154.43±3.90	165.67±2.77	178.08±4.50
Talla (cm.)	132.75±6.76	148.08±7.86	149.46±6.72	158.43±6.60	165.83±6.53	166.42±4.94
Peso (kg.)	37.08±8.61	46.69±16.31	43.92±9.81	51.21±12.63	56.50±11.04	56.33±8.04
IMC (kg./cm ²)	20.87±3.41	20.85±5.43	19.47±3.17	20.21±3.69	20.41±2.82	20.27±2.21
T10m. (s.)	2.22±0.09	2.19±0.15	2.09±0.12	2.04±0.09	1.98±0.14	1.94±0.13
T10-20m. (s.)	4.06±0.16	3.95±0.28	3.74±0.21	3.62±0.15	3.51±0.22	3.42±0.24
T20m. (s.)	1.84±0.08	1.77±0.14	1.65±0.10	1.58±0.08	1.53±0.10	1.48±0.12
CMJ (cm.)	16.48±2.50	19.02±4.93	22.26±4.30	22.55±3.89	24.65±4.66	27.12±5.14
TUM (s.)	350.13±73.04	473.17±136.91	537.17±196.46	560.00±193.37	617.38±177.93	572.10±147.64

Edad. Talla. Peso Corporal. IMC = Índice de masa corporal; T10m. = Tiempo en 10m.; T20m. = Tiempo en 20m.; T10-20m. = Tiempo de 10 a 20m.; CMJ = Altura del salto vertical; TUM = Test de la Universidad de Montreal.

Tabla 3. Resultados en el TUM expresados en segundos, minutos, velocidad y estimación del consumo máximo de oxígeno.

	Segundos	Minutos	Velocidad	VO _{2max}
G1 (n=12)	350.13±73.04	550'±1'13"	10.93±.61	38.27±2.15
G2 (n=13)	473.17±136.91	753'±2'17"	11.98±1.15	41.89±4.03
G3 (n=13)	537.17±196.46	857'±3'16"	12.50±1.65	43.76±5.78
G4 (n=14)	560.00±193.37	920'±3'13"	12.70±1.62	44.44±5.69
G5 (n=12)	617.38±177.93	1017'±2'58"	13.18±1.50	46.13±5.23
G6 (n=12)	572.10±147.64	932'±2'28"	12.80±1.24	44.80±4.34

Análisis estadístico

Los datos son presentados como media ± desviación típica. El análisis de fiabilidad se realizó mediante el coeficiente de correlación intraclass (CCI) y el coeficiente de variación (CV). El CCI se calculó mediante un factor de efectos aleatorios, es el procedimiento más exigente porque tiene en cuenta la diferencia entre las medidas intra-sujetos. El error típico de medida se calculó a partir de la raíz cuadrada de la media cuadrática total del ANOVA. El CV es el porcentaje que representa dicho error de la media total. Para el análisis de las correlaciones bivariadas se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Para el control de determinadas variables en el cálculo de las correlaciones bivariadas se utilizó la correlación parcial. Para el análisis de las diferencias entre los distintos grupos de edad, se utilizó un ANOVA univariada, con la aplicación del test *post-hoc* de Scheffé para identificar las posibles diferencias significativas entre grupos. La significación estadística adoptada fue de $p < .05$. Todos los análisis estadísticos fueron realizados usando el paquete estadístico SPSS 15.0. (SPSS, Chicago, IL).

Resultados

Los tiempos en el test de sprint y las alturas en el test de CMJ alcanzaron una alta fiabilidad: altos valores del CCI y bajos valores de los coeficientes de variación en todos los casos (tabla 1).

Las características de los sujetos se presentan en la tabla 2. La edad viene expresada en meses, pero corresponde a las edades desde 10 (G1) a 15 (G6) años.

En la tabla 3 se presentan los tiempos del TUM. La velocidad es entendida como velocidad aeróbica máxima (VAM).

En la figura 1 se indica la comparación de los distintos grupos de edad en las pruebas de sprint, CMJ y TUM. En la distancia de 0-10m., sólo a partir de los 13 años (G4) se alcanzan diferencias significativas con respecto al G1 (10 años), y ningún grupo mejora de manera significativa con respecto a los 12 años (G3). Este mismo comportamiento se da en el test de CMJ. En la distancia de 10-20m. se observan diferencias significativas desde los 12 años con respecto a los 10 años, y desde los 13 con respecto a los 11, pero sólo el grupo de 15 años es superior al de 12. El mismo comportamiento se observa en la distancia de 20m. En el TUM se observa una tendencia a aumentar el resultado desde los 10 a los 14 años, pero en ningún caso las diferencias son estadísticamente significativas.

