

**CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE GRASA
EN NADADORES ADOLESCENTES:
ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DE LAS
ECUACIONES ANTROPOMÉTRICAS
FRENTE A LA ABSORCIOMETRÍA
FOTÓNICA DUAL DE RAYOS X**

FECHA DE ENTREGA

21 de Junio de 2013

NOMBRE DE ALUMNO:

Gabriel Lozano Berges

NOMBRE DE LA ASIGNATURA:

Trabajo Fin de Grado

NOMBRE DEL PROFESOR-TUTOR:

Germán Vicente Rodríguez

Cálculo del porcentaje de grasa en nadadores adolescentes: análisis de la precisión de las ecuaciones antropométricas frente a la absorciometría fotónica dual de rayos X

Autor: Gabriel Lozano Berges

RESUMEN

El objetivo de este estudio es determinar que ecuación antropométrica de las más utilizadas (Durnin and Rahaman, Slaughter et al., Faulkner et al. y Deurenberg et al.) es la más adecuada para calcular el porcentaje de grasa en nadadores adolescentes. Para ello, se compararon los porcentajes de grasa obtenidos de las ecuaciones antropométricas con los de la absorciometría fotónica dual de rayos X. En este estudio han participado 70 nadadores adolescentes (38 chicos y 32 chicas; $14,54 \pm 2,20$ años). Se registraron los pliegues del bíceps, tríceps, subescapular, suprailíaco, supraespinal, muslo medio y pantorrilla siguiendo las recomendaciones del ISAK. Los datos de densidad corporal total obtenidos por la ecuación de Durnin and Rahaman se utilizaron en las ecuaciones de Siri y Brozek para obtener el porcentaje de grasa. La concordancia entre métodos se calculó a partir del análisis de Bland–Altman y la heterocedastidad se examinó por medio de una regresión lineal. Las ecuaciones de Siri y Brozek fueron las únicas que no presentan diferencias significativas respecto al DXA aunque presentan un error aleatorio elevado. La heterocedastidad está presente en todas ecuaciones. Las ecuaciones de Siri y Brozek son las que calculan de forma más precisa el porcentaje de grasa en nadadores adolescentes, aunque presentan heterocedastidad. Por lo tanto, futuros estudios con una muestra elevada podrían ayudar a diseñar una ecuación específica para nadadores adolescentes.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la masa grasa está asociado directamente con diversas enfermedades cardiovasculares y metabólicas [1]. Multitud de estudios han demostrado que aquellas personas más activas presentan un menor porcentaje de grasa corporal que las sedentarias [2, 3], por lo tanto, el ejercicio físico contribuye en la disminución del tejido graso y, por consiguiente, en la mejora de la salud de la persona [4-6].

Diversos estudios han descrito menores porcentajes de grasa corporal en nadadores adolescentes que en sujetos sedentarios [7-9] con la consecuente disminución de riesgos para la salud que ello conlleva para el adolescente y para su prevención en el futuro [10-13].

A parte de los beneficios para la salud, existe también una dimensión en la que se relaciona la composición corporal con el rendimiento deportivo. En el caso del ciclismo, como en otros deportes aeróbicos, la grasa corporal no contribuye a la propulsión y un exceso en su cantidad se asocia una disminución en el rendimiento [14-16].

Debido, por tanto a su doble dimensión de salud y rendimiento, resulta necesario medir la composición corporal en estos deportistas. Existen varios procedimientos de valoración y evaluación de la composición corporal y en concreto de la grasa corporal. En el laboratorio contamos con métodos de gran precisión, siendo los métodos más utilizados la pletismografía por desplazamiento de aire (BODPOD), la pesada hidrostática y la absorciometría fotónica dual de rayos X (DXA) [17, 18]. Sin embargo, la facilidad de aplicación y la no desdeñable precisión de la estimación de grasa corporal mediante otros métodos de campo mucho más económicos, de fácil aplicación y no invasivos, hacen de la antropometría una herramienta muy útil para el profesional del entrenamiento deportivo [19].

