

Modül 3.2

Vücut Kompozisyonu

Kristina Norman
Deutsches Institut für Ernährungsforschung
Nuthetal, Germany

Yitshal Berner, MD
Geriatric Medicine,
Meir Medical Center, Kfar Saba Sackler Medical School,
Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

Remy Meier, Professor
Gastroenterologist,
University Hospital,
Liestal, Switzerland

Lubos Sobotka, MD, PhD
Department of Metabolic Care and Gerontology,
Medical Faculty, Hradec Kralove, Charles University,
Prague, Czech Republic

Nachum Vaisman, MD
Tel-Aviv Sourasky Medical Center,
Tel Aviv, Israel

Çeviri: Kubilay Demirağ

Öğrenme Hedefleri:

- Sağlık için neden normal vücut kompozisyonuna sahip olunması gerektiğinin öğrenilmesi;
- Vücut kompozisyonunun bileşenlerinin öneminin öğrenilmesi;
- Vücut kompozisyonunu nelerin etkilediğinin öğrenilmesi;
- Vücut kompozisyonunun nasıl ölçülebileceğini ve bu ölçümlerin güvenilirliğinin öğrenilmesi;

İçerik

1. Vücut kompozisyonu neden önemlidir?
2. Lipidler, proteinler, karbonhidratlar ve kompartmanları
3. Açlıkta ve hastalık / açlıkta vücut kompozisyonundaki değişiklikler.
4. Vücut kompozisyonu nasıl ölçülür?

- 4.1 Kolay metodlar
 - 4.1.1 Antropometri
 - 4.1.2 Fonksiyonel testler
 - 4.1.3 Kreatinin atılım hızı
 - 4.1.4 Azot dengesi
 - 4.1.5 Biyoelektriksel empedans (vektör) analizi (BİA, BİVA)
 - 4.1.6 Ultrason
 - 4.2 İleri metodlar
 - 4.2.1 Dual enerji X-ışını absorptiometri (DEXA)
 - 4.2.2 MRI ve BT
 - 4.2.3 Dilüsyon metodları
 - 4.2.4 Su altında tartma ve Hava Yer Değiştirme Pletismografisi
 - 4.2.5 Total vücut potasyumu
 - 4.2.6 İn vivo Nötron Aktivasyon Analizi (İVNAA)
5. Referanslar

Anahtar mesajlar

- Vücut hücre kütlelerinin bütünlüğü kritik olarak sağlıklı olmayı belirler (kas fonksiyonu ve immün yanıt dahil olmak üzere);
- Gıda alımının kaybı ve inflamatuvar aktivite vücut hücre kütlelerini azaltır;
- Yağ kütleleri ve yağsız vücut kütlelerini ölçmek nispeten kolaydır;
- Sağlıkta yağsız vücut kütleleri vücut hücre kütleleriyle doğru orantılıdır;
- Açlıkta ve stres/açlıkta vücut hücre kütlelerinin ekstraselüler kütleye oranı (BCM/ECM) azalır ve FFM nütrisyonel durumun daha az güvenilir bir göstergesi haline gelir;
- İn vivo vücut kompozisyonu ölçümleri her zaman indirektir ve vücut bileşenlerinin yağlı ve yağsız kütleleri hakkında bir veya birden fazla tahmine dayanır;
- Diğer tüm ölçümler indirektir, indirekt metodlarla valide edilmişlerdir, bu nedenle daha çok tahmine dayanırlar;
- BİVA yaklaşımı haricinde vücut kompozisyonu yapan tüm metodların temeli kalibre bir skalayla vücut kütlelerinin ölçümüdür.

1. Vücut kompozisyonu neden önemlidir?

Vücut kompozisyonu, yağ kütleleri (FM), yağsız vücut kütleleri (FFM), kas kütleleri veya kemik mineral kütleleri gibi vücut kompartmanlarını kullanan modele göre yüzde olarak tanımlar (**Şekil 3**).

Vücut kompozisyonunun sağlıkla ilişkisi uzun zamandır bilinmektedir. Yağ kütlelerindeki artış insülin direnci, metabolik sendrom ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çeşitli metabolik durumlar ve bazı tümör tipleri ile ilişkilidir. Dahası yağ dağılımı, özellikle viseral yağ, kardiyovasküler hastalıklara bağlı mortalite için en önemli risk faktörüdür.

Diğer yandan yaşa-bağlı sarkopeni veya fiziksel inaktivitede olduğu gibi kas kütlesindeki azalma azalmış fonksiyonel kapasite, otonomi kaybı ile ilişkilidir ve düşmeler ve ona bağlı kırıklar için risk faktörüdür. Ayrıca azalmış kas kütlesinin metabolik sonuçları vardır. Vücut büyüklüğüne oranla düşük kas kütlesi, diyabet veya sarkopenisi olmayan sağlıklı kişilerde bile insülin sensitivitesinde azalma ile ilişkilidir.

Düşük nütrisyonel alımın uzun sürmesi doku kaybına neden olur. Sağlıklı kişide aç kalma durumunda vücut, net protein katabolizmasını sınırlandırabilir, bu nedenle en fazla yağ kaybedilir, santral sinir sistemi haricindeki tüm dokular azalır. Bu nedenle travma/strese yanıt kabiliyeti kilo kaybının başlangıcında kısmen iyi korunur fakat kilo kaybı aşırı olursa (% 15'den fazla) yanıt zayıflar ve kısa sürer.

Hastalıkta vücut kompozisyonu birkaç mekanizmayla değişime uğrar. Cushing sendromu ve akromegali gibi bazı nadir endokrin bozukluklar vücut kompozisyonunda belirgin değişikliğe yol açar. Daha önemlisi, herhangi şiddetli akut veya kronik hastalık katabolik etkiyle vücut kompozisyonunu etkileyebilir ve bu durum sonuçlara da olumsuz olarak yansır (1). Örneğin, kronik inflamatuvar aktivitenin azalmış vücut hücre kütlesiyle karakterize doku kaybına yol açtığı iyi bilinmektedir.