Las relaciones entre el sprint y el CMJ son todas elevadas y negativas, así como con el TUM, aunque en este caso con valores más moderados. La relación entre estas dos variables también es significativa, y de signo positivo (tabla 4).

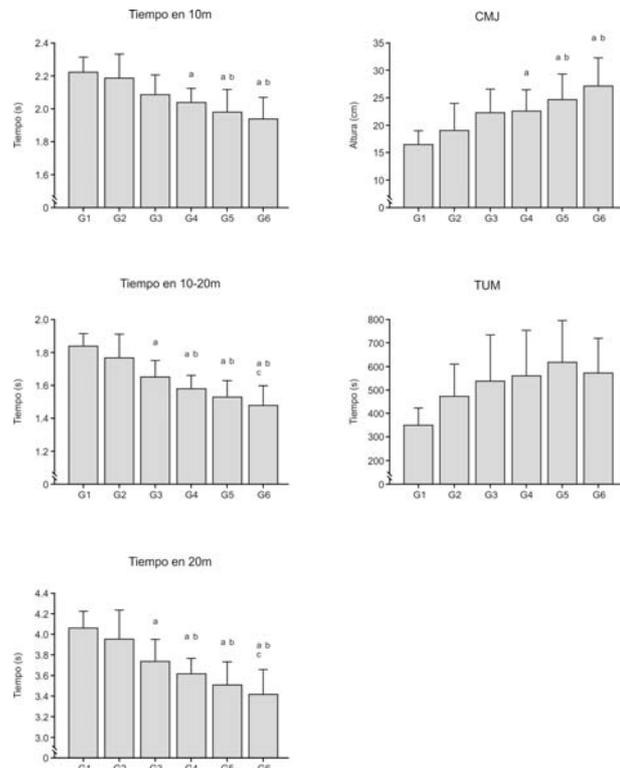


Figura 1. Evolución de las diferentes variables a medida que se incrementa la edad de los sujetos. ^a Diferencias significativas con respecto a G1. ^b Diferencias significativas con respecto a G2. ^{ab} Diferencias significativas con respecto a G3.

En la tabla 5 se presentan las correlaciones entre las mismas variables que en la tabla 4, pero controlando la variable talla. La relación entre las distintas distancias de sprint permanece con valores muy semejantes. En el CMJ se produce una reducción del valor de la correlación con

Tabla 4. Correlaciones entre la velocidad, el salto y el TUM.

	T10m.	T10-20m.	T20m.	CMJ	TUM
T10 m.	1				
T10-20m.	.90**	1			
T20 m.	.97**	.98***	1		
CMJ	-.81**	-.82**	-.83**	1	
TUM	-.66**	-.65**	-.68**	.61**	1

***p<.001

Tabla 5. Correlaciones entre la velocidad, el salto y el TUM, tomando como variable de control la talla.

	T10m.	T10-20m.	T20m.	CMJ	TUM
T10 m.	1				
T10-20m.	.87**	1			
T20 m.	.97**	.96***	1		
CMJ	-.75**	-.77**	-.79**	1	
TUM	-.60**	-.60**	-.62**	.54***	1

***p<.001

Tabla 6. Correlaciones entre la velocidad, el salto y el TUM, tomando como variable de control el peso.

	T10m.	T10-20m.	T20m.	CMJ	TUM
T10 m.	1				
T10-20m.	.90**	1			
T20 m.	.98**	.98***	1		
CMJ	-.80**	-.82**	-.83**	1	
TUM	-.66**	-.69**	-.69**	.61**	1

***p<.001

Tabla 7. Correlaciones entre la velocidad, el salto y el TUM, tomando como variables de control la talla y la edad conjuntamente.

	T10m.	T10-20m.	T20m.	CMJ	TUM
T10 m.	1				
T10-20m.	.84**	1			
T20 m.	.97**	.95***	1		
CMJ	-.71**	-.73**	-.75**	1	
TUM	-.60**	-.61**	-.63**	.54**	1

***p<.0

Tabla 8. Correlaciones entre el rendimiento en sprint, CMJ y TUM con el peso, la talla y el IMC. Así como la relación con el IMC controlando la edad y la talla.

