



ISSN: 2636-848X

DOI: 10.46385/tsbd.887907

**Türk Spor Bilimleri
Dergisi**
Türk Spor Bil Derg

Cilt 4, Sayı 1
Mart 2021, 41-50

**The Journal of Turkish
Sport Sciences**
J Turk Sport Sci

Volume 4, Issue 1
March 2021, 41-50

 **Nigar KÜÇÜKKUBAŞ¹**

¹ Yalova Üniversitesi
Spor Bilimleri Fakültesi

Sorumlu Yazar: N. Küçükkubaş
e-mail: nigar.kucukkubas@hotmail.com

Geliş Tarihi: 27.02.2021
Kabul Tarihi: 16.03.2021

**DERLEME
REVIEW**

Çocuklarda Vücut Kompozisyonunun Belirlenmesi: Biyoelektrik İmpedans Analizi

Özet

Çocukluk döneminde vücut kompozisyonunun etkisi, yetişkinlik dönemi risk faktörleri hakkında bilgi vermektedir. Bu nedenle, çocukluk döneminde, vücut suyu, kemik kütlesi, yağ kütlesi ve yağsız vücut kütlesindeki değişimin takip edilmesi ve egzersizin bu değişimlere olan etkisi klinik sağlık ve spor bilimlerinin araştırma alanı olmuştur. Çocukların vücut ağırlığını oluşturan bileşenler farklı büyüme ve gelişim döneminde değişmektedir. Büyüme ve gelişme döneminde vücut kompozisyonu ölçülmesi ve değerlendirilmesinde, kullanışlı, geçerli ve güvenilir yöntemin seçilmesi en kritik noktadır. En doğru sonuca ulaşabilmek için kullanılan laboratuvar yöntemlerinin çoğu uzmanlık gerektirmektedir. Laboratuvar ortamı olmayan büyük çalışma gruplarının ölçümünde kolay saha yöntemleri tercih edilmektedir. Çoğu zaman kullanım kolaylığı ve taşınabilir olması nedeniyle bilimsel çalışmalarda sıklıkla Biyoelektrik İmpedans Analizi (BİA) seçilmektedir. Popülasyona uygun BİA modelinin ve formülünün belirlenmesiyle doğru ve kesin sonuçlar elde edilmesi oldukça kolaydır. Bu derlemede, çocukların neden yetişkinlerden farklılaştığı, ölçümlerde kullanılan yöntem ve geliştirilmiş formüllerin sınırlılıkları ortaya konulmuştur. Vücut kompozisyonu bileşenlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlere ait çalışmalar tartışılmıştır. BİA'dan elde edilen ham verinin kullanımındaki yaklaşımlar ve modele ait yazılımdaki formül yerine popülasyona özel uygun regresyon formülünün seçimi ele alınmıştır. Bu derlemede ayrıca, oldukça özel bir grup olan sporcu çocuklardaki farklılıklar analiz edilmiştir. Ayrıca fizyolojik ve performans faktörlerini etkileyen yağ ve yağsız vücut kütlesinin belirlenmesinde doğru sonuçlara ulaşmak için hangi verilerin dikkate alınması gerektiği bu derlemede özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoelektrik impedans analizi, sporcu çocuklar, yağ kütlesi, yağsız vücut kütlesi, toplam vücut suyu

Body Composition Determination in Children: Bioelectric Impedance Analysis

Abstract

The effect of body composition during childhood gives information about risk factors of adulthood. Therefore, monitoring the changes in body water, bone mass, fat mass and lean body mass in childhood and the effect of exercise on these changes have been the research area of clinical health and sports sciences. The components that make up the body weight of children change in different growth and development periods. The most critical point is to choose useful, valid and reliable method in measuring and evaluating body composition during growth and development. Most of the laboratory methods used to reach the most accurate result require expertise. Easy field methods are preferred in the measurement of large groups that do not have a laboratory environment. Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) is frequently chosen in scientific studies due to its ease of use and portability. It is very easy to obtain accurate and precise results by determining the BIA model and formula suitable for the specific population. In this review, the reasons why children differ from adults, the methods used in measurements and the limitations of the developed formulas have been revealed. Studies on the methods used to determine body composition component are discussed. Approaches in the use of raw data obtained from BIA and the selection of population-specific regression formula instead of the formula in the software of the model are discussed. This review also reveals the difference in children athletes, which is a very special group. Moreover, which data should be taken into account in order to reach the correct results in determining fat and lean body mass that affect physiological and performance factors were summarised in this review.

Keywords: Bioelectrical impedance analysis, athletes, fat mass, lean body mass, total body water

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü'nün verileri, 1975'ten 2016'ya kadar, 5-19 yaş arası aşırı kilolu ya da obez çocuk ve ergenlerin dünya genelindeki görülme oranının %4'ten %18'e çıkarak dört kattan fazla arttığı rapor edilmiştir (https://www.who.int/health-topics/obesity#tab=tab_1 (25.02.2021)). Aşırı kiloluluk ve obezitenin artması vücut kompozisyonunun doğru ve kesin ölçümünün önemini ön plana çıkarmaktadır (Gutiérrez-Marín vd., 2021; Vermeiren vd., 2021). Vücut kütle indeksi dünya çapında yağlılık indeksi olarak kullanılmaktadır ancak bu veri doğrudan yağ ve yağsız kütle bilgisini ayrı değerlendirmemize olanak vermemektedir. Vücut kompozisyonu belirlenmesinde yaş, etnik köken ve sağlık durumuna göre farklı yöntemler kullanılabileceği göz önüne alınmalıdır (Ellis, Abrams ve Wong, 1999; Hills, 2001; Meleleo vd., 2017; Sopher vd., 2005; Vermeiren vd., 2021).

Vücut kompozisyonunun doğrudan ölçümü, kadavra yöntemi kullanılarak doku miktarının belirlenmesiyle sağlanabilir. Bu nedenle referans yöntemlerin hepsi dolaylı yöntemlerdir. "Referans" ya da "Altın Standart" olarak kabul edilen yöntemlerde kullanılan doku yoğunlukları kadavra ile belirlenmiş dokuların yoğunluklarıyla aynı olduğu varsayılarak geliştirilmiş olması baştan potansiyel bir problem oluşturmaktadır. Vücut yoğunluğu, yağsız vücut kütlesi ve yağ kütlesinin belirlenmesi için, hidrostatik tartım, biyoelektrik impedans analizi (BİA), hava yer değişimi plethismografi, potasyum 40 sayımı, nötron aktivasyonu analizi, izotop dilüsyonu, dual energy X-ray absorptiometri (DXA), manyetik rezonans görüntüleme (MR) ve antropometrik yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır (Bunc, 2001; Hills, 2001; Guo, Roche ve Houtkooper, 1989; Nielsen vd., 1993; Roche, 1993; Roemmich, Clark, Weltman ve Rogol, 1997; Salmi, 2003; Schaefer, Georgi, Zieger ve Schärer, 1994; Thivel vd., 2018).