Vücut kompozisyonundaki değişiklikler vücut ağırlığı ve vücut kütle indeksinden (VKİ) bağımsız olarak gelişebilir ve vücut ağırlığı ve VKİ tek başına vücut kompozisyonunun güvenilir göstergeleri değildir. Vücut ağırlığındaki kısa dönemdeki değişimler genellikle sıvı kompartmanlarındaki değişimlere bağlıken, uzun dönemdeki değişimler doku kütlesindeki değişimleri de yansıtır. Ancak hangi dokunun etkilendiğini göstermezler. Bu nedenle hastalıkların önlenmesinde, sağlığın korunmasında ve tıp pratiğinde vücut kompozisyonu analizi önem kazanmıştır (2,3). Son zamanda vücut kompozisyonunun tedavi başarısını göstermedeki etkisi de tanınmıştır. Örneğin, düşük FFM kemoterapiye bağlı yan etkilerin prediktörü olarak tanımlanmıştır zira hidrofilik kemoterapi ajanlarının dağılım hacmiyle yakından ilişkilidir (4).

2. Lipidler, proteinler, karbonhidratlar ve kompartmanları

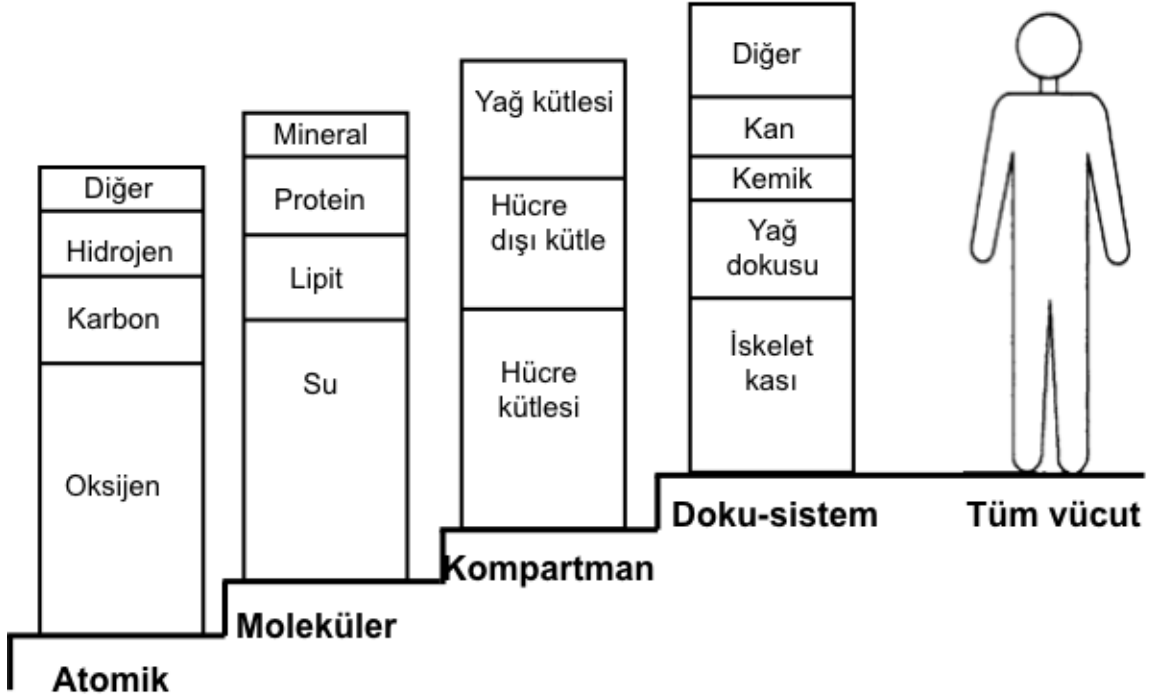
FM'in %80'i yağ dokusu, %20'si sudan oluşur. Farklı düzeydeki obeziteye bağlı olarak yağ miktarı değişir ve obez bir hastada vücuttaki en büyük kompartman haline gelebilir. Depolanan yağın yanısıra lipidler membranlar, hormonlar ve merkezi sinir sisteminin gerekli komponentleridir. FFM (yani vücudun yağsız bölümü), vücudun temel yapısal (kas ve kemik) ve fonksiyonel (viseral organ kütlesi) kompartmanıdır. FFM'in temel bileşeni sudur (%72), yaklaşık %21'i protein, %7'si ise kemik mineralleridir (**Tablo 1**). Proteinler vücuttaki her hücrenin yapısında yer alır fakat depolama ve transport, enzimler ve hormonlar gibi birçok başka fonksiyonları da vardır ve immunglobülinler ve antikorlar olarak immün sistemde de önemli rol alırlar. Karbonhidratlar vücutta temel olarak karaciğer ve kasda glikojen olarak depolanır. Miktarları önemli ölçüde vücut büyüklüğüne, önceden alınan karbonhidrat miktarına ve fiziksel aktivite ve kas kütlesine bağlıdır (atletler normal 500 g'ın iki katına kadar depolayabilirler).

Tablo 1
Referans erkek: Organ ağırlığı* (g)

Ağırlık	70,000	
İskelet kası	28,000	
Yağ dokusu	15,000	(yağ 12,000)
İskelet	10,000	(kortikal kemik 4,000; trabeküler kemik 1,000; ilik 3,000; kıkırdak 1,100; periartiküler doku 900)
Deri	4,900	
Karaciğer	1,800	
Beyin	1,400	
Kalp	330	
Böbrekler	310	

* Uluslararası Radyasyon Güvenliği Komitesi: Radyasyon Güvenliği için Referans Erkek Değerleri Çalışma Grubu Raporu'ndan alınmıştır. Oxford, Pergamon Press, 1975.