VARIABLES	EDAD	TALLA	PESO	IMC	IMC (Edad)	IMC (Talla)
T 10m.	-.63**	-.53**	-.11	.35**	.47**	.61**
T 10-20m.	-.75**	-.69**	-.29*	.24*	.36*	.59**
T 20m.	-.71**	-.63**	-.21	.30**	.44**	.62**
CMJ	.59***	.50***	.12	-.31**	-.40**	-.53**
TUM	.34**	.34**	-.1	-.43**	-.44**	-.57**

IMC (edad): Correlación del IMC con el control de la edad; IMC (talla): correlación del IMC controlando la talla. *p<.05; **p<.01; ***p<.001

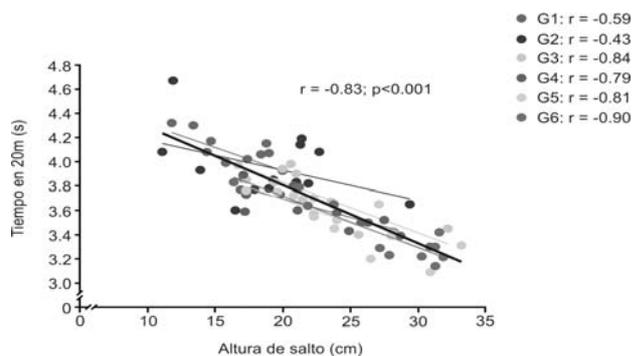


Figura 2. Relación entre la altura del CMJ y el tiempo en 20m., por grupos y en el conjunto de los datos.

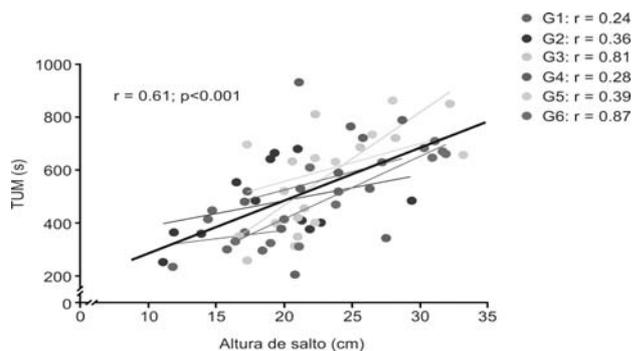


Figura 3. Relación entre la altura del CMJ y el TUM, por grupos y en el conjunto de los datos.

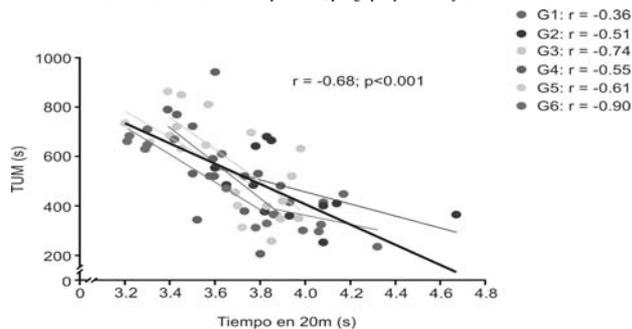


Figura 4. Relación entre el tiempo en 20m. y el TUM, por grupos y en el conjunto de los datos.

el sprint de entre cuatro y seis centésimas, y de manera semejante ocurre con el TUM (5-6 centésimas). Y una pérdida semejante se observa en la relación entre el CMJ y el TUM (7 centésimas).

En la tabla 6 se presentan las correlaciones entre las mismas variables que en la tabla 4, pero controlando la variable peso. La relación entre las distintas distancias de sprint no se ve influida por el control del peso. El CMJ y el TUM mantienen una relación muy semejante con el sprint y entre ellos, a pesar del control del peso corporal.

En la tabla 7 se presentan las correlaciones entre las mismas variables que en la tabla 4, pero controlando la talla y la edad conjuntamente. La relación entre las distintas distancias de sprint se mantiene de manera muy estable. El CMJ pierde entre ocho centésimas y una décima, mientras que el TUM pierde algo menos (4-6 centésimas). La relación entre CMJ y TUM baja siete centésimas.

En la tabla 8 se puede observar que la edad y la talla presentan relaciones moderadas-altas negativas, todas significativas, con los tiempos en sprint y el CMJ, pero positiva y moderada-baja, aunque significativa, con el TUM. El peso corporal presenta correlaciones bajas o muy bajas, sólo significativa con el tiempo en 10-20m. El IMC presenta relaciones positivas significativas, pero moderadas-bajas, con los tiempos en sprint, y negativas significativas de valores semejantes con el CMJ y el TUM. El control de la edad hace que suba la relación del IMC con el sprint y el CMJ (desde siete a 14 centésimas), y permanece semejante con el TUM. Pero el aumento más notable se produce cuando

se controla la talla, subiendo los valores de la correlación entre 14 y 35 centésimas.

La relación entre CMJ y tiempo en 20m. se presenta en la figura 2, la relación entre CMJ y TUM en la figura 3 y la relación entre tiempo en 20m. y TUM en la figura 4. En la parte superior derecha de cada figura se pueden apreciar los valores de la correlación de cada uno de los grupos por separado, y en el centro la correlación de todos los datos en su conjunto: $r = -0.83$ (figura 2), $r = 0.61$ (figura 3) y $r = -0.68$ (figura 4).