Çocuklarda klinik uygulamalarda ve bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılan Dual X-Ray Absorbtiometri (DXA) ve Biyoelektrik İmpedans Analizi (BİA) yöntemleri vücudun farklı bileşenlerini ve segmentlerini ayrı ayrı ölçme ve değerlendirmeye olanak sağlamaktadır (Brantlov, Ward, Jødal, Rittig ve Lange, 2017; Vermeiren vd., 2021). Çocuklarda kemik mineral içeriği, normal popülasyondan farklılaşan en önemli vücut bileşenlerinden biridir. Referans yöntemlerden DXA, "Altın Standart" olarak hem segmental hem de toplam kemik mineral içeriğini ve yoğunluğunu belirlenmesi nedeniyle oldukça değerli bir yöntemdir. Ancak cihazın maliyeti yüksektir. BİA, ikincil (duble) dolaylı bir yöntemdir, birçok referans yöntemlerden geliştirilen regresyon formüllerinin kullanılmasıyla, toplam vücut suyu, yağsız vücut kütlesi ve yağ kütlesi belirlenebilmektedir (Brantlov vd., 2017; Guo vd., 1989; Meleleo vd., 2017; Oppliger, Nielsen ve Vance, 1991; Schaefer vd., 1994). Farklı popülasyonlarda geçerlilik ve güvenilirlik çalışmaları rapor edilmiş BİA formüllerinden ve modellerinden, doğru ve kesin sonuçlar elde edilebilmektedir (Brantlov vd., 2017; Kushner, Schoeller, Fjeld ve Danford, 1992).

Çocukların Vücut Kompozisyonu Yetişkinlerden Neden Farklıdır?

Çocuklar yetişkinlerin minyatürleri değildir (Hills, 2001). Bireylerin çocukluktan ergenliğe, ergenlikten yetişkinliğe kadar oluşan geçiş dönemi morfolojik ve fizyolojik açıdan oldukça değişkendir. Yetişkin doku içeriğine ulaşana kadar geçen büyüme döneminde, yüksek su içeriği ve kemik mineralizasyonunun tamamlanmaması vücut bileşenlerinde farklılaşmanın nedeni olmaktadır (Van Eyck vd., 2021). Vücut yoğunluğu, yağ yüzdesi ve yağsız vücut yüzdesinde meydana gelen oransal değişimler birçok bilimsel çalışmada rapor edilmiştir (Harsha, Frederichs ve Berenson, 1978; Haschke, 1983; Lohman, Boileau ve Slaughter, 1984; Lohman, 1986; Maynard vd., 2001; Meleleo vd., 2017; Van Eyck vd., 2021). "Altın standart" olarak kabul edilen hidrostatik tartım yöntemiyle boylamsal takip edilen normal çocuklarda (8-18 yaş, 201 erkek ve 186 kadın) vücut yağ yüzdesi 14 yaşından sonra istatistiksel olarak azalırken 15 yaşından sonra yağsız vücut kütlesinde artma rapor edilmiştir (Maynard vd., 2001).

Yağsız vücut kütlesi; su, protein, karbonhidrat, kemikle ilgili ve kemikle ilgili olmayan minerallerden oluşmaktadır. İlerleyen yaş ile yağ harici vücut kütlesinin su içeriği azalırken protein konsantrasyonu ve kemikle ilgili mineral içeriği artmaktadır. Kemik mineral içeriği ve yoğunluğunun özellikle hızlı gelişim

döneminde (growth spurt) artması, yağsız vücut kütlelerinin yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır (Haschke, 1983; Van Eyck vd., 2021).

Çocuk ve ergen sporcularda, yağsız vücut ve kemik kütlesi miktarının artması, vücut yoğunluğunun diğer yaşit popülasyonlara göre daha da yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle farklı yaş grupları için özel formüller geliştirilmiştir (Açıkada, Ergen, Alpar ve Sarpyener, 1991; Bunc, 2001; Guo vd., 1989; Hills, 2001; Kyle vd., 2001).

Yukarıda bahsedilen bilimsel çalışmalar ışığında; büyüme ve gelişim dönemlerine, yaş gruplarına, cinsiyete, aşırı yağlılık düzeyine (aşırı zayıf ya da morbid obez ve benzeri gibi) ve spor branşına göre farklılaşan morfolojik ve fizyolojik bileşene özel değişimlerin ölçülmesi ihtiyacı doğmaktadır. Vücut suyu, protein ve kemik mineral içeriğinden oluşan yağsız vücut kütlesi ve yağ kütlesinin ölçülmesi için doğrudan referans yöntemlerin kullanılması oldukça maliyetlidir ve çoğu uzmanlık gerektirmektedir. Bu nedenle oldukça kullanışlı bir yöntem olan BIA kullanılarak, yağsız vücut kütlesi ve yağ kütlesi miktarının hesaplanmasını sağlayan veriler elde edilebilmektedir.

Biyoelektrik İmpedans Analizi (BIA) Kullanımı

BIA, non-invaziv, tekrar edilebilir, çabuk, basit, pahalı olmayan ve taşınabilir fakat deri kıvrımı ve antropometrik yöntemlere göre daha pahalı bir yöntemdir (Heyward ve Stolarsczyk, 1996; Kushner vd., 1992).

Elektrik akımı insan vücudunda su içeren dokulardan geçer. Vücudun sulu dokuları çözülmüş elektrolitleri nedeniyle elektrik akımının en önemli yoludur, miktarına göre elektrik akımının geçişinin büyüklüğü belirlenir. Vücut yağı ve kemikler çok zayıf geçirgenliğe sahiptirler (Brantlov vd., 2017; Heyward ve Stolarsczyk, 1996; Salmi, 2003). BIA ölçümlerinde iki parametre kullanılır; rezistans ve reaktans. Rezistans, vücuttan geçen elektrik akımına karşı oluşan saf direnç ölçümüdür. Reaktans ise elektrik akımının tersine, hücre zarı tarafından üretilen kapasitansın neden olduğu ters akımdır. "İmpedans" rezistans ve reaktansın bir fonksiyonudur (Brantlov vd., 2017; Ellis vd., 1999b; Kushner vd., 1992). Klasik BIA yönteminde, insan vücudunun silindir gibi olduğu varsayılır ve BIA toplam vücut suyunu ölçer, böylece yağsız vücut kütlesi ve yağ kütlesinin hesaplanmasını sağlar (Brantlov vd., 2017; Kyle vd., 2004; Salmi, 2003).