Vücut kompozisyonu analizi için birkaç model geliştirilmiştir. İki kompartmanlı modelde yağ kütlesi ve yağsız vücut kütlesi yer alırken, dört kompartmanlı modelde yağ kütlesi (FM), total vücut suyu (TBW), kemik mineral kütlesi ve protein yer alır. Diğer modellerde vücut kompozisyonu atomik, moleküler veya doku düzeyinde incelenir (bakınız **Şekil 1**).



Şekil 1. Vücut kompozisyonunun beş basamağı
Wang et al. Am J Clin Nutr. 1992 Jul;56(1).

İki kompartmanlı modelde vücut ağırlığı FM (yağ kütlesi) ve FFM (yağsız vücut kütlesi)'ne ayrılır. Sıklıkla kullanılan üç kompartmanlı modelde ise FFM, BCM (hücre kütlesi) ve ECM (ekstrasellüler kütle)'ye ayrılır. BCM organizmanın canlı, aktif metabolizmaya sahip bölümünü oluşturur ve temel olarak kas ve organ dokusundan oluşur; bu nedenle sağlık için ve zararlı egzojen etkilere karşı koyabilmek için büyüklüğü ve bütünlüğü kritiktir. Nütrisyon tedavisinde hedef her zaman BCM'yi korumak veya artırmak olmalıdır.

Sağlıklı insanda ECM / BCM oranı hemen hemen sabittir. Sonuç olarak eğer FFM ölçülürse (örneğin TBW ölçülerek), BCM tahmin edilebilir.

Vücut kompozisyonu yenidoğanın gelişiminden ileri yaşa kadar belirgin olarak değişir: FM yaşla artarken kas kütlesi ve TBW azalır (**Tablo 2**).

Tablo 2. Farklı yaş gruplarında FFM kompozisyonu*

Yaş	Erkek					Kadın				
	H ₂ O (%)	ECF/H ₂ O	K (mEq/kg)	N (%)	Dansite (g/ml)	H ₂ O (%)	ECF/H ₂ O	K (mEq/kg)	N (%)	Dansite (g/ml)
Fetus 24 hafta	89*		40*							
Fetus 32 hafta	86*		46*							
Doğumda	81	0.61	49	2.4	1.063	81	0.61	49	2.4	1.064
5 yaş	77	0.46	64	2.96	1.078	78	0.48	62	2.88	1.073
10 yaş	75	0.43	67	3.1	1.085	77	0.45	64	2.99	1.075
18.5 yaş	73.6	0.38		3.24	1.093					
Genç erişkin	73		68.1		1.10	73		64.2		1.10
				K/N (mEq/g)					K/N (mEq/g)	
Genç erişkin		0.44 0.42#		1.88			0.48		1.73	
Yaşlı		0.50 0.48#		1.78			0.52		1.65	

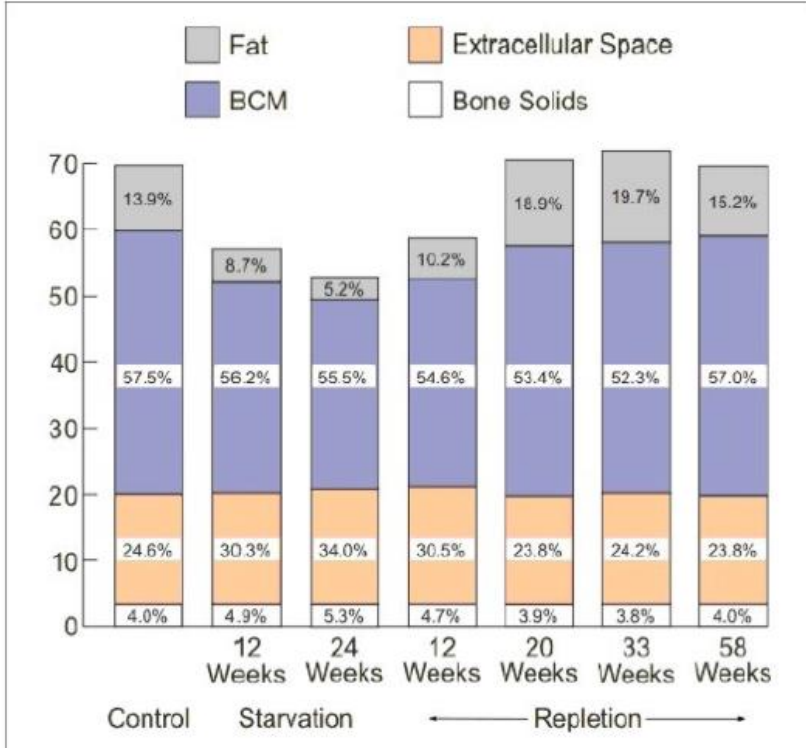
*Tablo Shils, Young, Modern Nutrition in Health and Disease, Lea&Febiger, Philadelphia'dan adapte edilmiştir. Veriler aşağıdaki makalelerden derlenmiştir: Ziegler et al, Growth 1976 40:329-341; Formon et al, Am J Clin Nutr 1982 35: 1169-1175; Haschke Acta Paed. Scand. (Suppl.) 1983 307:1-23; Cohn et al, Am J Clin Nutr 1984 40: 255-259; Borkan et al, Hum. Biol. 1977 49: 495-514.

