

VÜCUT BİLEŞİMİNİN SAPTANMASI AMACIYLA SIKLIKLA KULLANILAN CİHAZLAR

Dr Diyetisyen Aygün Kuyumcu

Bilimsel veri tabanlarında tarama yapıldığında “biyoelektrik empedans analizi ve vücut kompozisyonu” anahtar kelimelerini içeren 3061 bilimsel yayına rastlanmaktadır. Vücut bileşimini saptamak amacıyla bilimsel çalışmalar ve klinik takiplerde en sıklıkla kullanılan cihazlar biyoelektrik empedans analizi cihazlarıdır. Biyoelektrik empedans analizi tekniği dokuların elektrik geçirgenliğini ölçerek sonuç veren bir yöntemdir.

Dokuların elektrik geçirgenliği 1871’den itibaren araştırılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalarda hasar görmüş dokularda veya kadavrada farklı frekanslarda akımlar kullanılarak denemeler yapılmıştır. Thomasset ilk olarak canlı organizmada, cilt altına 2 adet iğne yerleştirerek total vücut suyunu ölçmüştür. Daha sonra Hoffer ile Nyboer cilt yüzeyine 4 elektrot yerleştirerek biyoelektrik empedans ölçüm tekniğini geliştirmişlerdir. Takip eden yıllarda Nyboer yaptığı çalışmalarla yağsız vücut kitlesi ve vücuttaki yağ yüzdesinin de saptanabileceğini göstermiştir. BIA cihazları, tek frekans olarak 1980’li yıllarda piyasaya sürülmüş ve kullanılmaya başlanmıştır. Multifrekans cihazlar 1991 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Yatış pozisyonunda ölçüm alan cihazlar taşınabilir ve güvenilir, yöntemin basit ve girişim gerektirmeyen bir teknikle uygulanması, sonuçların tekrarlanabilir ve hızla elde edilebilir olmaları nedeniyle çok tercih edilmiştir(1).

Biyoelektrik Empedans Ölçümünün Temel İlkeleri

Biyoelektrik empedans analizi vücut bileşiminin saptanmasında kullanılan indirek bir yöntemdir. Homojen iletken bir silindirden akım geçirildiğinde oluşan direnç silindirin boyuyla doğru, dairesel yüzey alanı ile ters orantılıdır. Canlı organizma homojen bir silindir olmadığı için iletkenliği sabit değildir. Dokuların iletkenlik düzeyi farklıdır. İletkenlik bir iletkenin yapısındaki iyon konsantrasyonu ile ilgilidir. Elektrik akımı geçirilen materyalin:

- İyon konsantrasyonu
- Viskozitesi
- Yapısında iletken olmayan bir maddenin konsantrasyonunun artması
- Elektrik akımının iletildiği ve tutulduğu elektrotlar arasındaki mesafe
- Kesit alanı, geçirgenliğini etkiler(1).

Ölçüm Alırken Kullandığımız Temel Terimler

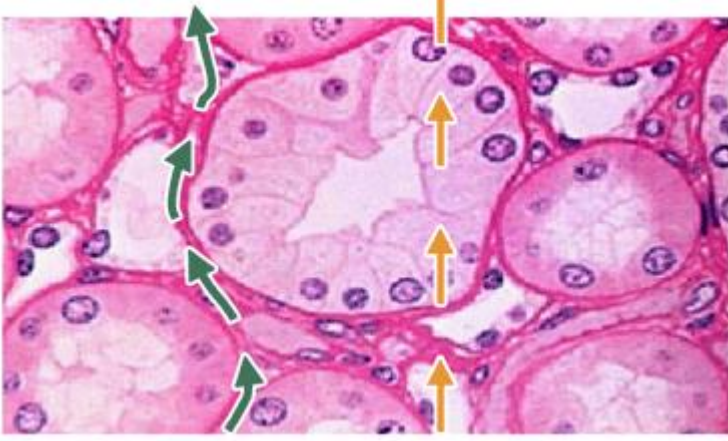
EMPEDANS: bir iletkenin belirli bir frekansta uygulanan alternatif elektrik akımına gösterdiği dirençtir. Biyolojik sistemlerde empedansın rezistans ve reaktans olmak üzere iki bileşeni vardır. Birimi OHM’dur(Ω).