Discusión

Los altos valores de fiabilidad (altos valores de CCI y bajos de CV, tabla 1) encontrados en las variables de rendimiento, tiempo en sprint y CMJ, permiten aceptar que los sujetos, a pesar de ser de edades muy tempranas, fueron bastante estables en sus rendimientos en el momento en el que se hacían las pruebas. Hay que reconocer que los altos valores de fiabilidad en el CCI, que marca la fiabilidad inter-sujeto, pueden verse favorecidos por la alta variabilidad de la muestra, pero el CV, que es el complemento del CCI para valorar la fiabilidad completa, ha tenido valores muy bajos, lo cual garantiza también la fiabilidad intra-sujeto, y por ello un valor global de fiabilidad muy elevado.

En el TUM no se pudo comprobar la fiabilidad, dado que la finalización del test llevaba hasta el agotamiento, y por ello no se podía hacer el test dos veces en el mismo día. No hemos encontrado ningún estudio en el que se apliquen pruebas de fiabilidad de estas variables y con sujetos de estas edades, por lo que no podemos contrastar nuestros resultados con otros similares.

En las distintas variables que determinan el rendimiento, así como en las variables antropométricas (tabla 2), se observa una tendencia al aumento progresivo en los resultados, salvo en el IMC, que permanece prácticamente estable, y el tiempo en el TUM, que disminuye, aunque no de manera significativa, a los 15 años.

No es objeto de discusión el aumento de la talla, puesto que en estos rangos de edad se conocido que se produce un crecimiento permanente. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el peso corporal, ya que entre los 11 (G2) y los 12 años (G3) no hay un aumento, sino un pequeño retroceso, y entre los 14 y 15 hay una estabilización. No parece que exista una explicación fisiológica para este comportamiento, sino que más bien se puede deber a la poca diferencia de edad entre los distintos grupos y al relativamente escaso número de sujetos que componían cada grupo.

La estabilidad del IMC, por otra parte, nos sugiere que es razonable aceptar que durante este rango de edades ha habido un aumento proporcional entre el peso y la talla. Lo cual podría indicar que, aunque probablemente la actividad física natural haya tendido a disminuir con la edad, debería haber muchos o suficientes sujetos, especialmente hombres, que estaban en la fase de pico de crecimiento y compensaban el posible aumento de peso originado por la menor actividad con un mayor incremento de la talla.

Los valores del IMC de todos los grupos estudiados coinciden con los valores «medios» de la escala elaborada en la batería ALPHA-Fitness (www.thealphaproject.eu).

Los resultados de IMC, CMJ y estimación de consumo de oxígeno son semejantes a los aportados por Torres-Luque, Carpio, Lara & Zagalaz (2014) así como el IMC encontrado por Urrutia, Irazusta, Balardi, González & Arruza (2013).

Los rendimientos en sprint presentan una tendencia clara a la reducción o mejora del tiempo, pero no de manera significativa entre todos los grupos de edad. Estos resultados presentan la misma tendencia que los encontrados por Baquet et al. (2006), que observaron que en la distancia de 0-10m., sólo a partir de los 13 años (G4) se alcanzan diferencias significativas con respecto al G1 (10 años), y ningún grupo mejora de manera significativa con respecto a los 12 años (G3). Esto significa que aunque se dé una tendencia a la mejora de manera permanente, hacen falta al menos tres años de diferencia de edad para que dichas mejoras sean suficientes como para que se den diferencias estadísticamente significativas. Aunque la mejora a partir de los 13 años pueda estar

relacionada con el aumento de la talla y la estabilización del IMC, es probable que la principal razón de que las diferencias empiecen a darse a esta edad esté en el aumento acelerado de la fuerza (fase sensible) que se empieza a producir un año antes del pico máximo de crecimiento (Froberg & Lammert, 1996). La mejora del rendimiento con respecto a los 11 años se da sólo cuando se alcanzan los 14 años, tres años después. A los 14 años se llega a un valor alto del crecimiento proporcional de la fuerza, y más aún en los 15, especialmente en hombres, pero no es suficiente para que se den diferencias entre los 12 y los 14 y 15 años, y, mucho menos entre 13, 14 y 15.

A las posibles explicaciones anteriores, habría que añadir el hecho de que estas diferencias no son significativas a pesar de un factor favorable que se produce a medida que aumenta la edad, como es la habilidad para coordinar la ejecución de una carrera que se inicia desde parado, por lo que el rendimiento se debería ver beneficiado, de manera independiente de otros factores como la fuerza y la talla, pero esto, como hemos comprobado, tampoco es suficiente.