3. Açlıkta ve hastalık/açlıkta vücut kompozisyonundaki değişiklikler

Tam açlıkta, yani ek hastalık yoksa, vücut protein katabolizmasını sınırlandırır ve FFM kısmen korunur, azot kaybı 5-8 g azot/gün kadar az olabilir. Bunun karşılığı 120-200 g kastır ve 130-200 kcal'dir. Enerji büyük oranda yağ dokusundan sağlanır ve 200 g/24 saat kaybedilerek 1400 kcal elde edilir. Sonuçta aktüel enerji tüketiminin yaklaşık 1600 kcal olduğu tahmin edilir. Açığa inflamatuvar aktivite eşlik ederse azot kaybı 15-20 g/24 saate yükselebilir ve karşılığı 360-480 g kas dokusudur ve 400-500 kcal kazandırır. Enerji tüketiminin büyük kısmı hala lipidler tarafından karşılanmalıdır ve benzer şekilde 200 g/24 saat kaybedilir ve enerji tüketiminin hafif artarak yaklaşık 1800 kcal/24 saat'e yükseldiğini düşündürür. Hem açlık, hem de inflamasyonun eşlik ettiği açlıkta birkaç gün sonra artık glikojen enerji gereksinimini karşılamaya katkıda bulunamaz. Az miktarda yeni glukoz üretilir ve kısmen okside olarak enerji üretimine katkıda bulunur ama bu enerji sağlama açısından etkisizdir.

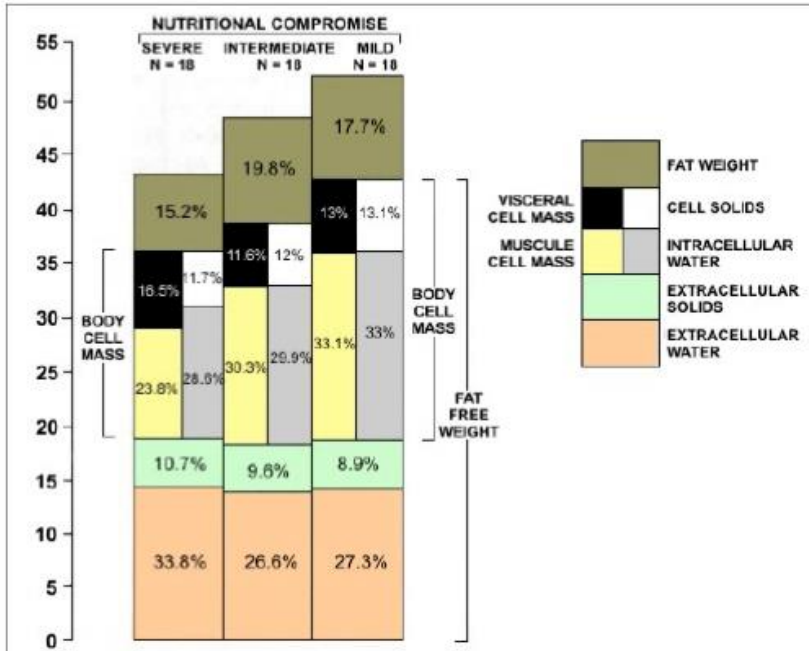
Katabolik süreçte FFM'nin solid komponenti azalır ancak kompansatuar sıvı retansiyonu nedeniyle FFM hacmi azalmaz (**Şekil 2 ve Şekil 3**). ECM orantısız olarak artarken BCM azalır (**Şekil 4**) ve ECM/BCM oranı açlıktan daha fazla artar.

Bu nedenle hastalığa bağlı malnütrisyonunda TBW ölçülerek hesaplanan FFM BCM'yi yeteri kadar yansıtmaz. Sonuç olarak hastalığın şiddeti arttıkça FFM'nin nütrisyonel durumunu göstermedeki değeri azalır. Diğer yandan ECM/BCM oranının artışı malnütrisyon için daha hassas bir göstergedir.



Şekil 2. Kısmi açlıkta kilo kaybı ve kilo alımına bağlı hesaplanan doku kompozisyonu

Keys ve ark'dan alınmıştır: A Keys et al. The Biology of Human Starvation. Vol 1. Minneapolis, University of Minnesota Press, 1950: Chapter 20.



Şekil 3. Çeşitli beslenme bozukluğu derecelerinde erişkin erkeklerde vücut kompozisyonu

Her kompartmanın yüksekliği soldaki ağırlık skalasıyla ilişkilidir. Kompartmanların içerisindeki sayılar vücut ağırlığının yüzdesini göstermektedir. Bu nedenle ciddi beslenme bozukluğu olan grupta kas hücre kütlesi 10.2 kg'dır (29.1 – 19 kg) (vücut ağırlığının % 23.8'i). Vücut hücre kütlesi hem viseral ve kas hücre kütlesinin toplamı olarak hem de intersellüler su ve hücrelerin toplamı olarak gösterilmiştir. M Barac-Nieto et al, Am J Clin Nutr 1978; 31: 23-40.

4. Vücut kompozisyonu ölçüm yöntemleri

4.1 Kolay metodlar

4.1.1 Antropometri

Vücut ağırlığı halen önemli bir ölçüm olmasına rağmen maalesef klinik pratikte rutin olarak ölçülmemektedir. Farklı tartılar arasında geniş ölçüm farklılıkları gerçekleşmektedir. Bu nedenle ya kalibrasyonu uygun tartılar kullanılmalı ya da hep aynı tartıda ölçüm yapılmalıdır.

Vücut kütle indeksi (VKİ) vücut ağırlığının boyun karesine bölünmesinden elde edilir (kg / m²).