En la actualidad existen multitud de ecuaciones para calcular el porcentaje de grasa corporal que se basan en cálculos derivados de medidas antropométricas. Las variables antropométricas varían entre personas y mucho más entre distintos grupos de población, por lo que para una mayor precisión en su estimación han de ser lo más específicas posible para el grupo de interés. Las más utilizadas en niños y adolescentes son las de Durnin and Rahaman [20], Slaughter et al. [21], Carter et al. [22], Faulkner et al. [23] y Deurenberg et al.[24]. Varios estudios han intentado validar estas ecuaciones mediante DXA [25-27] para así determinar cuál es la más precisa en un grupo determinado de población. Después de realizar una búsqueda sistemática en Pubmed y Embase, no hemos identificado ningún estudio que haya intentado determinar que ecuación es más precisa para nadadores adolescentes.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es determinar qué ecuación entre las más utilizadas es la más adecuada para calcular el porcentaje de grasa corporal en nadadores adolescentes.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Participantes

Setenta nadadores adolescentes (38 chicos y 32 chicas) de edad $14,54 \pm 2,20$ años han participado en este estudio. Todos ellos pertenecen a diferentes clubes de natación de la provincia de Aragón (España) y entrenaban un mínimo de 6 horas semanales ($9,92 \pm 2,12$). Este estudio ha sido aprobado por el comité ético de investigación clínica de Aragón (CEICA) y se ha realizado acorde a las reglas internacionales de investigación con humanos, recogiendo en todos los casos un consentimiento informado del adolescente y firmado por su padre, madre o tutor legal.

2.2. Antropometría

Los participantes se midieron en ropa interior y descalzos con una precisión de 0,1 cm (SECA 225, SECA, Hamburg, Germany), y se pesaron con una precisión de 0,1 kg (SECA 861, SECA, Hamburg, Germany). Posteriormente, se obtuvo el índice de masa corporal (IMC) de la división entre el peso (kg) y la altura al cuadrado (m).

Siguiendo las recomendaciones establecidas por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK) se midieron los pliegues cutáneos del bíceps, tríceps, subescapular, suprailíaco, supraespinal, muslo medio y pantorrilla dos veces no consecutivas en el lado derecho del cuerpo, con una precisión de 0,2 mm, utilizando un plicómetro (Holtain Ltd. Crymmych, UK). En el caso de que el error intramedida fuera mayor de 1 mm se realizaba una tercera medición cogiendo como válido el valor de la mediana; mientras que si el error era menor de 1 mm se utilizaba la media de las dos mediciones. Los registros fueron realizados por la misma persona (nivel 2 ISAK) y su error técnico de medida estaba dentro de los límites recomendados por el ISAK.

2.3. Densidad corporal total y porcentaje de grasa estimado a partir de pliegues cutáneos

La ecuación de Durnin and Rahaman [20] (diferente según edad y sexo) se utilizó para determinar la densidad corporal total. Posteriormente se aplicó la densidad corporal en las formulas de Siri [28] y Brozek [29] para calcular el porcentaje de grasa corporal. Se utilizaron las ecuaciones de Slaughter et al. [21], Carter et al. [22], Faulkner et al. [23] y Deurenberg et al. [24] para determinar el porcentaje de grasa directamente a partir de los pliegues cutáneos.

2.4. Medición de la grasa corporal mediante DXA

La grasa corporal total del cuerpo se midió usando un escáner de cuerpo entero DXA QDR-Explorer (Hologic Corp. Software versión 12.4, Waltham, MA). Todos los escáneres fueron realizados por el mismo técnico, el cual conocía y dominaba el funcionamiento del escáner, la posición de los participantes y el análisis de los resultados [30]. El porcentaje de grasa se calculó por medio de la siguiente ecuación

$$[(\text{Masa grasa}/(\text{masa grasa} + \text{masa de tejido muscular} + \text{contenido mineral óseo})) \times 100].$$

Tabla 1

Ecuaciones utilizadas en el cálculo de la densidad corporal total y del porcentaje de grasa a partir de mediciones antropométricas.