REZİSTAN: hücre içi ve dışı sıvıların oluşturduğu dirençtir.

REAKTANS hücre membranlarının oluşturduğu dirençtir.

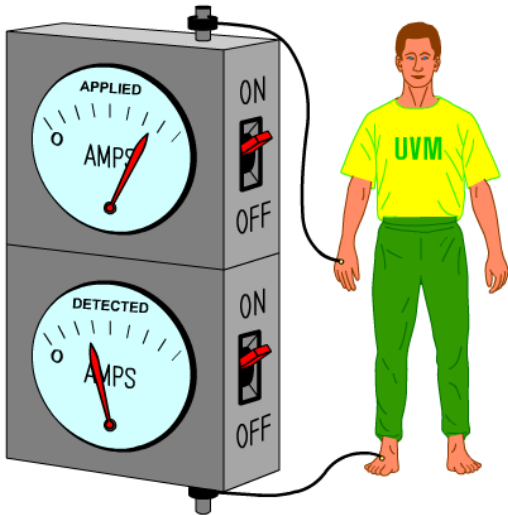
FREKANS: vücuttan geçirilen elektrik akımının sıklığını ifade eder. Akım düşük frekanslı(50 kHz) ise hücreler arasındaki sıvı hacmi, yüksek frekanslı ise (1-1000 kHz) hücre içi ve dışı sıvı hacmi belirlenir(2).

Şekil 1.



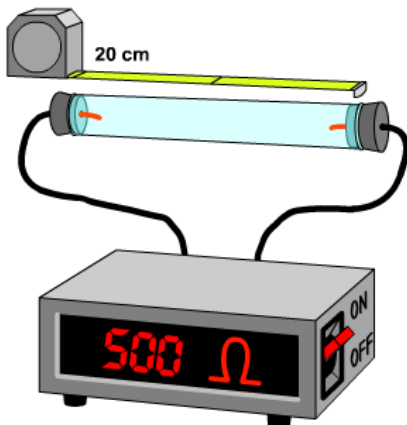
Bir insan vücuduna sağ elden uygulanan küçük bir elektrik akımı sağ ayağa bağlanan bir elektrottan okunduğunda, uygulanan akımın tamamı dedektörde okunmaz. Akım bazı dokularda dirençle karşılaşır. Geçen akım miktarı dokunun büyüklüğü, bileşimi ve türü ile ilgilidir.

Şekil 2.



Cam bir tüpün içine tuz solüsyonu konarak her iki ucuna da birer elektrot yerleştirildiğini düşünelim. Tüpün uzunluğu ve dedektörde okunan direnç kullanılarak volüm hesaplanabilir.

Şekil 3.



$$V = p \times L^2 / Z$$

V = hacim

Z = empedans

L = tüpün boyu

p = solüsyona özgü direnç katsayısı

Örneğimizde bu solüsyon için $p = 75 \Omega$ olsun.

$$V = 75 \times 20^2 / 500$$

$$V = 60 \text{ cc}$$

Aynı solüsyonun içine bir miktar yağ eklendiğinde empedans 1000Ω olarak görülürse;

$$V = 75 \times 20^2 / 1000$$

$$V = 30 \text{ cc}$$

Buradan tüpün %50 oranında yağ içerdiğini bir başka ifadeyle tüpün içinde saptadığımız sıvı hacminin dışında kalan miktarın yağ olduğunu söyleyebiliriz. İnsan bedenine uygulandığında formül içinde sadece empedans ve boy değişkenleri kullanılırsa bu sonuç elde edilir.

Formülde kullanılan değişkenler dışında

- Tüpün boyu uzadıkça ve kesit alanı arttıkça empedans değeri artar.
- Tüpün ısısı arttıkça empedans düşer.