VKİ 20 – 25 normal ağırlık
> 30 < 40 obez
> 40 morbid obez
< 18.5 düşük vücut ağırlığı
< 22 yaşlılıkta boy kaybına bağlı malnütrisyon

Hem düşük hem de yüksek VKİ değerleri artmış morbidite ve mortalite ile ilişkilidir. VKİ ile vücut kompartmanları arasında doğrusal ilişki olmadığı için VKİ yağsız vücut ağırlığı ile yağ dokusu dağılımını güvenilir olarak yansıtmaz. Düşük VKİ'ne sahip olan bireylerde FFM artmış olabilir; diğer yandan yüksek VKİ olan bireyler ise düşük FFM'e sahip olabilirler (sarkopenik obezitede olduğu gibi) ve hastalık ve travmaya karşı artmış risk taşırlar.

evre ve deri kıvrımı ölçümlerinden oluşan antropometrik ölçümler nütrisyonel durumun değerlendirilmesinde basit, noninvazif ve ucuz yöntemlerdir. Antropometrik ölçümler orjinal olarak 1960'lı yılların başlarında az beslenen çocukların değerlendirilmesi için üretilmişlerdir ve 1970'lerde hastanelerde kullanılmaya başlanmıştır. Orta kol evresi (MAC) kas kütlesini yansıtırken triseps deri kıvrımı kalınlığının (TSF) üst kol subkutan yağı yansıttığı düşünölmektedir. Ölçümler rölatif olarak kolay görünse de güvenilir sonuçlar elde etmek için beceri gerektirir. Vücut kompartman tahmininin doğruluğu ise yetersizdir. Bireysel ölçümlerde belirgin farklılıklar olması kısa zaman periyotunda değişikliklerin izlemi konusunda yetersizlik yaratır.

4.1.2 Fonksiyonel testler

Vücut kompozisyonu, organizmanın hastalık / travmaya uygun karşı koyma kabiliyetini tahmin etmek için ölçülmektedir. Ancak fonksiyon, nütrisyonel değerlendirme ve vücut kompozisyonu ölçümlerinin parçası olarak rutin bakılmamaktadır. Üç çeşit fonksiyon yaşam kalitesini ve hastalık / travmaya karşı yeterli savunma oluşturma kabiliyetini belirler: kas gücü, immün fonksiyonlar ve kognitif fonksiyon.

Direkt elektriksel uyarı (örn. adduktor pollicis kası) kontraksiyon, kuvvet ve gevşemeyi ölçer ve kuvvet frekans eğrisinin elde edilmesini sağlar. Objektiflik açısından daha üstün olduğuna inanılsa da invaziftir ve rutin kullanım için uygun değildir.

İstemi kas gücü ölçümleri arasında (örn, el sıkma, diz ekstansiyonu ve kalça fleksiyonu gücü ve tepe ekspiratuar akım) dinamometre ile el sıkma gücü en sık kullanılan yatak başı klinik metodur. Sıkma gücünde bozulma, artmış postoperatif komplikasyonlar, uzamış hastane yatış süresi, daha yüksek tekrar hastaneye yatış oranı ve fiziksel durumda bozulma ile ilişkilidir. Ayrıca kısa ve uzun dönem mortalite ile de yakından ilişkilidir (5). Ancak tek başına değerlerin yorumlanabilmesi için referans değerler bilinmelidir.

80'li yıllarda immün fonksiyon antijenlere deri yanıtını test ederek ölçülürdü. Bu testin sonuçları büyük oranda hastalığın şiddetini yansıtmaktadır ve immün fonksiyonun etkilenip etkilenmediği sorusuna kaba cevap alınabilmektedir. Ancak kantitatif sonuç göstermemektedir. Lenfosit sayımı genellikle hastalık derecesini gösterir ancak malnütrisyonu da yansıttığı düşünülmektedir (900 – 1500 hücre / mm³ ılımlı azalma; < 900 hücre / mm³ ciddi azalma).

Kognitif fonksiyon testleri farklı popülasyonlar için (yaşlı, karaciğer hastalığı olanlar) kullanılır ancak klinik pratikte rutin olarak kullanılmaz. Gelecekte çalışmalara konu olacakları tahmin edilmektedir.

4.1.3 Kreatinin atılım hızı

Kreatinin idrar atılımı kas kütesini yansıtır. Haltercilerde yüksek, kötü beslenenlerde düşüktür. 24 saatlik kreatinin atılımı Kreatinin boy indeksini (CHI) hesaplamak için kullanılır:

CHI (%) = Ölçülen 24 saatlik idrar kreatinini x 100 / Boya göre ideal 24 saatlik idrar kreatinin*

* standart tablolardan elde edilir

% 5-15 kayıp hafif, % 15-30 ılımlı ve > %30 kayıp ciddi malnütrisyon olarak sınıflandırılır.

Bu metodun güvenilirliğini etkileyen kısıtlılık günlük idrar kreatinin atılımının tekrarlanan ölçümlerdeki belirgin farklılıklardır (%11-30). Et yenilmezse ölçümün doğruluğu artabilir ancak klinikte pratik uygulamayı zorlaştırır. Ek olarak idrar toplama süresi kritiktir.

4.1.4 Azot dengesi

Azot dengesi temel olarak araştırma amaçlı kullanılır zira klinik durumlarda azot alımı hemen her zaman fazla hesaplanır ve idrar, gaita, deri ve yaralardan kayıp ise düşük hesaplanır. Ayrıca eritrosit, plazma ve albümin infüzyonlarının azot alımına katkısının tahminindeki zorluktan da etkilenmektedir. Kjeldahl tekniği veya yanma tekniği ile total azot ölçülmelidir çünkü ciddi hastalık durumlarında 24 saatlik idrar üre atılımından azot atılımını tahmin etmek doğru sonuç vermeyebilir. Normal şartlar altında üre, idrar azotunun 4/5'ini içermesine rağmen bu fraksiyon malnütrisyon ve hastalıkta değişir. Yine de idrar üre atılımındaki büyük değişiklikler net protein katabolizmasında değişikliğin yararlı bir göstergesidir ve idrar toplama tam olduğu müddetçe uygulaması kolay bir yöntemdir (örn. yoğun bakımlarda). Açlıkta düşük protein yıkımıyla, aşırı sıvı alıp idrar miktarı fazla olanlarda ve üretimin bozulduğu şiddetli karaciğer hastalığında çok düşük serum üre konsantrasyonları olabilir.