Autores	Población(edad)	Ecuación
Durnin and Rahaman (1967)	13–15.9	F (13–15.9): $D = 1,1369 - 0,0598 \times \log$ M (13–15.9): $D = 1.1533 - 0.0643 \times \log$
	16 – 19.9	F (16–19.9): $D = 1.1581 - 0.0720 \times \log$ M (16–19.9): $D = 1,161-0,0632 \times \log$
Slaughter et al. (1988)	10–17	F: $\%GC=1,33 \times (\text{tric} + \text{subsc}) - 0,013 \times (\text{tri} + \text{subsc})^2 - 2,5$ M: $\%GC=1,21 \times (\text{tric} + \text{subsc})-0,13 \times (\text{tric} + \text{subsc})^2 - 1,7$
Carter et al. (1982)		F: $\%GC= 0,1548 \times \text{Suma}(\text{tric},\text{subsc},\text{supraesp},\text{abdo},\text{musl},\text{panto}) + 3,5803$ M: $\%GC = 0,1051 \times \text{Suma}(\text{tric},\text{subsc},\text{supraesp},\text{abdo},\text{musl},\text{panto}) + 2,585$
Faulkner et al. (1983)	8 - 16	F: $\%GC = \text{Suma}(\text{tric},\text{subsc},\text{supraesp},\text{abdo}) \times 0,213 + 7,9$ M: $\%GC = \text{Suma}(\text{tric},\text{subsc},\text{supraesp},\text{abdo}) \times 0,15 + 5,783$
Deurenberg et al. (1991)		Todos (0 - 15): Todos (>15): $\%GC = 1,51 \times \text{IMC} - 0,7 \times \text{edad} - 3,6 \times \text{sexo} + 1,4$
Siri (1961)	Adultos	Todos: $\%GC = (4.95/D - 4.5) \times 100$
Brozek (1975)	Adultos	Todos: $\%GC=(4,57/D) - 4,142$

M: Masculino; F: Femenino; D: Densidad corporal total; %GC: %Grasa corporal; Log: \log_{10} (suma de los pliegues de bíceps, tríceps, subescapular y suprailíaco); tric: pliegue del tríceps; subsc: pliegue subescapular; supraesp: pliegue supraespinal; abdo: pliegue abdominal; musl: pliegue del muslo; panto: pliegue pantorrilla; IMC: índice de masa corporal; sexo: masculino = 1 – femenino = 0

2.5. Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se han realizado con la versión 15.0 para Windows del programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS, SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Mediante el análisis de Bland–Altman [31], se estudió la concordancia existente entre el DXA y las ecuaciones que predicen el porcentaje de grasa. Las diferencias entre métodos se presentaron frente al valor obtenido por el método “*gold standard*” (el porcentaje de grasa medido con el DXA) en lugar de la media ya que el método “*gold*

standard' se considera más cercano al valor exacto [32]. Por medio de pruebas T de student para muestras relacionadas se calculó la diferencia media entre los métodos utilizados (diferencia entre el DXA y cada una de las ecuaciones que predicen el porcentaje de grasa). También se determinó la validez y la falta de concordancia entre los métodos. Posteriormente se calculó el error aleatorio [límites de intervalo de concordancia al 95% (desviación estándar x 1,96 ± diferencia media entre métodos)] para cada una de las ecuaciones. La heterocedasticidad se examinó por medio de una regresión lineal la cual determina si el incremento de la diferencia entre métodos está asociado con el incremento de la magnitud de medida (porcentaje de grasa).

3. RESULTADOS

La **Tabla 2** muestra los valores descriptivos de los participantes. En la **Tabla 3** se muestra el cálculo del porcentaje de grasa, el error estándar (diferencia entre métodos) y el error aleatorio para cada ecuación antropométrica. Las ecuaciones de Siri y Brozek

Tabla 2
Características físicas de los participantes (media ± desviación estándar)

	Todos (n = 70)	Chicos (n = 38)	Chicas (n = 32)
Edad (años)	14,54 ± 2,20	15,26 ± 2,17	13,69 ± 2,00
Peso (kg)	54,96 ± 12,96	61,02 ± 12,72	47,76 ± 9,07
Altura (m)	164,30 ± 12,17	170,41 ± 10,95	157,06 ± 9,31
IMC (kg/m ²)	20,08 ± 2,71	20,83 ± 3,06	19,19 ± 1,89