El mismo comportamiento que en el sprint de 0-10m. se da en el test de CMJ. La similitud en estos resultados es coherente, ya que la habilidad para acelerar presenta una relación elevada con la capacidad de salto o de aplicar fuerza en la unidad de tiempo. El rendimiento en ambos tests se basa en una alta proporción de elementos comunes, relacionados con la capacidad de aplicar fuerza ante la misma resistencia, que en este caso es el peso corporal, y, por ello, la correlación entre ambos es bastante elevada ($r = -0,81$) (tabla 4), lo que significa que se explican mutuamente más del 64% de la varianza. Por tanto, las posibles explicaciones a las diferencias observadas en el CMJ serían las mismas que en la distancia de 0-10m.

En la distancia de 10-20m. se observan diferencias significativas desde los 12 años con respecto a los 10 años, y desde los 13 con respecto a los 11, pero sólo el grupo de 15 años es superior al de 12, y necesita tres años de diferencia de edad. El mismo comportamiento se observa en la distancia de 20m. En este caso, para alcanzar diferencias significativas es necesario un tiempo mínimo de dos años de edad entre los grupos. Las posibles explicaciones serían las mismas que en el caso de 0-10m. No obstante, en la distancia 10-20m podríamos añadir alguna otra explicación. Al tratarse de la medida del tiempo en una fase lanzada de la carrera, la técnica de salida no influye, pero puede que el peso corporal, y especialmente la longitud de las piernas, una vez lanzado el sujeto, beneficien el rendimiento a medida que aumenta la edad. Es conocido que los corredores de 100m. de mayor talla son igualados e incluso superados por los de talla relativamente baja en los primeros 20-40 metros de la carrera, pero a partir de esas distancias tienen mayor ventaja los altos. Estos comportamientos se explican porque en los primeros metros tiene ventaja el de mayor frecuencia, más asequible con piernas más cortas, pero una vez lanzado, tiene ventaja el de mayor longitud de zancada. Las explicaciones para la distancia de 20 metros son las mismas, ya que incluye las distancias de 0-10 y 10-20m.

En el TUM se observa una tendencia a aumentar el resultado desde los 10 a los 14 años, pero en ningún caso las diferencias son estadísticamente significativas, y entre los 14 y los 15 años se observa un retroceso no significativo. Nuestros resultados están en valores intermedios entre los $48 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ encontrados por Akkerman, Van Brussel, Bongers, Hulzebos, Helders & Takken (2010), con sujetos de entre 7 y 17 años, medidos directamente, en pedaleo, y los $39 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ observados por Dencker et al. (2006), con sujetos de entre ocho y 11 años.

No se esperaba que en un rango de edad de cinco años, entre 10 y 15, no se encontraran diferencias significativas en este rendimiento, ya que el consumo máximo de oxígeno está relacionado con el tamaño del cuerpo y el grado de madurez en los niños y adolescentes Malina et al. (2004), lo que viene acompañado de un aumento del tamaño del corazón y un mayor volumen sistólico que determina la cantidad de sangre que se puede proporcionar a la célula. Por el contrario, un aspecto que podría actuar a favor de que no se hayan observado cambios significativos es el hecho de que la capacidad de extraer oxígeno de la sangre (diferencia arterio-venosa) sea ligeramente mayor en la niñez que en la

adolescencia o en la edad adulta (Turley & Wilmore, 1997).

Por otra parte, es probable que la reducción de la actividad física natural con la edad haya podido ralentizar el desarrollo de la capacidad aeróbica a medida que avanzaba la edad, aunque no parece que en estas edades la variable actividad física tenga mucha influencia en el resultado, porque se ha observado que el gasto energético en la actividad física tenía una relación positiva baja, no significativa ($r = .3$), con la condición física aeróbica en niños, y significativa, pero no muy alta ($r = .45$) en niñas (Ekelund, et al., 2001). Por otra parte, tampoco parece que haya habido una influencia del porcentaje de grasa, que ha presentado una correlación negativa significativa con el pico del volumen de oxígeno consumido (Ekelund, et al., 2001), pues el IMC no se ha modificado en todo el rango de edad. Por tanto, además de la posible influencia de la mayor capacidad relativa de captación o utilización de oxígeno (Turley & Wilmore, 1997), es probable que factores como el relativamente bajo número de sujetos por grupo y el mayor empeño que se presupone, y que se observa en la práctica cuando se realiza el test, de los sujetos más jóvenes, haya influido en el hecho de que no se hayan alcanzado diferencias significativas.

Estas sugerencias pueden servir de base para explicar también la bajada en términos absolutos del valor del consumo, estimado por la velocidad y el tiempo que se soportó la progresión de la velocidad, en los sujetos de 15 años con respecto a los de 14.