4.1.5 Biyoelektriksel empedans (vektör) analizi (BİA ve BİVA)

Günümüzde BİA rutin yatakbaşı vücut kompozisyonu ölçümünde kullanılan basit, ucuz ve noninvazif bir tekniktir. 800 μ A'lık küçük bir alternan akıma karşı vücut dokularının gösterdiği karşı koymayı (=impedans) ölçer. Akım, kaynak ve sensör elektrod arasında yer alan tüm iletken materyalden geçer. Yüksek oranda su ve elektrolit içeren dokular iyi iletkenidir. Yağ kütlesi, hava veya kemik kötü iletkenidir. Stabil koşullar altında bir vücut bölümünün iletkenliği elektrolitten zengin sıvı miktarıyla direkt olarak orantılıdır. Düşük frekanslarda akım ekstraselüler boşluktan geçer ve ekstraselüler sıvıyı (ECW) tahmin eder fakat yüksek frekanslarda akım hücre membranından geçebilir ve ölçülen direnç total vücut suyunun yansımasıdır. BİA ölçümlerinin güvenilirliği yüksektir ve tekrarlanan ölçümler için iyi bir yöntemdir.

Ancak BİA indirekt bir metoddur ve vücut kompozisyonu tahmininde kullanılan referans metodlar ile valide edilmelidir. Vücut kompozisyonunu tanımlamak için geliştirilen formüller yalnız orjinal formül için kullanılan referans popülasyona uyan bireyler için geçerlidir. Ayrıca vücut kompozisyonunun hesaplanması için bazı gerekler vardır: homojen kompozisyon, sabit kesitsel alan, akım dansitesinin tutarlı dağılımı ve sabit hidrasyon. Sıvı dengesizliği, vücut yapısı anormalliği olmayan ve belli VKİ aralığında olan (16-34 kg/m^2) sağlıklı kişilerde BİA, uygun (yani yaşa, cinsiyete ve topluma) formüller kullanıldığında, vücut kompozisyonu hakkında güvenilir bilgi verir. Ancak hastanede yatan hastalarda hidrasyonda farklılıklar, ekstra ve intraselüler sıvı dağılımındaki bozukluklar yaygın olduğundan, bu koşullar sıklıkla bozulur (örn. siroz, böbrek yetmezliği, kalp yetmezliği ve obezite). Hastalıklara özgü bazı formüller de geliştirilmiştir.

Tablo 3. İmpedans ölçümlerinden vücut kompozisyonuna ait örnek çıkarımlar

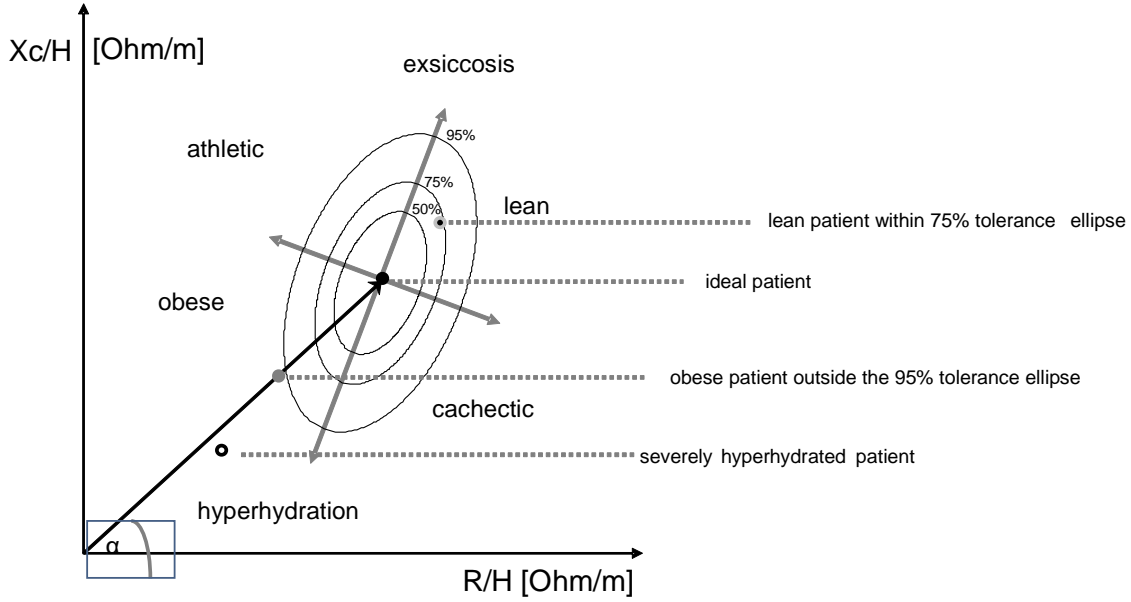
Kompartman	Hesaplama
Total vücut suyu (TBW)	$H^2 / R_{50} - 100\text{kHz}$
Ekstraselüler sıvı (ECW)	$H^2 / R_1 - 5\text{ kHz}$
İntraselüler sıvı (ICW)	TBW – ECW
Yağsız vücut kütlesi (FFM)	TBW / 0.73
Yağ kütlesi (FM)	Vücut ağırlığı – FFM
Vücut hücre kütlesi (BCM)	FFM x faz açısı x k
Ekstraselüler kütle (ECM)	FFM - BCM

H: Kondüktörün yüksekliği = boy. R = Rezistans. Xc: Reaktans, 0.73 = hidrasyon

Son 20 yıl içerisinde klinik pratikte standart formüller yerine ham impedans parametrelerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Algoritmaya bağlı hatalar olmadan ve sabit doku hidrasyonu gerektirmeden, hidrasyon durumu, vücut hücre kütlesi ve hücre bütünlüğü hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca yüksek oranda prognostik değeri olduğu da kanıtlanmıştır (6).