Adipoz dokunun bileşiminde ortalama %20 oranında su vardır. Bu nedenle elektrik akımının iyi iletmez. Uygulanan elektrik akımının az bir kısmı yağ dokusundan geçer ve detektörde okunabilir. Adipoz dokunun empedansı yüksektir. Gönderilen elektrik akımının çok az bir kısmının yol alabildiği büyük bir kısmının hücreler tarafından tutulduğu görülmektedir. Kas dokusu ortalama %75 su içerdiği için empedans değeri düşüktür. Uygulanan akımın çok büyük bir kısmı kas dokusundan geçer. Kas dokusu yağa göre daha düşük empedans değerine sahiptir(2).

Biyoelektrik Empedans Analizi Esas Alınarak Kullanılan Yöntemler

- Tek frekanslı biyoelektrik empedans analizi
- Segmental biyoelektrik empedans analizi
- Çok frekanslı biyoelektrik empedans analizi
- Lokal biyoelektrik empedans analizi
- Biyoelektrik empedans vektör analizi(1)

Tek Frekans BIA Ne Ölçer?

Literatürde kullanılan BIA cihazlarının çok büyük bir kısmında yağ dokusu dışında kalan kitle ölçülmektedir(FFM). BIA formüllerinde 1987'den önce sıklıkla sadece boy²/dirence bölünürken daha sonraları formüllerde ağırlık, yaş, cinsiyet, reaktans, karın ve veya ekstremitelerin antropometrik ölçüm değerleri kullanılmıştır. Böylece formüllerin hata payı azalmıştır.

BIA ölçümlerinden doğru ölçüm alabilmenin en önemli şartı hidrasyonun normal olmasıdır. Uygulanan elektrik akımına dokuların farklı yanıt vermesi temeline dayanarak düşük ve tek frekanslı(50 kHz) BIA cihazları :

- Yağ yüzdesi
- Yağ kitlesi
- Yağsız doku kitlesi
- Vücuttaki toplam su miktarını saptar.

Literatürde vücut bileşenlerini saptamak üzere belirlenmiş çok sayıda formül bulunmaktadır.

Lukaski ve Bolonchuk formülüne göre bir hesaplamayı örneklemek istersek;

Boy: 170 cm

R= 382 Ω

Ağırlık= 65 kg

Cinsiyet= erkek
Yaş= 25 olan bir bireyin

Toplam vücut suyu (TBW) =
 $0.372(\text{boy}^2/\text{R}) + 3.05(\text{cinsiyet}) + 0.142(\text{vücut ağırlığı}) - 0.069(\text{yaş})$
formülünde değerler yerine konduğunda

Toplam vücut suyu (TBW)= 38,7 L olarak bulunur.

Yağsız doku kitlesinin sıvı oranı %73'tür.

Yağsız doku kitlesi(FFM)= toplam vücut su miktarı-TBW / 0.73
FFM= 38.7 / 0.73
FFM= 53.01 kg'dır.

Yağ kitlesi(FM)= Ağırlık – FFM

FM= 65-53.1

FM= 11.99 kg'dır.

Buradan;

Vücut yağ yüzdesi= $11.9/65 \times 100$

FM % = 18.5

Multifrekans Biyoelektrik Empedans Analizi

Multifrekans sistemlerin temel prensibi; 0, 1, 5, 50, 100, 200, 500, 1000 kHz'e kadar farklı frekanslarda elektrik akımları gönderilerek bulunan dirençler arasındaki farka göre vücut bileşiminin saptanmasıdır. Düşük frekanslarda saptanan empedans değeri hücreler arası sıvıyı belirlerken yüksek frekanslarda elde edilen empedans değeri toplam vücut sıvı değerini belirler. Toplam, hücre içi ve hücreler arası sıvı değerlerinin belirlenmesinde Cole Cole modeli ve Hanai regresyon formülleri kullanılmaktadır(1).

Cihazdan okunan empedans değeri rezistans ve reaktansın toplamıdır. 500 kHz üzerinde reaktans değeri sıfıra çok yaklaştığı için bu frekanslarda hücre içi sıvı saptanabilmektedir.