Las correlaciones entre las variables de rendimiento (tabla 4) son elevadas y negativas en el caso del CMJ y los tiempos de sprint. El grado de relación entre estas variables significa que una alta proporción de los elementos de los que depende la variabilidad en las medidas de una de las variables son comunes a los de la otra. En este caso concreto, la varianza explicada oscila aproximadamente entre el 65 y el 69%, lo cual indica que, a estas edades, el CMJ es un buen predictor del rendimiento en sprint y viceversa.

Naturalmente, el valor de estas correlaciones podría venir favorecido por la alta variabilidad de los valores de las medidas registradas en los tests. Pero si observamos la figura 2, vemos que la correlación global entre el CMJ y el tiempo en 20m. es alta ($-.83$), pero lo más relevante es que esta correlación, con distintos valores, también se da dentro de los grupos, lo que se puede observar en la parte superior derecha de la figura 2. Estos datos nos permiten aceptar que la alta correlación entre estas dos variables no es sólo consecuencia de una alta variabilidad en la muestra, sino que es una tendencia real que se da entre ambas variables. Los valores de estas correlaciones tienden a reducirse ligeramente cuando se controla la talla (tabla 5), perdiendo entre 4 y 6 centésimas, lo cual significa que la talla, en estas edades, tiende a aumentar ligeramente la verdadera relación entre el CMJ y los tiempos en sprint. Si además de la talla se controla de manera conjunta la edad (tabla 7), los valores de las correlaciones no varían sustancialmente, reduciéndose tres-cuatro centésimas con respecto al control aislado de la talla. Estas ligeras pérdidas vienen también justificadas por el hecho de que el CMJ presenta una relación moderada con la talla ($.5$) y con la edad ($.59$) (tabla 8). No ocurre lo mismo con el peso corporal, porque cuando se controla esta variable (tabla 6), los valores de las correlaciones prácticamente no se modifican.

Esto significa que las correlaciones entre el CMJ y los tiempos en sprint son independientes del peso corporal. En teoría, un mayor peso corporal debería ir en contra de la velocidad, puesto que hay que desplazar una mayor masa, pero dado que el aumento del peso en estas edades no está asociado a un aumento de la masa grasa, algo que parece confirmarse por la estabilidad del IMC, sino a un aumento de la talla y de la fuerza absoluta y relativa (pico de aceleración de la fuerza relativa a los 14-15 años), el «lastre» que podría suponer el peso corporal queda compensado por el aumento de la talla y la fuerza, especialmente la fuerza relativa. Esta falta de influencia del peso corporal sobre la relación entre el CMJ y el sprint, viene también justificada y explicada por la baja relación entre el peso corporal y el CMJ ($r = .12$) (tabla 8).

La relación entre el rendimiento en sprint y el TUM es moderada-alta y negativa (tabla 4). Esto indica que cuanto mayor es el tiempo que se soporta el test de velocidad creciente (mayor VAM), menor tiende a ser el tiempo empleado en las carreras cortas. Es decir, a mayor capaci-

dad o consumo de oxígeno o a mayor resistencia, mayor rapidez o velocidad en las carreras cortas.

Estos resultados, naturalmente, van en contra de lo que indicarían los factores fisiológicos determinantes del rendimiento en ambos tipos de pruebas, ya que los sujetos que destaquen por su mayor capacidad aeróbica tenderán a poseer mayor proporción de fibras tipo I, menor fuerza y menor capacidad de producir fuerza en la unidad de tiempo, que son precisamente los factores opuestos a los que caracterizan a los sujetos con alto rendimiento en velocidad máxima y aceleración. Por tanto, la relación debería ser positiva, es decir, los sujetos con mayor rendimiento en el TUM (mayor tiempo de esfuerzo y mayor velocidad final o VAM) deberían ser los que emplearan también más tiempo en las carreras cortas. Pero los resultados son opuestos a los que se podrían predecir. Estos resultados, aparentemente contradictorios, se pueden deber a que, dado que ninguno de los sujetos realizaba entrenamiento sistemático para la mejora de ninguna cualidad física, la mejora en el rendimiento se debe a la maduración biológica, y en esta maduración, se mejoran de manera paralela los factores relacionados con la fuerza y los factores relacionados con la resistencia, de tal manera que, en estos tramos de edad, los sujetos más rápidos ante una distancia o tiempo de esfuerzo prolongado, tienden a ser también más fuertes en esfuerzos cortos. Por tanto los que rinden más en resistencia también tenderán a rendir más en velocidad, aunque esta relación no es muy elevada, pero sí claramente significativa.