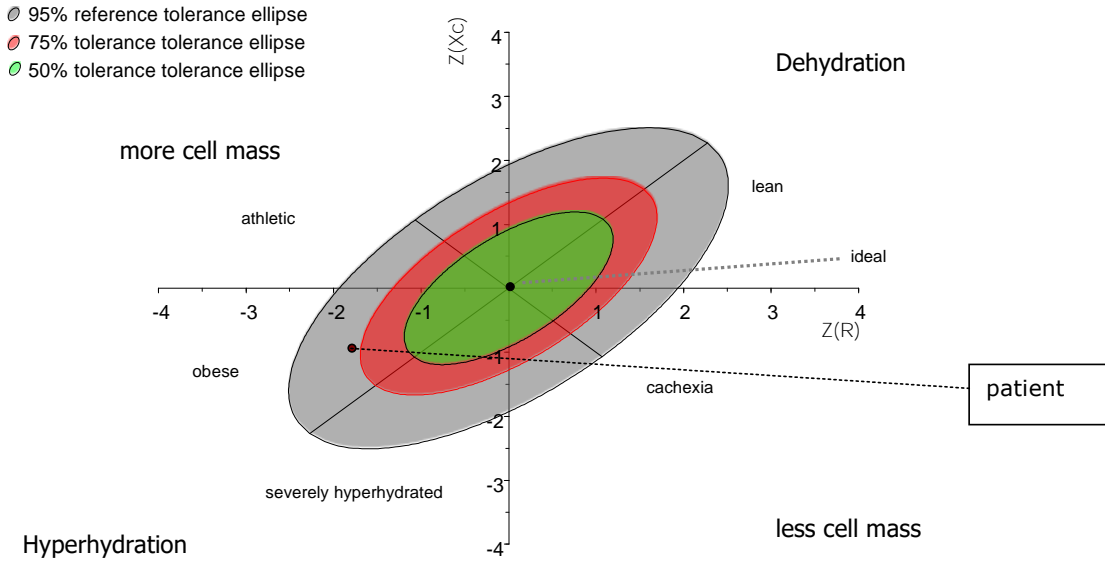
İmpedansın iki komponenti vardır: rezistans (R) ve reaktans (Xc). Rezistans biyolojik bir iletkenin intra ve ekstraselüler iyonik solüsyonlardan geçerken alternan akıma karşı saf karşı koymasidir. Reaktans ise doku interfazları, non-iyonik dokular ve hücre membranlarının oluşturduğu rezistif etkidir. Faz açısı (α) rezistans ve reaktansın katkısını yansıtır (kapasitansın rezistansa oranının arc tanjantı). Faz açısının çeşitli benign ve malign hastalıklarda klinik sonucun ve mortalitenin daha iyi bir göstergesi olduğu belirlenmiştir ancak klinik pratikte değerlendirilebilmesi için yaş, cinsiyet ve VKİ'ne göre referans değerlere gereksinim vardır (7).

Diğer bir yaklaşım Biyoelektriksel İmpedans Vektör Analizidir (BİVA). RXc grafiğinde rezistans ve reaktans noktalarının bivariate vektör olarak boya göre normalize edilmesine dayanır. Vektörün pozisyonu ve uzunluğu hidrasyon durumu, BCM ve hücre bütünlüğü hakkında bilgi verir (**bakınız Şekil 4a**). İmpedans parametreleri z-skorlanabilir ve referans değerlerle karşılaştırılabilir (yani referans tolerans elipsleri), böylelikle hasta hızlı değerlendirilebilir (**Şekil 4b**). Hem malnütrisyon hem de obezite BİVA'da yansıtılır. Bu nedenle BİVA hastaların nütrisyon durumunun değerlendirilmesi ve izleminde çekici bir yatakbaşı metoddur.



Şekil 4a. RX grafiğinde vektörün farklı pozisyonları vücut kompozisyonundaki farklılıkları gösterir

Düşük veya yüksek reaktansa bağlı vektördeki horizontal kayma yumuşak dokuların dielektirik kütlelerinde azalma veya artmayı gösterir (membranlar ve doku interfazları). Vektörün boyu ise hidrasyon durumunu gösterir; sıvı yüklenmesi (azalmış rezistans, kısa vektör), eksikoz (artmış rezistans, uzun vektör).



Şekil 4b. z-skorlu RXc grafiği hastanın bireysel değerlendirmesini kolaylaştırır

Bu örnekte hasta obez olarak değerlendirilmiştir.

4.1.6 Ultrason

Ultrason, ses dalgalarının bir transdüser aracılığıyla dokuya gönderildiği görüntüleme metodudur. Doku tipine bağlı olarak ses dalgalarının atenuasyonu ve refleksiyonu değişkenlik gösterir; bu durum ultrasonu kas ve yağ gibi farklı dokuların ayırt edilmesinde önemli bir metod olmasını sağlar. Hem kantitatif (kas kalınlığı ve kesit alanı) hem de kalitatif (ekointensite) endikatörler sunduğu için son 10 yılda bölgesel kas kütlelerinin değerlendirilmesinde yaygın kullanım alanı bulmuştur.

Ucuz, güvenli ve yatakbaşı uygulanabilen bir metod olduğundan yoğun bakım ünitesinde bölgesel kas atrofisinin değerlendirilmesi için uygundur. Günümüzde sarkopeninin tanınmasında da kullanımı tartışılmaktadır. Ancak henüz değerlendirmede güvenilir standart bir protokol bulunmamaktadır.