IMC: Índice de masa corporal

Tabla 3
Porcentaje de grasa (Media ± desviación estándar), diferencia entre métodos (DXA y antropometría), los límites de concordancia al 95% para la predicción del porcentaje de grasa de las ecuaciones y el DXA y el índice de correlación (R)

Ecuación de predicción	Porcentaje de grasa	Diferencia media entre métodos	95% límites de concordancia	p	Intervalo de confianza	R
Siri (Durnin and Rahaman)	22,60 ± 6,13	-0,38	5,40	0,248	(5,02 -5,78)	0,239
Brozek (Durnin and Rahaman)	22,12 ± 5,66	0,10	5,29	0,765	(5,38 -5,19)	0,401
Slaughter	19,50 ± 5,50	2,72*	7,79	0,000	(10,51 -5,07)	0,481
Carter	13,26 ± 4,86	8,96*	5,99	0,000	(14,95 2,97)	0,629
Faulkner	15,50 ± 4,61	6,72*	6,16	0,000	(12,87 0,56)	0,687
Deurenberg	18,60 ± 4,56	3,61*	8,58	0,000	(12,19 -4,97)	0,674
DXA	22,21 ± 6,17	-	-	-	- -	-

DXA: Densitometría dual de rayos X

*p<0,05

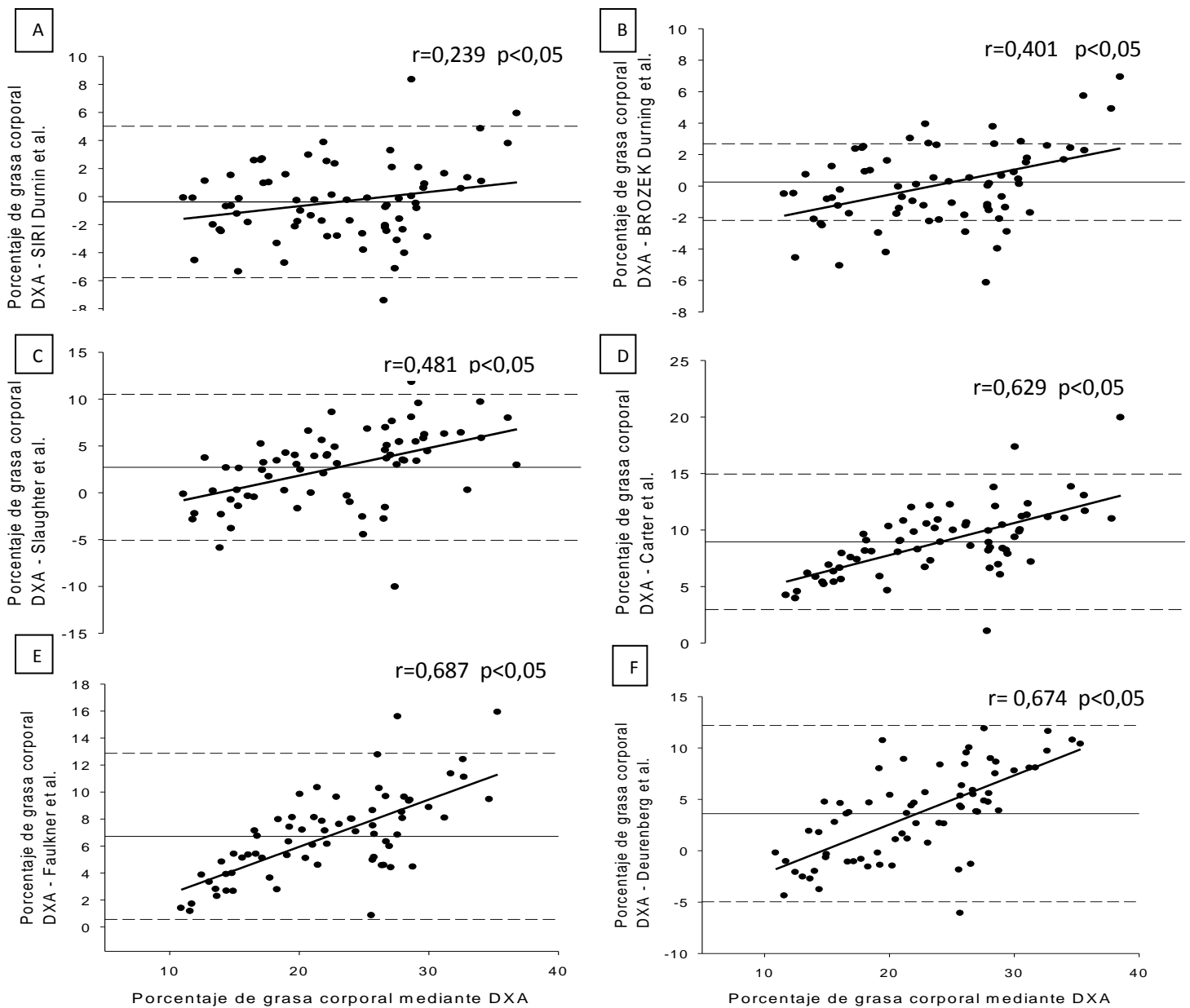


Figura 1

Comparación entre la predicción del porcentaje de grasa a partir de pliegues cutáneos (A: Siri.Durnin et al.; B: Brozek.Durnin et al.; C: Slaughter et al.; D: Carter et al.; E: Faulkner et al.; F: Deurenberg et al.) y el DXA por medio del análisis Bland–Altman. La nube de puntos representa los valores individuales de las diferencias entre métodos (DXA y antropometría). La línea central representa el error estándar. Las líneas discontinuas superiores e inferiores representan el error aleatorio (desviación estándar $\times 1,96 \pm$ error estándar). La línea sólida de cada gráfica representa la regresión lineal entre el porcentaje de grasa calculado con el DXA y el error estándar, además de su correlación (r) y significación (p). En A el porcentaje de grasa se ha calculado aplicando la densidad corporal total a la fórmula de Siri; mientras que en la B, se ha aplicado sobre la fórmula de Brozek. DXA: Densitometría dual de rayos X