BIA ile vücut kompozisyonu ölçümünde impedans değerini etkileyen faktörler bulunmaktadır. BIA cihazlarında kullanılan elektrik akımının tek ve çoklu frekanslı olması (single ve multi-frequency) ya da tüm vücut ve segmental ölçüm yapabilmesi en önemli faktörlerdir. Elektrik akımının tek ya da çok frekanslı olması hücre içi ve dışı bilgiyi ayrı ölçerken; tüm vücut ya da segmental ölçüm yapan cihazlar vücudun sıvı dağılımındaki farklılığı göz ardı etmiş olur. Elden-ale, ayaktan ayağa ya da toplam vücut ölçümleri yapan farklı BIA cihazlarında yağ ve yağsız vücut kütlesi dağılımının farklı olduğu bireylerde toplam vücut ölçümünün farklılaşabileceği ihtimali dikkate alınmalıdır (Brantlov vd., 2017). Farklı üreticilerin impedans analizörlerinin kalibrasyonundan öncesi ve sonrası ölçümleri bile değişebilmektedir (Shafer, Siders, Johnson ve Lukaski, 2009). Bu nedenle, analizörün çeşidine göre regresyon formülünün uygulanabileceği analizörlerin seçilmesi tavsiye edilmektedir.

BIA, vücut bileşenlerinin su içeriğini kestirdiğinden, geçerli ölçüm için doku hidrasyon durumu can alıcı noktadır. BIA ölçümü, yemek ve bağırsaklardaki yiyeceklerin ağırlığını (Slinde ve Rossander-Hulthen, 2001), kıyafet, deri ısı ve kan akımını da (Caton, Mole, Adams ve Heustis, 1988; Gudivaka, Schoeller ve Kushner, 1996; Liang ve Norris, 1993; Liang, Su ve Lee, 2000) içermesi nedeniyle ölçümün doğruluğunu etkilemektedir (Salmi, 2003). Ölçüm öncesinde ağır egzersiz yapılmaması gerektiği ölçümlerde kesin kural olarak bildirilse de farklı şiddetlerdeki egzersizlerde vücut yağ yüzdesini ve yağsız vücut kütlelerinin belirlenmesinde anlamlı farklılık olan (Romanowski, Fradkin, Dixon ve Andreacci, 2015) ve olmayan (Hazır, Köse, Esatbeyoğlu, Ekinci ve İşler, 2020) çalışmalar bildirilmiştir. Ayrıca çocukların uzun süre yatay pozisyonda (supin) sabit kalması durumunda, vücut suyunun yer değişiminin dikkate alınması gerekmektedir (Küçükkuş, Hazır ve Açıkada, 2006). BIA kullanılırken kullanım kurallarının istisnasız uygulanması gerekmektedir. Elektrotların yanlış yerleştirilmesi, rezistans değerinin daha az çıkmasına ve

hata yapılmasına neden olmaktadır (Lukaski ve Bolonchuk, 1988). Bu nedenlerle, ölçümün doğruluğunu etkileyen tüm faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Yapılan çalışmalarda yaş ve vücut büyüklükleri açısından oldukça geniş aralığa sahip olmasına rağmen, regresyon formüllerinde yüksek ve anlamlı korelasyon katsayıları elde edilmiştir (Bunc, 2001; Kushner vd., 1992; Küçükkuş, 2007; Oppliger vd., 1991; Schaefer vd., 1994). Ayrıca, yetişkin ve çocuk BİA çalışmalarında farklı değişkenler kullanılarak açıklayıcılık katsayısı daha yüksek regresyon formülleri rapor edilmiştir (Chumlea, Baumgartner ve Roche, 1988; Goran, Driscoll, Johnson, Nagy ve Hunter, 1996; Guo vd., 1989; Houtkooper, Going, Lohman, Roche ve Van Loan, 1992; Kushner ve Schoeller, 1986; Schaefer vd., 1994).

Ölçümün doğruluğu ve kesinliği için regresyon formülü seçimini popülasyona ve cinsiyete özel olması beklenmektedir. Kısaca kullanıcı, üretici firmanın regresyon modellerini bilmesi gerekmektedir (Goran vd., 1996; Kushner vd., 1992; Utczás, Tróznai, Pálinskás, Kalabiska ve Petridis, 2020). Geliştirilen regresyon formülleri çalışmalarında toplam vücut suyunun hesaplanabilmesi için boy/boy² ve vücut ağırlığı iyi değişkenler olarak belirlenmiştir (Tablo 1). BIA ölçümlerinde daha doğru ve kesin sonuçlara ulaşmak için farklı antropometrik değişkenlerin kullanıldığı formüller de geliştirilmiştir (Goran vd., 1996; Kushner vd., 1992; Küçükkuş, 2007).

Tablo 1. Çocuk popülasyonuna özel geliştirilmiş BİA regresyon formül örnekleri

Kaynak	Popülasyon	n	Referans yöntem	Regresyon Formülleri	R ²	s
Guo vd., 1989	Beyaz 7-25 yaş	140 erkek	Hidrostatik Tartım	YVK= -2.9316 + 0.6462(VA) - 0.1159(LateralBaldır dkk) - 0.375(Midaksilla dkk) + 0.475(Kalça çevre) + 0.156(Boy ² /R)	0.98	2.31
Gutiérrez-Marin vd., 2021	Obez 8-14 yaş	Erkek: 170 Kadın: 145	4-Bileşen Modeli (düzeltilmiş YVK yoğunluğu)	YVK = -9.012 + 0.818(Boy) ² /R + 0.742(yaş) + 0.648(cinsiyet) + VKİ (kg/m ²) E=1 K= 2 Boy (m)	0.877	2.712
Küçükkuş, 2007	15-17 yaş erkek karma sporcu	145 erkek ergen	Hidrostatik Tartım	YVK = -9.718 + 0.849(VA) + 0.0721(İ) + 0.04938(Xc) + 0.532(yaş) - 0.217 (abdomen dkk) - 0.145(uyuk dkk)	0.97	1.473
Chumlea vd., 1988	9-17 yaş	Erkek: 24 Kadın: 25	Hidrostatik Tartım Nitrojen Yıkama	Erkek YVK = -1.23+0.92 (Boy ² /R) Kadın YVK = -1.38+0.96(Boy ² /R)	0.88 0.84	4.02 4.19
Houtkooper, vd., 1992	Beyaz (10-19yaş)	Erkek Kadın n=94	Hidrostatik Tartım Deuteriyum Dilüsyonu	YVK=1.31+0.61(Boy ² /R)+0.25(VA)	0.95	2.1
Oppliger vd., 1991	15.7±1.1 yaş Güreş	Erkek: 110	Hidrostatik Tartım	YVK= 1.949+0.701(VA) +0.186 (Boy ² /R)	0.96	1.89
Schaefer vd., 1994	3.9-19.3 yaş, çocuk ergen ve genç	Kadın: 53 Erkek: 59	⁴⁰ K Spektrometri	YVK = 0.65 · (Boy ² /R) + 0.68·yaş + 0. 15	0.975	1.98
Goran, vd., 1996	(4-10 yaş)	Kadın: 49; Erkek:49	DXA	YVK (kg) = 0.16(Subskapular dkk) + 0.33(VA) + 0.11(Trisept dkk) - 0.16((Boy ² /R) - 0.43(cinsiyet) -2.4 Cinsiyet E=1 K=0	0.91	0.94
Bray vd., 2001	10-12 yaş (farklı etnik ve yağlılık grubu)	Erkek: 65 Kadın:64	4-Bileşen (Modeli)	TVS = 0.40 (Boy ² /R) + 0.148 (VA) + 3.32 VY%= [- 0.423 + 1.353/(1/VY) - 0.83(TVS/VA) - 4.56 (KMI/VA)] x 100	0.86 0.93	