Segmental Analiz

Segmental analiz yapan cihazlarda el ve ayağa karşılıklı olarak birer elektrot daha eklenmiştir. Segmental analizde doğru sonuçlara ulaşmak için en önemli faktör stabilizasyondur. Öncelikle ölçümlerde aynı cihaz ve aynı elektrotlar kullanılmalı el ve ayaklara elektrotların yerleşimi aynı olmalıdır. İnsan bedeninde gövdenin toplam empedansa katkısı %10 kadar iken beden ağırlığındaki payı %50 kadardır. El ve ayak tabanından yapılan ölçümlerde yüzeyin nemli ve kuru olmasına göre elektrik geçirgenliği değişir. El ve ayak sırtındaki nem sabittir, çok fazla değişmez bu nedenle ölçümler daha güvenilir sonuçlar vermektedir(1).

Yatış pozisyonunda ölçüm alınırken;

- Kollar 10 °, bacak 20°derece vücuttan yana ayrılır.
- Elde kırmızı elektrot metakarpal ve siyah elektrot karpal kemiklerin üzerine
- Ayakta kırmızı elektrot metatarsal ve siyah elektrot tarsal kemiklerin üzerine yerleştirilerek ölçüm alınır.

TABLO 1. Türkiye’de Kullanılan BIA Cihazlarının Frekans Aralıkları ve Türleri.

50 kHz frekansla elden ele veya ayaktan ayağa ölçüm
50 kHz frekanslı segmental analiz
5,50,250 kHz frekanslı segmental analiz
5,50,250,500 kHz frekanslı segmental analiz
1, 5, 50, 250, 550, 600 kHz frekanslı segmental analiz
1, 5, 50, 250, 550, 1000kHz frekanslı segmental analiz
1- 5 – 50 – 250 – 500 – 1000 kHz frekanslı segmental analiz
50 kHz frekanslı segmental analiz, yatarak ölçüm
Çok frekanslı segmental analiz yatarak ölçüm

Analiz Alınırken Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar

- Cihaz pille çalışıyorsa pillerin doluluğundan emin olunmalıdır.
- Cihaza bir ohmmetre ile düzenli kalibrasyon yapılmalıdır.
- Elektrotların yüzey alanı 4 cm²'den geniş olmalıdır. Elle tutulan cihazlarda nasıl kavranacağı tarif edilmelidir.
- Elektrotlar çok sıcak ortama maruz bırakılmamalıdır.
- Kullanılan boy ölçer 0.5 cm ve terazi 100 grama hassas olmalıdır.
- Ölçüm yapılırken boy ve kilo mutlaka ölçülmelidir.
- Ölçümden 8 saat önce yemek yenmemeli ve alkollü içecekler içilmemelidir. Klinik uygulamalarda 4 saatlik açlık yeterlidir.
- Ölçüm öncesi tuvalete gidilmelidir.
- Ölçüm öncesi 24 saat içinde egzersiz yapılmamış olmalıdır.
- Menstrasyon dönemi olmamalıdır.
- Ölçüm yapılan bireyin vücut ısısı yüksek olmamalıdır.
- Elektrotların temas ettiği noktalarda deri lezyonları olmamalıdır.
- Elektrot kullanılıyorsa bölge alkolle temizlenmelidir.
- Kollar gövdeden 30° bacaklar 45° açık olmalıdır.
- Yatar pozisyonda ölçüm yapılacaksa birey 5-10 dakika sırtüstü uzandıktan sonra ölçüm alınmalıdır. Bir araştırma yapılıyorsa aynı uygulama tüm bireylere yapılmalıdır.
- Ölçüm yapılan kişinin üzerinde metal olmamalıdır.
- Ölçüm alındığında empedans değerinin normal sınırlarda olup olmadığına dikkat edilmelidir.
- Ampütasyon varsa sağlam olan bölgeden ölçüm alınmalıdır. Ölçüm hatalı olsa da aynı yöntem kullanıldığı sürece ölçümler arası fark değerlendirilebilir.
- Beden ağırlığı çok yüksek kişilerde koltuk altlarına ve bacak arasına havlu gibi elektrik akımını kesecek bir araç konabilir(2). (*Nutr Clin Prac 2004 19:5, 433-446*)

Günlük Hayatta Yaşadığımız Bazı Olayların Ölçümlere Etkisi:

- Bir öğün tüketiminin hemen ardından ölçüm alındığında empedans azalır.
- Çok fazla su içtikten sonra empedans artabilir veya azalabilir.
- Egzersizin hemen ardından ölçüm alındığında empedans azalır.
- Bir saat ve üzerinde yattıktan sonra hemen ölçüm alındığında yerçekimi etkisiyle sıvı aşağı doğru çekilir ve empedans artar.