son las únicas que no mostraron diferencias significativas respecto al DXA (Siri: $p = 0,248$; Brozek: $p = 0,765$; **Tabla 3**). Aunque estas ecuaciones tienen un error aleatorio elevado, en comparación con el resto de ecuaciones, son las que presentan valores más bajos (Siri: 5,40; Brozek: 5,29; vs. 7,79; 5,99; 6,16 y 5,58; **Tabla 3**). La heterocedasticidad (incremento de la variante asociado con el incremento de la magnitud) está presente en todas las ecuaciones ($p < 0,05$). En la **Figura 1** se muestran las gráficas de Bland–Altman [31] (**Fig.1A – 1F**).

4. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio es determinar qué ecuación de las seleccionadas calcula mejor el porcentaje de grasa corporal en nadadores adolescentes. De esta forma intentamos establecer una forma alternativa, rápida, económica y precisa de valoración de la composición corporal en nadadores. Nuestros resultados muestran que las ecuaciones de Siri y de Brozek son las más precisas al compararse con el DXA.

Nuestro estudio se ha basado en las ecuaciones más utilizadas para calcular el porcentaje de grasa en adolescentes [20-24], y en concreto, hemos determinado si éstas son adecuadas para los nadadores. Debido a las características similares entre deportes acuáticos y sobre todo al medio en el que se practica, pensamos que los resultados obtenidos podrían extrapolarse a otros deportes como la natación sincronizada y el waterpolo, aunque el desarrollo de futuros estudios podría comprobar si las ecuaciones de Siri y Brozek son las más precisas en este tipo de población.

Comparando los resultados, hemos observado que las ecuaciones de Siri y de Brozek son las más precisas al ser comparadas con el DXA. Pese a esto, han demostrado tener heterocedasticidad, es decir, que un aumento de los valores del DXA, conlleva un aumento del error en la estimación, lo cual limita su utilización.