VY: Vücut Yoğunluğu(g/cm³); YVK: Yağsız Vücut Kütle(kg); VY%: Vücut Yağ Yüzdesi; VA: Vücut Ağırlığı(kg); dkk: deri kıvrım kalınlığı(mm); R: Rezistans (Ω); Xc: Reaktans(Ω); Z ya da RI: İmpedans ya da Rezistans İndeks (Boy²/R); TVS: Toplam Vücut Suyu; KMI(kg): Kemik Mineral İçeriği; DXA: Dual X-Ray Absorbtometri; RH: Rezidual Hacim; E: Erkek; K: Kadın; Boy (cm): Boy uzunluğu; R²:Açıklayıcılık katsayısı; s: Regresyon modelinin standart hatası

Çocuklarda Biyoelektrik İmpedans Analizi Kullanımı

Çocuklarda vücut kompozisyonu, ergenliğin sonuna kadar geçen değişim ve gelişim döneminde referans popülasyondan kemik mineralizasyonu ya da yağsız vücut kütle açısından farklılaşmaktadır (Van Eyck vd., 2021). Bu nedenle 2-Bileşen modelinin sınırlılıkları vardır. Çocuklar yetişkinlere göre daha çok vücut suyu ve daha az relatif kemik kütlelerine sahiptir (Lohman vd., 1984b).

Ayrıca çocuklarda sıvı ve potasyum miktarının diğer popülasyonlardan farklılığı uygun BIA cihazının kullanımında problemlere neden olmaktadır (Boileau, Lohman ve Slaughter, 1985). Bu nedenle BIA'dan elde edilen ham verinin uygun çocuk grubuna göre geliştirilmiş formülde yeniden hesaplanması gerekmektedir. Çocuklarda vücut yağlılığının belirlenmesi, bu nedenlerden tam olarak çözümlenememiştir

(Boileau vd., 1985; Brantlov vd., 2017; Bray, DeLany, Harsha, Volaufova ve Champagne, 2001; Goran vd., 1996; Lohman vd., 1984a; Lohman, 1986; Meleleo vd., 2017; Mukherjee ve Roche, 1984). 4-Bileşen modelinin referans olarak kullanıldığı, yağsız vücut kütleindeki farklılaşmayı belirleyen ya da yağlılık miktarına göre sınıflandırma yapan doğru ve kesin sonuçlara ulaşılan kullanımı kolay regresyon formülleri geliştirilmiştir (Bray vd., 2001; Gutiérrez-Marín vd., 2021). Böylece kemik mineral kütlesi ya da vücut suyunun miktarının belirlenmesindeki problemler minimize indirilmeye çalışılmıştır.

Çocuklarda ve ergenlerde, 4-Bileşen modeli, hidrostatik tartım (Roemmich vd., 1997; Sopher vd., 2005; Wells vd., 1999) ve diğer referans yöntemler kullanılarak geliştirilen formüller bulunmaktadır (Bray vd., 2001; Bunc, 2001; Ellis, Shypailo, Abrams ve Wong, 2000; Haschke, 1983; Oppliger vd., 1991; Schaefer vd., 1994). Dört bileşen modellerinin (yoğunluk, su, kemik mineral ve yağ yüzdesi) geliştirilmesi ve kullanılması, yağsız vücut kütleindeki iki varyasyonun (kemik, mineral ve su) doğrudan ölçülmesi nedeniyle, vücut yoğunluğunun belirlenmesinde en ideal yaklaşımdır (Bray vd., 2001). Obez çocukların uzun dönem takibinin yapılması gereken çalışmalarda doğrudan referans yöntemlerin kullanımı tercih edilmiştir (Vermeiren vd., 2021). Referans yöntemlerin kullanımı tavsiye edilse de, su ve kemik mineral yoğunluğu ve içeriğindeki farklılaşma çocukların daha yağlı çıkmasına neden olmaktadır (Bray vd., 2001; Gutiérrez-Marín vd., 2021). Obez çocukların vücut ağırlığındaki azalmanın 10 ay takip edildiği çalışmada DXA ve BIS (Biyoelektrik impedans spektroskopisi) yöntemlerinin birbirinin yerine kullanılabileceği ancak yine de BIS ölçümlerinin vücut yağlılığını DXA'ya göre daha yüksek kestirdiği bulunmuştur (Vermeiren vd., 2021).

Farklı popülasyonlar için geliştirilmiş formüllerin, ergenlik öncesi dönemdeki çocukların vücut kompozisyonunun belirlenmesinde kullanıldığında, vücut yağının %3-6 oranında yüksek kestirildiği, yağsız vücut kütleinin ise aynı oranda düşük kestirildiği bildirilmiştir (Harsha vd., 1978; Lohman vd., 1984a). Çocuk ve gençlerde, ergenlik dönemi boyunca, vücut yağlılığının belirlenmesinde, yağ oranından çok yağsız vücut kütleindeki kimyasal değişim önem kazanmaktadır (Slaughter vd., 1988). Bunun yanında, Lohman (1986), vücut yağ yüzdesi hesaplamalarında, geç ergenlerin biyolojik yapılarının yetişkinlere yakın olması nedeniyle yetişkinler için geliştirilen 2-Bileşenli regresyon modellerinin geç ergen çocuklarda da kullanılabileceğini önermektedir.