Am J Clin Nutr 2001;74:474–8

Tablo 2. BIA Ölçümü Yapılmayan Durumlar

Ortopedik protezi olan bireyler
İmplantı olan bireyler
Kalp pili taşıyan bireyler
Hamileler ve hamilelik şüphesi olan kişiler
Defibrilatör kullanan hastalar

BIA'nın Kullanıldığı Alanlar

Epidemiyolojik Çalışmalar

1990'dan itibaren yapılan çalışmaların 1600'den fazlasında vücut kompozisyonunun saptanmasında BIA kullanılmıştır. Çalışmalarda belirtilen dikkat edilmesi gereken noktalar ölçüm yapılan grupların sağlıklı bireylerden oluşması, vücut sıvılarının dengede olması ve kullanılan formüllerde etnik gruplara özgü katsayıların kullanılmasıdır. BIA'nın klinik çalışmalar için uygun fakat farklı etnik özelliklere sahip özellikle gelişmekte olan ülkelerde yapılacak geniş epidemiyolojik çalışmalarda kullanımının uygun olmadığı belirtilmiştir. *Nutrition Journal* 2008, 7:26

Sağlıklı gönüllü 174 Koreli ile yapılan bir çalışmada DEXA ile multifrekans BIA arasında yağsız kitle ve yağ dokusu önemli düzeyde farklı bulunmamakla birlikte erkeklerde yağ yüzdesi DEXA'ya göre daha az, kadınlarda daha yüksek bulunmuş ve belirlenen regresyon katsayılarına göre düzeltme yapılması önerilmiştir. *Nutrition Research and Practice* 2011;5(3):246-252

Yaşları 13.6 ± 1.3 yıl ve BKİ: 30.3 ± 6.0 kg/m² olan erkek ile yaşları 14.7 ± 2.2 ve BKİ 32.4 ± 5.7 kg.m² olan kız 38 adölesanda tek frekanslı BIA ile DXA , pletismografi ve işaretli H ile vücut suyunun belirlendiği üç yöntem kullanılarak yağ kütlesi ve yağsız vücut kitlesinin hesaplandığı 4 kompartman modeli karşılaştırıldığında ; cihazlar arası fark çok yüksek olduğu için adölesanlarda tek frekanslı BIA ölçümlerinin ne klinik takipte ne de araştırmalarda kullanımı doğru sonuç vermemektedir. Özellikle obez adölesanlarda referans yöntem ile karşılaştırıldığında yağsız doku kütlesi %30-40 oranında farklı bulunabilmektedir. *Int J Body Compos Res.* 2009 February ; 7(1): 15–20.

Bireylerin farklı BIA cihazlarındaki ölçüm değerlerinin karşılaştırılması

Sağlıklı, gönüllü, yaşları 19-24 arasında değişen 100 bireyin farklı BIA cihazlarındaki ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde vücuttaki toplam su ve yağ değerleri benzer bulunmuştur. I.Cihaz:Bodystat 1500, II.Cihaz:Tanita BC 418 III.Cihaz:Jawon X-Scan Plus II)
Köksal E. 19-24 YAŞ GRUBU GENÇ KADINLARIN VÜCUT BİLEŞİMLERİNİN VE
ĞLİNO: 07D03402003, Ankara,2009.

sağlıklı gönüllü 14 erkek ve 14 kadın bireyin toplam vücut suyunun belirlenmesinde, tek frekans BIA'nın döteryum oksit - D₂O ile karşılaştırıldığı bir çalışmada; BIA ile yapılan toplam vücut suyu analizinin referans yöntemine göre istatistik ve klinik olarak önemli fark göstermediği belirlenmiştir. *Nutrition & Metabolism 2008, 5:7, 1-6*