La influencia de la talla en estas correlaciones (tabla 5) es semejante a la que se daba con el CMJ. Las pérdidas al controlar la talla son de cinco-seis centésimas, lo que significa que la talla aumenta ligeramente la verdadera relación entre la resistencia y la capacidad de sprint en estas edades. Esta ligera pérdida de correlación también se justifica por la moderada-baja, aunque significativa, relación entre el TUM y la talla ($r=.34$) (tabla 8). Sin embargo, al controlar el peso no se modifica la relación entre el TUM y el sprint, incluso tiende a subir muy ligeramente, lo que indica que en alguna medida el peso limita la relación entre estas variables, pero básicamente, lo que resulta es que la relación entre el TUM y el sprint no se ve afectada en absoluto por el peso corporal, lo que también viene ratificado por la nula relación entre el TUM y el peso corporal (tabla 8). La relación entre el TUM y el tiempo en 20m, aunque no es muy elevada, se da en todos los grupos de edad, como se puede observar en la parte superior derecha de la figura 4. Esto significa que estas correlaciones no dependen exclusivamente de la alta variabilidad de la muestra, sino que es una relación real entre ambas variables.

La relación entre el CMJ y el TUM es positiva y significativa (tabla 4). Lo cual indica que cuanto mayor es la capacidad de salto, mayor tiende a ser la resistencia. Esto es igualmente contrario a lo que se podría esperar, pero es coherente con la correlación analizada anteriormente entre el TUM y el sprint. Es decir, si los sujetos más resistentes tienden a ser los más rápidos, como se ha visto en el párrafo anterior, es lógico que los más resistentes también tiendan a ser los que más salten, ya que existe una alta relación entre sprint y salto, y los elementos de los que dependen ambos rendimientos son en una alta proporción comunes.

Por tanto, todas las explicaciones expuestas en el párrafo anterior son válidas para este caso. Igualmente, la relación entre el TUM y el CMJ disminuye ligeramente cuando se controla la talla y no se modifica cuando se controla el peso. Es decir, la correlación entre el TUM y el CMJ es independiente de la talla, la edad y el peso corporal en el rango de edad analizado.

El IMC presenta correlación positiva y moderada o moderada-baja, pero siempre significativa, con las variables de rendimiento en sprint y CMJ (tabla 8). El valor numérico de las correlaciones entre estas variables, aunque no es alto, debe interpretarse muy positivamente, ya que, como hemos podido observar, los valores del IMC son muy semejantes en todos los grupos, y esto reduce matemáticamente la posibilidad de que dicha variable tenga una alta relación con cualquier otra.

El signo positivo de las correlaciones es coherente con el sprint y el signo negativo lo es con el CMJ, y ambos son coherentes entre sí, puesto que indican que cuanto mayor es el IMC mayor tiende a ser el

tiempo en el sprint y menor la altura en el salto. Esto significa que a mayor peso para la misma talla, peor será el rendimiento en el sprint y en el CMJ. Esta afirmación queda confirmada si observamos los cambios en la correlación cuando controlamos la edad y, especialmente la talla, que provoca un aumento notable de los valores de las correlaciones (tabla 8). Es decir, si todos los sujetos tuvieran la misma talla, el IMC duplicaría el valor de su correlación con el tiempo en sprint y el CMJ, y su poder predictivo sería entre cuatro y seis veces superior. Por tanto, es razonable aceptar que la edad y, especialmente, la talla limitan la verdadera correlación entre el IMC y el tiempo en sprint y el CMJ.

La correlación entre el IMC y el TUM es de un valor parecido a los encontrados para el IMC y el sprint y el CMJ (tabla 8). En este caso la correlación es de signo negativo, lo cual significa que cuanto mayor sea el IMC menor tiempo soportará el sujeto la carrera progresiva, es decir, menor resistente será. Esto es explicable por el hecho de que un mayor IMC supone que hay que desplazar, proporcionalmente, una masa mayor, lo cual supone mayor gasto para la misma velocidad.

Esta mayor masa puede quedar compensada en parte por el aumento de la fuerza, aumento que podría producirse como consecuencia de la llegada a la fase de máxima aceleración de la fuerza relativa al final de este rango de edad, de ahí que la correlación no sea muy elevada. Al controlar la edad, no se producen modificaciones en la correlación, lo cual indica que la relación entre el IMC y el TUM es independiente de la edad. Pero al igual que ocurría con el sprint y el CMJ, al controlar la talla, la correlación se eleva de manera notable, por lo que podríamos aceptar que la talla limita, aunque en menor medida que en el sprint y el salto, la verdadera relación entre el IMC y la resistencia.