Yağsız vücut kütleinin kimyasal kompozisyonu çocukluktan ergenliğe kadar değişkendir (Van Eyck vd., 2021). Kimyasal olgunlaşma yağsız vücut kütleindeki istikrar ile gösterilmektedir. Bir bireyin yağsız vücut kütleindeki kompozisyonu yetişkin bireyin değerlerine (su %73.8, mineral %6.8, protein %18.8) ulaştığında kimyasal olarak yetişkin olduğu söylenebilir. Bu değerler 17-20 yaşları civarında yetişkinlere benzer değerlere ulaşır (Van Eyck vd., 2021). Sonuç olarak, çocukların relatif vücut yağları geleneksel 2-Bileşen modelinde daha yüksek kestirilir (Hills, 2001). Bu nedenle çocuklarda, yetişkinlere ait regresyon formülleri kullanılması durumunda yüksek yağ oranı kestirilecektir (Bray vd., 2001).

Sporcu Çocuklar Diğer Çocuklardan Neden Farklıdır?

Çocukların yüksek fiziksel aktivite sonucu kemik mineralizasyonu ve kas kütlesi artmaktadır ve bu artış yağsız vücut kütleinin içeriğini değiştirmektedir. Bu nedenle belirlenen vücut yoğunluğu kemik ve su içerikleri değişmekte ve vücut kütleini oluşturan referans rakamlar uygulanamamaktadır (Meleleo vd., 2017; Van Eyck vd., 2021). Çocuklardaki kimyasal olgunlaşma ile ilgili bilgilerin yetersizliği nedeniyle birçok araştırmacı deri kıvrımı ve yoğunluk ilişkisindeki yaşa bağımlı değişimi incelemişlerdir (Harsha vd., 1978; Mukherjee ve Roche, 1984; Slaughter vd., 1984; Maynard vd., 2001). Vücut yoğunluğu aynı deri kıvrım kalınlığında, ergenlik öncesi ve sonrası erkeklerde 1.046 ile 1.057g/cm³, kadınlarda ise 1.038 ile 1.048 g/cm³ arasında değişmektedir (Slaughter vd., 1984). Küçükbaş (2007) 15-17 yaş arasında ergen 155 erkek karma sporcu grubunda yaptığı çalışmada altın standart olan hidrostatik tartım yöntemi ile belirlenen vücut yoğunluklarının yukarıda bahsedilen diğer ergenlik öncesi ve sonrası gruplardan daha yüksek olduğunu göstermiştir (\bar{x} = 1.070 ± 0.011 g/cm³ R = 1.034 - 1.091 g/cm³). Yapılan benzer bir çalışmada, 16-17 yaş arası, atletizm, dalma, cimnastik ve güreş branşlarında gençler olimpik ulusal

şampiyona yarışmalarına katılan 141 erkek ergen sporcu hidrostatik tartım yöntemiyle ölçülmüş, vücut yoğunluğunu 1.080 ± 0.010 g/cm³ ve vücut yağ yüzdesini 9.05 ± 3.84 bildirilmiştir (Thorland, Johnson, Tharp, Fagot ve Hammer, 1984). Ayrıca, birçok bilimsel çalışmada, farklı spor branşlarında yarışan sporcu çocukların sedanter bireylere göre düşük vücut yağ yüzdesine sahip oldukları da rapor edilmiştir (Ackland ve Blanksby, 2001; Broder, Burrhus, Svanevik, Volve ve Willmore, 1997; Jakše vd., 2021). Tüm bu bulgular değerlendirildiğinde, sedanter çocuk ya da ergen popülasyon için geliştirilen formüllerin sporcu popülasyonu için kullanımı yanıltıcı olduğu sonucuna varılabilir.

Sporcu Çocuklarda Biyoelektrik İmpedans Analizi Kullanımı

Erken çocukluk döneminde başlanan bale ve cimnastik gibi sanat ve spor branşlarında vücut kompozisyonu hem estetik hem de performans nedeniyle kritik rol oynamaktadır. Relatif kuvvet ya da dayanıklılık parametrelerini etkileyen yağ ve kas kütesinin belirlenmesi de oldukça önemlidir. Ancak sporcu çocuklarda, performansı etkileyen faktörlerden biri olan antropometrik özelliklerin ve vücut kompozisyon parametrelerinin takibinde hangi yöntem ve formüllerin kullanılacağı önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

Antrenörlerin ve sporcuların vücut kompozisyon parametrelerini takipte ya da bilimsel çalışmalarda araştırma probleminin çözümlenmesinde regresyon modelinin seçimi oldukça önemlidir. Sporcuların vücut yağ yüzdesi ya da yağsız vücut kütesi belirlenmesinde, yazılımlarında sporculara özel geliştirilmiş formül kullanmayan BIA cihazlarının verileri hata payı yüksek ve gerçekçi değerleri yansıtmadığı da bildirilmiştir (Harbili, Hazır, Hazır, Şahin, Harbili Açıkada, 2008; Küçükkuş, Aytar, Açıkada ve Hazır, 2020). Çocuk sporcularda farklı BIA modellerinin hidrostatik tartım yöntemiyle geçerlilik çalışması yapılmıştır. Frekans ya da ölçüm pozisyonu farklılığı (tek ya da çok frekanslı, yatay (supin) ya da ayakta) olan cihazların ergen erkek sporcular için geçerli olan ve olmayan sonuçları bildirilmiştir (Küçükkuş, vd., 2020). Bu durumda hangi BIA'yı neden kullanmalıyız sorusunun cevabı; spor branşı, sporcu yaşı ve cinsiyetine özel geliştirilmiş regresyon formüllerini kullanan ya da regresyon formüllerinde kullanacağımız ham veriyi sağlayan cihaz seçimi olmalıdır.

Spor bilimleri açısından önemli ihtiyaçlardan biri, yarışma kategorisinin vücut ağırlığına göre belirlendiği spor branşlarında vücut kompozisyonunun belirlenmesidir. Sporcunun vücut ağırlığına bağlı olarak hangi sikkette en yüksek performansla yarışacağını belirlemesi antrenörler ve spor bilimciler için kritik noktadır. Güreş, judo, boks gibi sikket sporlarında doğru yaşta yapılan antrenman yüklenmesiyle, artırılmak istenen yağsız vücut kütesinin ve azaltılmak istenen yağ kütesi miktarının belirlenmesi yarışma performansında daha da önem kazanmaktadır. Dayanıklılık sporları, uzun mesafe koşuları, cimnastik gibi yarışma anında vücudun taşıyacağı yükün önem kazandığı spor branşlarında ya da vücut kompozisyonunun performans ve estetik açıdan önem kazandığı bale gibi sanat dallarında yağ oranının olabildiğince az olması gerekmektedir. Sporcuların vücut yapı ve kompozisyonunun atletik performans üzerinde önemli etkisi olduğu bilinmektedir (Citarella, vd, 2021; Ishida, Travis ve Stone, 2021). Bu nedenle yapılan antrenman planlamasında, hedeflenen performans kriterleri takip edilirken yağsız vücut kütesi ve yağ kütesinin miktarındaki değişiminin de takibi yapılmalıdır.