Otros estudios han intentado determinar que ecuación es la más precisa para calcular el porcentaje de grasa en diferentes poblaciones, como por ejemplo en adolescentes normoactivos [27], o en diferentes grupos de población como en adolescentes con Síndrome de Down [33].

Resulta importante calcular el porcentaje de grasa en este grupo de población ya que unos niveles inferiores están relacionados con una disminución de los riesgos cardiovasculares y, consecuentemente, una prevención para su futuro [10-13].

Desde nuestro conocimiento, y tras una extensa búsqueda bibliográfica podemos afirmar que este es el primer estudio que intenta determinar que ecuación es la más adecuada para estimar el porcentaje de grasa en nadadores adolescentes.

Algunos de los puntos fuertes de este estudio son el tamaño de la muestra y la utilización del DXA como método de referencia para calcular el porcentaje de grasa.

Por supuesto, el estudio no está exento de limitaciones, en este sentido, un análisis más exhaustivo teniendo en cuenta distintas ecuaciones para el cálculo de grasa corporal, podrían haber arrojado otros resultados. De hecho, es posible que la densidad corporal de los nadadores adolescentes difiera de la de los adolescentes normoactivos y necesite ser calculada de forma también específica.

5. CONCLUSIONES

Las ecuaciones de Siri y Brozek calculan de forma precisa el porcentaje de grasa en nadadores adolescentes comparado con el DXA y presentan los niveles más bajos en referencia al error aleatorio, aunque este sigue siendo elevado. Además todas las ecuaciones muestran heterocedasticidad, es decir, la magnitud de la variable afecta a la diferencia con el DXA. Por lo tanto, futuros estudios con una muestra de nadadores

adolescentes elevada podrían ayudar a diseñar una ecuación específica para esta población.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Grupo GENUD y en especial a Alejandro Gómez-Bruton, Ángel Matute-Llorente, Cristina Julián-Almarcegui, Alba Gómez-Cabello, Alejandro González-Agüero, José Antonio Casajús y Germán Vicente-Rodríguez su colaboración y oportunidades para realizar este estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Cordova, A., et al., *Physical activity and cardiovascular risk factors in Spanish children aged 11-13 years. Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*, 2012. **65**(7): p. 620-6.
2. Ara, I., et al., *Regular participation in sports is associated with enhanced physical fitness and lower fat mass in prepubertal boys. Int J Obes Relat Metab Disord*, 2004. **28**(12): p. 1585-93.
3. Djelic, M., et al., *[Physiological adaptation of anthropometric and cardiovascular parameters on physical activity of elite athletes]. Srp Arh Celok Lek*, 2012. **140**(7-8): p. 431-5.
4. Lee, M.G., et al., *Effects of high-intensity exercise training on body composition, abdominal fat loss, and cardiorespiratory fitness in middle-aged Korean females. Appl Physiol Nutr Metab*, 2012. **37**(6): p. 1019-27.
5. Thompson, D., et al., *Physical activity and exercise in the regulation of human adipose tissue physiology. Physiol Rev*, 2012. **92**(1): p. 157-91.