Multifrekans BIA, DEXA ile karşılaştırıldığında hem kadınlarda hem de erkeklerde vücut yağ miktarını daha düşük saptamaktadır. Zayıf bireylerin yağ yüzdesi BIA ile DEXA karşılaştırıldığında daha yüksek bulunurken, yüksek beden ağırlıklı veya obez bireylerin yağ yüzdeleri daha düşük bulunmuştur. *Am J Clin Nutr 2005;81:74-8.*

Obez bireylerle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar; BKİ 34 kg/m²'ye kadar sonuçların referans yöntemlere yakın olduğunu BKİ 34kg/m²'nin üzerinde standart sapma değerleri ortalamanın üzerinde bulunmaktadır. Morbid obezlerde karından akım gönderilen veya segmental multifrekans yöntemler tek frekansa göre referans ölçümlere daha yakın sonuçlar vermekle birlikte mutlaka morbid obezlerde çalışmalar yapılarak, formüllerde kullanılan katsayılar düzeltilmesi gerekmektedir. Analizden doğru ölçüm alabilmenin en önemli şartı hidrasyonun normal olmasıdır. Çalışmalardan elde edilen veriler hem vücutta sıvı kaybı olduğunda hem de vücutta sıvı tutulumu olduğu durumlarda alınan ölçümlerin, hidrasyonun dengede olduğu durumlardaki kadar doğru sonuç alınmadığını göstermektedir. Hatalı sonuçlar sıvının fazla veya eksik olmasının dışında elektrolit konsantrasyonundaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Elektrolit dengesizlikleri hücre içi ve hücreler arası sıvıların geçirgenliğini değiştirmektedir.

Tablo 3. Hastalık Durumlarında BIA Ölçümlerinde Oluşan Hataların Nedenleri

Hastalık	Hata Nedeni
Kalp yetmezliği	Ödem
Karaciğer yetmezliği	Ascit ve ödem
Böbrek yetmezliği	Ödem ve vücut sıvılarında iyonların dengesiz dağılması
Hipotridi	Deri kalınlaşması
HIV	Anormal kas kaybı
Cushing's sendromu	Ödem
Skolyoz	Doku dağılımının silindir şeklinde olmaması

Tablo 4. BIA Ölçüm Sonuçlarını Etkileyen Tedaviler

TEDAVİLER
Damardan elektrolit uygulaması
Steroid
Büyüme hormonu
Diüretikler
Hemodiyaliz
Periton diyalizi
Ascit sıvısının boşaltılması
Periton diyalizi

Tek ve çok frekanslı BIA cihazlarının hemodiyaliz öncesi ve sonrasında vücut bileşiminin saptanmasında kullanıldığı bir çalışmada, kas kitlesinin belirlenmesinde çoklu frekans ölçüm yapan cihazın daha doğru sonuç verdiği gösterilmiştir

J. Renal Nutr. 2005, 15:3, 332-344

- Uzun süreli damardan sıvı uygulaması yapıldığında
- Diüretik tedavisi
- Ödem olduğunda
- Ascit
- Böbrek, karaciğer ve kalp yetmezliğinde

- Büyük operasyonlardan sonra
- Yoğun bakım hastalarında

Yağsız doku kitlesinin bileşimindeki sıvı dağılımı bireyler arasında çok farklı olduğundan hücre içi ve dışı sıvı miktarını belirleyebilen multifrekans cihazların kullanımı tek frekansa göre daha uygundur. Referans yöntemlerle yapılacak karşılaştırmalı çalışmalarla hastalık durumlarına özgü formüllerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- 1- Kayle UG, Bosaeus I. Bioelectrical Impedance analysis-part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition* 23; 1226–1243, 2004.
- 2- Bucholz AC, BartokC. The validity of Bioelectrical Impedance Models in Clinical Popations. *Nutr. Clin. Pract* 19;433-446, 2004.