Conclusiones

En 76 niños y niñas, distribuidos H>50%, en edades comprendidas entre los 10 y los 15 años:

- Las medidas del rendimiento en sprint y capacidad de salto son muy fiables.
- El IMC es estable durante todo el rango de edad.
- Son necesarios al menos dos-tres años de diferencia de edad para mejorar de manera significativa la aceleración en 0-10-20m.
- La resistencia tiende a aumentar cuando se mide en un test de carrera de velocidad creciente en rampa hasta el agotamiento, pero no de manera significativa en ningún grupo de edad con respecto a los demás.
- Las correlaciones entre el salto vertical y los tiempos en sprint de 0-10-20m. son independientes del peso corporal.
- Los sujetos más resistentes tienden a ser también más rápidos y a saltar más.
- Las relaciones entre la resistencia y el sprint y la resistencia y el salto vertical son independientes del peso corporal.
- Las verdaderas correlaciones entre el IMC y el rendimiento en sprint y salto vertical vienen limitadas por la talla.
- La relación entre el IMC y el rendimiento en resistencia está limitada moderadamente por la talla, pero es independiente de la edad.

Debemos poner de manifiesto que estos resultados adquirirían mucha mayor relevancia si hubiéramos podido contar con un número mayor de participantes.

Referencias

- Akkerman, M., Van Brussel, M., Bongers, B., Hulzebos, E., Helders, P. & Takken, T. (2010). Oxygen Uptake Efficiency Slope in Healthy Children. *Pediatric Exercise Science*, 22, 431-441.
- Baquet, G., Twisk, J., Kemper, H., Van Praagh, E. & Berthoin, S. (2006). Longitudinal Follow-Up of Fitness During Childhood: Interaction with Physical Activity. *American Journal of Human Biology*, 18, 51-58.
- Beenakker, E., Van der Hoeven, J., Fock, J. & Maurits, N. (2001). Reference values of maximum isometric muscle force obtained in

- 270 children aged 4-16 years by hand-held dynamometry. *Neuromuscular Disorders*, 11, 441-446.
- Dencker, M., Thorsson, O., Karlsson, M., Lindén, C., Svensson, J., Wollmer, P. & Andersen, L. (2006). Daily physical activity & its relation to aerobic fitness in children aged 8-11 years. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 587-592.
- Doré, E., Bedú, M. & Van Praagh, E. (2008). Squat Jump Performance During Growth in Both Sexes: Comparison With Cycling Power. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 79(4), 517-524.
- Doré, E., Martin, R., Ratel, S., Duché, P., Bedú, M. & Van Praagh, E. (2005). Gender differences in peak muscle performance during growth. *International Journal Sports Medicine*, 26, 274-280.
- Ekelund, U., Poortvliet, E., Nilsson, A., Yngve, A. Holmberg, A. & Sjostrom, M. (2001). Physical activity in relation to aerobic fitness & body fat in 14 to 15 years old boys and girls. *European Journal of Applied Physiology*, 85, 195-201.
- Froberg, K. & Lammert, O. (1996). Development of muscle strength during childhood. En Oded Bar-Or (Ed.). *The child & adolescent athlete*, 25-41. Blackwell Science.
- Glatthorn, J.F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F.M. & Maffiuletti, N.A. (2011). Validity & reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *Journal of strength & conditioning research*, 25(2), 556-560.
- Hahn, E. (1988). *Entrenamiento con niños: Teoría, práctica, problemas específicos*. Barcelona: Roca.
- Leger, L.A. & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running test multistage field test: The Université de Montreal Track Test. *Can. Journal of Applied Physiology*, 5, 77-84.
- Loko, J., Sikkut, T. & Aule, R. (1996). Sensitive periods in physical development *Modern athlete & coach*, 34(2), 26-29.
- Malina, R., Bouchard, C. & Bar-or, O. (2004). *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books.
- Rowland, T. W. (2005). *Children's exercise physiology*. 2nd ed. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books.
- Torres-Luque, G., Carpio, E., Lara, A. & Zagalaz, M^a L. (2014). Niveles de condición física de escolares de educación primaria en relación a su nivel de actividad física y al género. *Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 25, 17-22.
- Turley K. R. & Wilmore (1997). Cardiovascular responses to treadmill & cycle ergometer exercise in children & adults. *Journal of Applied Physiology*, 83, 948-957.
- Urrutia, S., Irazusta, S., Balerdi, A., González, O. & Aruza, J.A. (2013). Relación entre el índice de masa corporal y la competencia percibida en adolescentes de la Educación Secundaria Obligatoria. *Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 24, 24-26.
- Vamvakoudis, E., Vrabas, I., Galazoulas, C., Stefanidis, P., Metaxas, T. & Mandroukas, K. (2007). Effects of basketball training on maximal oxygen uptake, muscle strength & joint mobility in young basketball players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 930-936. www.thealphaproject.eu