6. *Vissers, D., et al., The effect of exercise on visceral adipose tissue in overweight adults: a systematic review and meta-analysis. PLoS One, 2013. 8(2): p. e56415.*
7. *Almeras, N., et al., Fat gain in female swimmers. Physiol Behav, 1997. 61(6): p. 811-7.*
8. *Avlonitou, E., et al., Estimation of body composition in competitive swimmers by means of three different techniques. Int J Sports Med, 1997. 18(5): p. 363-8.*
9. *Malina, R.M., B.W. Meleski, and R.F. Shoup, Anthropometric, body composition, and maturity characteristics of selected school-age athletes. Pediatr Clin North Am, 1982. 29(6): p. 1305-23.*
10. *Eisenmann, J.C., et al., Combined influence of cardiorespiratory fitness and body mass index on cardiovascular disease risk factors among 8-18 year old youth: The Aerobics Center Longitudinal Study. Int J Pediatr Obes, 2007. 2(2): p. 66-72.*
11. *Froberg, K. and L.B. Andersen, Mini review: physical activity and fitness and its relations to cardiovascular disease risk factors in children. Int J Obes (Lond), 2005. 29 Suppl 2: p. S34-9.*
12. *Jekal, Y., et al., Interaction between fatness and fitness on CVD risk factors in Asian youth. Int J Sports Med, 2009. 30(10): p. 733-40.*
13. *Leunissen, R.W., et al., Fat mass accumulation during childhood determines insulin sensitivity in early adulthood. J Clin Endocrinol Metab, 2008. 93(2): p. 445-51.*
14. *Faria, I.E., Applied physiology of cycling. Sports Med, 1984. 1(3): p. 187-204.*
15. *Penteado, V.S., et al., Diet, body composition, and bone mass in well-trained cyclists. J Clin Densitom, 2010. 13(1): p. 43-50.*

16. Ferguson, L.M., et al., *Effects of caloric restriction and overnight fasting on cycling endurance performance. J Strength Cond Res*, 2009. **23**(2): p. 560-70.
17. Parker, L., et al., *Validity of six field and laboratory methods for measurement of body composition in boys. Obes Res*, 2003. **11**(7): p. 852-8.
18. Radley, D., et al., *Estimates of percentage body fat in young adolescents: a comparison of dual-energy X-ray absorptiometry and air displacement plethysmography. Eur J Clin Nutr*, 2003. **57**(11): p. 1402-10.
19. Vicente-Rodriguez, G., et al., *Reliability and intermethod agreement for body fat assessment among two field and two laboratory methods in adolescents. Obesity (Silver Spring)*, 2012. **20**(1): p. 221-8.
20. Durnin, J.V. and M.M. Rahaman, *The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. Br J Nutr*, 1967. **21**(3): p. 681-9.
21. Slaughter, M.H., et al., *Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. Hum Biol*, 1988. **60**(5): p. 709-23.
22. Carter, J.E.L., *Body composition of Montreal Olympic Athletes. Basel: Karger ed. En J.E.L. Carter (Ed), Physical Structure of Olympic Athletes. Parte I. Montreal Olympic Games Anthropological Project 1982. 107-116.*
23. Faulkner, R.A., et al., *Comparison of bone mineral content and bone mineral density between dominant and nondominant limbs in children 8–16 years of age. American Journal of Human Biology*, 1993. **5**(4): p. 491-499.
24. Deurenberg, P., J.A. Weststrate, and J.C. Seidell, *Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas. Br J Nutr*, 1991. **65**(2): p. 105-14.

25. Clasey, J.L., et al., *Validity of methods of body composition assessment in young and older men and women. J Appl Physiol*, 1999. **86**(5): p. 1728-38.
26. Prior, B.M., et al., *In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. J Appl Physiol*, 1997. **83**(2): p. 623-30.
27. Rodriguez, G., et al., *Body fat measurement in adolescents: comparison of skinfold thickness equations with dual-energy X-ray absorptiometry. Eur J Clin Nutr*, 2005. **59**(10): p. 1158-66.
28. Siri, W.E., *Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. Nutrition*, 1993. **9**(5): p. 480-91; discussion 480, 492.
29. Brozek, J., et al., *Densitometric Analysis of Body Composition: Revision of Some Quantitative Assumptions. Ann N Y Acad Sci*, 1963. **110**: p. 113-40.
30. Pietrobelli, A., et al., *Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. Am J Physiol*, 1996. **271**(6 Pt 1): p. E941-51.
31. Bland, J.M. and D.G. Altman, *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet*, 1986. **1**(8476): p. 307-10.
32. Krouwer, J.S., *Why Bland-Altman plots should use X, not (Y+X)/2 when X is a reference method. Stat Med*, 2008. **27**(5): p. 778-80.
33. Gonzalez-Aguero, A., et al., *Accuracy of prediction equations to assess percentage of body fat in children and adolescents with Down syndrome compared to air displacement plethysmography. Res Dev Disabil*, 2011. **32**(5): p. 1764-9.