Sporcu çocukların tüm yapısal değişkenlerinin doğru ölçülmesi, spor bilimcilere ve antrenöre avantaj sağlamaktadır. Ancak BIA yöntemi insan vücudunu silindir varsayar ve toplam su miktarı silindirin volumüne eşit olduğunu kabul eder. Antropometrik yapıları farklılaşan bireylerin spor branşlarında vücut segmentlerinin uzunluğu sonuçları etkileyebilir. Uzun boy gerektiren sporlarda, üreticinin regresyon formülünde "boy" değişkeninin kullanılması nedeniyle test edilen çalışmada 12-18 yaşları arasındaki 738 erkek ergen sporcunun (490 futbol, 99 hentbol ve 149 basketbol branşlarındaki) ölçümleri karşılaştırılmıştır (Utczás vd., 2020). Vücudun farklı segmentlerinin ve gövdenin yağ ve yağsız vücut kütesinin BIA kullanılarak belirlendiği çalışmada, üretici firmanın regresyon formülünün referans yöntemine göre özellikle basketbolcularda vücut yağ oranını %8.8 daha düşük; yağsız vücut kütesini 5.3 kg yüksek belirlenmiştir. Vücut segmentlerinin uzunluğunun vücut kompozisyonunu etkilediği basketbol gibi özel branşlarda da sadece o branşa özel regresyon formülü geliştirilmeli ve değerlendirilmelidir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çocuklarda vücut yoğunluğu, vücut yağ yüzdesi, yağ ve yağsız vücut kütlesi regresyon formüllerinin geliştirilmesinde sıklıkla iki yaklaşım olduğu gözlemlenmiştir. Birincisi, “Altın Standart” olarak kabul edilen 2-Bileşen Modelinden yola çıkılarak “hidrostatik tartım” ya da “DXA” kullanılmıştır. İkincisi, 4-Bileşen modeli referans yöntem olarak kullanılmış, yağsız vücut kütlesi bileşenleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tablo 1’de farklı çocuk popülasyonları için geliştirilmiş örnek regresyon formülleri yer almaktadır. Bu formüllerin bazılarında hem BIA hem de antropometrik yöntemlere ait veriler kullanılmış ve açıklayıcılık katsayısı daha yüksek formüller elde edilmiştir. Çocuk popülasyonunda vücut kompozisyonunun belirlenmesinde yağsız vücut kütlesindeki farklılaşmanın önemi nedeniyle, öncelikle bu bileşenlerin hesaplanması ve vücut ağırlığından yağsız vücut kütlesinin çıkarılması önerilmektedir. Çünkü vücut yoğunluğundan, yağ yüzdesinin ya da yağ kütlesinin hesaplanması, yeniden bir regresyon formülü daha kullanılmasını gerektirmektedir. Çocuklar için ayrı formüller uygulansa da bu formüller de ikincil bir regresyon formülünün kullanılmasına ve hatanın artmasına neden olacaktır.

Bütün bu sonuçlar, farklı çocuk popülasyonları üzerinde yapılan çalışmalarda, o popülasyonları dikkate alan regresyon modellerinin geliştirilmesi ya da kullanılmakta olan modellerin geçerli olduğundan emin olunması gerekliliğini göstermektedir. Çocuklarda özellikle yağsız vücut kütlesi içeriğindeki kemik kütlesi ve vücut suyundaki farklılığın ölçüldüğü 4-Bileşen modelinin (ya da çok-bileşenli modellerin) referans alınarak geliştirilen regresyon formüllerinin kullanılması tercih edilmelidir.

Sonuç olarak, BIA cihazı yazılımında özel seçeneklerin sunulduğu firmaların regresyon formülünde hangi değişkenlerin kullanıldığı önem kazanmaktadır. Farklı spor branşlarına ait özelliklerin, yaş ve cinsiyetin, büyüme ve egzersizin etkilediği kimyasal değişimlerin dikkate alındığı formüllerin kullanıldığından emin olunması gerekmektedir. Geliştirilen regresyon formüllerinde referans yöntemin ne olduğu ya da çok-bileşenli modellerin kullanımında bileşenlerin ölçüm yöntemleri de önem kazanmaktadır. Üretici firmaya (ya da cihazın modeline) ait yazılım, ölçüm yapılan bireyin popülasyon özelliklerine uygun değilse bir başka deyişle, popülasyona özgü hesaplama seçeneklerinin olmaması durumunda geliştirilmiş popülasyona özel regresyon modellerinin kullanımına ait değişkenlerin ham veri değerlerini sağlayan markaların kullanılması gerekmektedir.

Sporcu çocukların regresyon formüllerini kullanırken geç ergenlik döneminde yağsız vücut kütlesindeki, protein ve kemik mineral içeriğinin artması vücut yoğunluğunda artışa neden olacağından yetişkinler için kullanılan formüllerin kullanılabileceği bildirilmiştir. Aynı zamanda geç ergen ya da genç yetişkin sporcuların da vücut yoğunluğundaki artış kemik ve kas kütlesi içeriğindeki artış nedeniyle oldukça dikkatli ölçülmeli ve değerlendirilmelidir.

Uzmanlık ya da özel eğitim gerektirmeyen, non-invaziv, taşınabilir, tekrar edilebilir, çabuk, basit ve çok pahalı olmayan vücut kompozisyonu belirleme yöntemi olan BIA kullanımında birey ya da gruba uygun cihaz ve formüllerin kullanılması zorunludur. Popülasyona uygun algoritması olmayan cihazlarda, formüllerde kullanılacak ham verilerin elde edilebileceği modeller satın alınmalıdır. Ham verilerden yola çıkılarak, popülasyona özel geliştirilmiş regresyon formüllerinin kullanılmasıyla, vücut kompozisyonu bileşenlerinden vücut suyu, yağsız vücut kütlesi ve yağ kütlesi değerleri elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ackland, R.T. & Blanksby, B.A. (2001). Gender and activity comparison of body composition among Australian children. *Medicine and Sport Science*, 44, 115-131.
- Açıkada, C., Ergen, E., Alpar, R. ve Sarpyener, K. (1991). Erkek Sporcularda Vücut Kompozisyonu Parametrelerinin İncelenmesi. *Spor Bilimleri Dergisi*, 2(2), 1-25.
- Boileau, R.A., Lohman, T.G. & Slaughter M.H. (1985). Exercise and body composition of children and youth. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 7, 17-27.
- Brantlov, S., Ward, L. C., Jødal, L., Rittig, S., & Lange, A. (2017). Critical factors and their impact on bioelectrical impedance analysis in children: a review. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 41(1), 22-35.

- Bray, G. A., DeLany, J. P., Harsha, D. W., Volaufova, J., & Champagne, C. C. (2001). Evaluation of body fat in fatter and leaner 10-y-old African American and white children: the Baton Rouge Children's Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73(4), 687-702.
- Broder, C.E., Burdhus, K.A., Svanevik, L.S., Volve, J. & Willmore J.H. (1997). Assessing body composition before and after resistance or endurance training. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 29, 705-712.
- Bunc, V. (2001). Prediction equations for the determination of body composition in children using bioimpedance analysis. *Medicine and Sport Science*, 44, 46-52.
- Caton, J.R., Mole, P.A., Adams, W.C. & Heustis, D.S. (1988). Body composition analysis by bioelectrical impedance: effect of skin temperature. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 20, 489-491.
- Chumlea, W.C., Baumgartner, R.N. & Roche, A.F. (1988). Specific resistivity used to estimate fat-free mass from segmental body measures of bioelectric impedance. *The American Journal Of Clinical Nutrition*, 48, 7-15. <https://doi.org/10.1093/ajcn/48.1.7>
- Citarella, R., Itani, L., Intini, V., Zucchinali, G., Scevaroli, S., Tannir, H., ... & El Ghoch, M. (2021). Association between dietary practice, body composition, training volume and sport performance in 100-Km elite ultramarathon runners. *Clinical Nutrition ESPEN*. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.01.029>
- Ellis, K.J., Abrams, S.A. & Wong, W.W. (1999). Monitoring childhood obesity: assessment of the weight/height² index. *American Journal of Epidemiology*, 150(9), 939-946. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a010102>.
- Ellis K.J., Bell S.J., Chertow G.M., Chumlea W.C., Knox T.A., Kotler D.P., Lukaski H.C., & Schoeller D.A. (1999)b. Bioelectrical impedance methods in clinical research: a follow-up to the NIH Technology Assessment Conference. *Nutrition*, 15(11):874–880 90.
- Ellis, K.J., Shypailo, R.J., Abrams, S.A. & Wong, W.W. (2000). The reference child and adolescent models of body composition: a contemporary comparison. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 904(1), 374 - 382. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2000.tb06486.x>
- Goran, M. I., Driscoll, P., Johnson, R., Nagy, T. R., & Hunter, G. (1996). Cross-calibration of body-composition techniques against dual-energy X-ray absorptiometry in young children. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 63(3), 299-305.
- Gudivaka, R., Schoeller, D. & Kushner, R.F. (1996). Effect of skin temperature on multifrequency bioelectrical impedance analysis. *Journal of Applied Physiology*, 81, 838-845.
- Guo, S., Roche, A.F. & Houtkooper, L.(1989). Fat-free mass in children and young adults predicted from bioelectric impedance and anthropometric variables. *American Society for Clinical Nutrition*, 50, 435-443.
- Gutiérrez-Marín, D., Escribano, J., Closa-Monasterolo, R., Ferré, N., Venables, M., Singh, P., ... & Luque, V. (2021). Validation of bioelectrical impedance analysis for body composition assessment in children with obesity aged 8-14y. *Clinical Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.02.001>.
- Harbili, S., Hazir, T., Hazir, S., Şahin, Z., Harbili, E., ve Açıkada, C. (2008). Çocuk Ve Genç Atletlerde Vücut Kompozisyonunun Değerlendirilmesi: Karşılaştırma Çalışması. *Spor Bilimleri Dergisi*, 19(3), 181-200.
- Hazır, T., Köse, M. G., Esatbeyoğlu, F., Ekinci, Y. E., & İşler, A. K. (2020). Yüksek Şiddetli Egzersizin Biyoelektrik İmpedans Yöntemi İle Ölçülen Vücut Kompozisyonu Üzerine Etkisi. *Spor Hekimliği Dergisi*, 55(2), 102-111.
- Harsha, D. W., Frerichs, R. R., & Berenson, G. S. (1978). Densitometry and anthropometry of black and white children. *Human Biology*, 261-280.
- Haschke, F. (1983). Body composition of adolescent males. Part I. Total body water in normal adolescent males. Part II. Body composition of the male reference adolescent. *Acta paediatrica Scandinavica. Supplement*, 307, 1-23.
- Heyward, V.H. & Stolarczyk, L.M. (1996). *Applied Body Composition Assessment*. 4-5, USA. Human Kinetics.
- Houtkooper, L.B., Going, S.B., Lohman, T.G., Roche, A.F. & Van Loan M. (1992). Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. *Journal of Applied Physiology*, 72, 366-73. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.1.366>
- Houtkooper, L.B., Lohman, T.G., Going, S.B. & Hall, M.C. (1989). Validity of bioelectrical impedance for body composition assessment in children. *Journal of Applied Physiology*, 66(2), 814-821. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.66.2.814>
- Hills, J.T. (2001). Body composition assessment in children an adolescents. *Medicine and Sport Science*, 44, 1-13.
- Ishida, A., Travis, S. K., & Stone, M. H. (2021). Associations of Body Composition, Maximum Strength, Power Characteristics with Sprinting, Jumping, and Intermittent Endurance Performance in Male Intercollegiate Soccer Players. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.3390/jfmk6010007>.
- Jakše, B., Jakše, B., Mis, N. F., Jug, B., Šajber, D., Godnov, U., & Čuk, I. (2021). Nutritional Status and Cardiovascular Health in Female Adolescent Elite-Level Artistic Gymnasts and Swimmers: A Cross-Sectional Study of 31 Athletes. *Journal of Nutrition and Metabolism*. ArticleID 8810548 <https://doi.org/10.1155/2021/8810548>.
- Kushner, R.F., Schoeller, D.A., Fjeld, C.R. & Danford, L. (1992). Is Impedans Index (ht²/R) significant in predicting total body water? *American Journal of Clinical Nutrition*. 56, 835-839.

- Kushner, R.F. & Schoeller, D.A. (1986). Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 44, 417-424.
- Küçükkuş, N., Aytar, S. H., Açıkada, C., & Hazır, T. (2020). Bioelectric impedance analyses for young male athletes: A validation study. *Isokinetics and Exercise Science*, 28(1), 49-58. Doi: 0.3233/IES-185209.
- Küçükkuş, N., (2007). 15-17 Yas Antrenmanlı Erkek Ergenlerde Vücut Kompozisyonunun Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Bilimleri Fakültesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- Küçükkuş, N., Hazır, T., ve Açıkada C. (2006). 15-17 Yaş Ergen Erkeklerde Biyoelektrik İmpedans Yönteminde Ölçüm Aralığının Belirlenmesi. *Spor Bilimleri Dergisi*, 17(2), 38-47.
- Kyle, U.G., Gremion, G., Genton, L., Slosman, D.O., Golay, A. & Pichard, C. (2001). Physical activity and fat-free and fat mass by bioelectric impedance in 3853 adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 576-587.
- Kyle U.G., Bosaeus I., De Lorenzo A.D., Deurenberg P., Elia M., Gómez J.M., Heitmann B.L., Kent-Smith L., Melchior J.-C., Pirlich M. (2004) Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clin Nutrition*, 23(5):1226–1243.
- Lohman, T.G., Boileau, R.A. & Slaughter, M.H. (1984a). Body Composition in children and youth: in Boileau (ed): *Advances in Pediatric Sports Sciences*. pp. 29-57. Champaign, Human Kinetics.
- Lohman, T. G., Slaughter, M. H., Boileau, R. A., Bunt, J., & Lussier, L. (1984b). Bone mineral measurements and their relation to body density in children, youth and adults. *Human Biology*, 56(4), 667-679.
- Lohman T.G. (1986). Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. Review. *Exercise and sport sciences reviews*, 14, 325-357.
- Liang, M.T. & Norris, S. (1993). Effects of skin blood flow and temperature on bioelectric impedance after exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 25, 1231-1239.
- Liang, M.T., Su, H.F. & Lee, N.Y. (2000). Skin temperature and skin blood flow affect bioelectric impedance study of female fat-free mass. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 32, 221-227.
- Lukaski, H. C., & Bolonchuk, W. W. (1988). Estimation of body fluid volumes using tetrapolar bioelectrical impedance measurements. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 59, 1163-1169.
- Maynard, L.M., Wisemandle, W., Roche, A.F., Chumlea, W.C., Guo, S.S. & Siervogel, R.M. (2001). Childhood body composition in relation to body mass index. *Pediatrics*, 207(2), 344-350.
- Meleleo, D., Bartolomeo, N., Cassano, L., Nitti, A., Susca, G., Mastrototaro, G., ... & Ciccone, M. M. (2017). Evaluation of body composition with bioimpedance. A comparison between athletic and non-athletic children. *European Journal of Sport Science*, 17(6), 710-719.
- Mukherjee D. & Roche, A.F. (1984). The estimation of percent body fat, body density and total body fat by maximum R² regression equations. *Human Biology*, 56, 79-109.
- Nielsen, D.H., Cassady, S.L., Janz, K.F., Cook, J.S., Hansen, J.R. & Wu, Y.T. (1993). Criterion methods of body composition analysis for children and adolescents. *American Journal of Human Biology*, 5(2), 211-223.
- Oppliger, R.A., Nielsen, D.H. & Vance, C.G. (1991). Wrestlers' minimal weight: anthropometry, bioimpedance, and hydrostatic weighing compared. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23, 247-253.
- Roche, A.F. (1993). Methodological considerations in the assessment of childhood obesity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Oct 29, 699, 6-17. DOI: [10.1111/j.1749-6632.1993.tb18832.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1993.tb18832.x)
- Roemmich, J. N., Clark, P. A., Weltman, A., & Rogol, A. D. (1997). Alterations in growth and body composition during puberty. I. Comparing multicompartment body composition models. *Journal of Applied Physiology*, 83(3), 927-935. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.3.927>
- Romanowski, K. L., Fradkin, A. J., Dixon, C. B., & Andreacci, J. L. (2015). Effect of an acute exercise session on body composition using multi-frequency bioelectrical impedance analysis in adults. *Journal of Sports Science*, 3, 171-178.
- Salmi, J.A. (2003). Body composition assessment with segmental multifrequency bioimpedance method. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2, Suppl.3. 1-29.
- Schaefer, F., Georgi, M., Zieger, A., & Schärer, K. (1994). Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children. *Pediatric Research*, 35(5), 617-624.
- Shafer, K. J., Siders, W. A., Johnson, L. K., & Lukaski, H. C. (2009). Validity of segmental multiple-frequency bioelectrical impedance analysis to estimate body composition of adults across a range of body mass indexes. *Nutrition*, 25(1), 25-32.
- Slaughter, M.H., Lohman, T.G., Boileau, R.A., Stillman, R.J., Van Loan, M.D. & Willmore, J.H. (1984). Influence of maturation on relationship of skinfolds to body density: A Cross-sectional study. *Human Biology*, 56(4), 681-689.
- Slaughter, M.H., Lohman, T.G., Boileau, R.A., Horswill, C.A., Stillman, R.J., Van Loan, M.D. & Bembien, D.A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*, Oct;60(5), 709-23.
- Slinde, F. & Rossander-Hulthen, L. (2001). Bioelectrical impedance: effect of 3 identical meals on diurnal impedance variation and calculation of body composition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 74, 474-478.

- Sopher, A.B., Thornton, J.C., Wang, J., Pierson, R.N., Jr. Heymsfield, S.B. & Horlick, M. (2005). *Pediatrics*, 113(5), 1285-1290.
- Thorland, W.G., Johnson, G.O., Tharp, G.D., Fagot, T.G. & Hammer, R.W. (1984). Validity of anthropometric equations for the estimation of body density in adolescent athletes. *Medicine And Science In Sports and Exercise*, 16(1), 77-81.
- Thivel, D., Verney, J., Miguet, M., Masurier, J., Cardenoux, C., Lambert, C., ... & Pereira, B. (2018). The accuracy of bioelectrical impedance to track body composition changes depends on the degree of obesity in adolescents with obesity. *Nutrition Research*, 54, 60-68.
- Utczás, K., Tróznai, Z., Pálinkás, G., Kalabiska, I., & Petridis, L. (2020). How Length Sizes Affect Body Composition Estimation in Adolescent Athletes Using Bioelectrical Impedance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(3), 577.
- Van Eyck, A., Eerens, S., Trouet, D., Lauwers, E., Wouters, K., De Winter, B. Y., and Ledeganck, K. J. (2021). Body composition monitoring in children and adolescents: reproducibility and reference values. *European Journal of Pediatrics*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00431-021-03936-0>
- Vermeiren, E., Ysebaert, M., Van Hoorenbeeck, K., Bruyndonckx, L., Van Dessel, K., Van Helvoirt, M., ... & Van Eyck, A. (2021). Comparison of bioimpedance spectroscopy and dual energy X-ray absorptiometry for assessing body composition changes in obese children during weight loss. *European Journal of Clinical Nutrition*, 75(1), 73-84. <https://doi.org/10.1007/s00431-021-03936-0>
- https://www.who.int/health-topics/obesity#tab=tab_1 (25.02.2021)