4.2 Karmaşık metodlar

4.2.1 Dual enerji X-ışını absorptiometri (DEXA)

DEXA; FM, FFM ve kemik mineral kütlesi/dansitesi hacimlerinin ölçümünü sağlayan karmaşık ve indirekt bir yöntemdir (yani üç kompartmanlı model). Bu yöntemde iki değişik X-ışını düzeyi kullanılır ve komponentler dokulara özgü şekilde X-ışınıni soğurmalarına göre sınıflandırılır. DEXA göreceli olarak ucuzdur ve klinik araştırmalarda artarak kullanılmaktadır. Ancak radyasyona maruziyete neden olduğundan klinik pratikte tekrarlanan ölçümlerde rutin kullanım açısından uygun değildir.

4.2.2 Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI) ve Kompüterize Tomografi (BT)

Vücut kompozisyonu MRI ve BT gibi kesitsel görüntüleme yöntemleriyle de değerlendirilebilir. MRI'da iyonize radyasyon kullanılmaz fakat manyetik alan gradientleri ve radyofrekans alan kullanarak spesifik atomik çekirdeklerin (temel olarak protonlar) magnetizasyonunu sıralar. Bu durum bir tarayıcı tarafından algılanan dönen bir manyetik alan yaratır. MRI ve BT yalnız FM ve FFM ölçümünü değil bölgesel yağ dağılımı ve iskelet kasının değerlendirilmesini de sağlar. Günümüzde vücut kompozisyonu değerlendirmesinde en hassas yöntemlerdir. Bu nedenle yeni yöntemler ve formüllerin kalibrasyonu ve validasyonunda tercih edilirler (8). Ancak yüksek maliyet, ulaşım ve harcanan zaman ve radyasyon maruziyeti (BT) nedeniyle asıl olarak araştırmalarda kullanılırlar.

4.2.3 Dilüsyon yöntemleri

Endikatör dilüsyon metodları, bir kompartmanın hacminin vücuda verilen endikatör dozunun belirli bir zaman sonra bu kompartmandaki konsantrasyonuna oranı olduğu prensibine dayanır. Endikatör verildikten sonra belirli bir zaman beklenerek kompartmanda dağılması sağlanır. Daha sonra endikatör vücut

sıvılarından toplanır ve dilüsyon miktarı ölçülür. Endikatörün dilüsyon derecesi ölçülmek istenen kompartmanın miktarını verir. Total vücut suyu için işaretlenmiş (genellikle deuterium) sudan oluşan endikatör dozu oral yolla verilir ve iki vücut sıvısı elde edilir: bazal değer için doz öncesi örnek ve 2-3 saatlik dengelenme zamanı sonrasında ikinci örnek. Dilüsyon metodlarıyla TBW tahmini altın standart olarak kabul edilmektedir. ECW için bromür kullanılır zira asıl olarak ekstraselüler olarak dağılır. TBW ve ECW hesaplanınca TBW'den ECW çıkartılarak hücre içi su miktarı elde edilebilir. Hastalık ne kadar ağırsa daha fazla bromürün intraselüler olarak yer alacağı ve yöntemin güvenilirliğini azaltacağı unutulmamalıdır.

4.2.4 Su Altında Ağırlık Ölçümü ve Hava Yer Değiştirme Pletismografisi

Yıllar önce geliştirilmesine ve yalnız iki kompartmanlı bir model olmasına rağmen su altında ağırlık ölçümü hala vücut kompozisyonu ölçümlerinde altın standart olarak kabul edilmektedir. Vücut dansitesi ölçümüne dayanır (dansitometre). Kişi tamamen suya batırılır ve kişinin vücut ağırlığı ile yer değiştiren su hacminden tüm vücut dansitesi hesaplanır. FM ve FFM özgül ağırlıkları bilindiğinden hacimleri hesaplanabilir. FM'in sabit dansitesi güvenle hesaplanabilirken FFM çok heterojen bir kompartmandır ve hastalık sırasında dansitesinde değişkenlik olabilir. Diğer bir kısıtlama da rezidüel akciğer hacmi için düzeltme yapılmasıdır. Ancak yaklaşık değerler alındığında FM hacminde %4'lük hata payına yol açabilir. Zahmetli yöntemi nedeniyle hastalar için uygun değildir. Yakın zamanda Hava Yer Değiştirme Pletismografisi su altında ağırlık ölçümünün yerini almaya başlamıştır. Burada kişi suya batırılmaz ve kapalı hava dolu bir kabine alınır ve hacimdeki değişim ikinci bir referans kabinde ölçülebilir. Bu yöntem basınç ile hacim arasındaki ters orantıyı kullanarak vücut hacmini elde eder. Bu yöntem hastalar için daha uygundur ancak su altında tartı ile aynı kısıtlamalara sahiptir.

4.2.5 Total vücut potasyumu

Total vücut potasyumu sayımında doğal potasyum izotopundan (^{40}K) çıkan gamma ışınları toplanır. Sonuçta intraselüler potasyum konsantrasyonu sabit olduğundan metabolik olarak aktif hücre kütlesini gösterir. Hastalıkta bu doğru sonuç vermeyebilir ve hastalık ne kadar ağırsa intraselüler K^+ o kadar azalır.

4.2.6 İn vivo Nötron Aktivasyon Analizi (İVNAA)

Bu teknik tüm vücut Na, Cl, N, Ca ve P tahminini sağlar. Tüm vücut protein ölçümünde altın standart olarak kabul edilir (azot aracılığıyla). Ancak karmaşık ekipman gerektirir, çok pahalıdır, bu nedenle yalnız araştırma amaçlı kullanılır.

5. Kaynaklar

1. Norman K, Pichard C, Lochs H, Pirlich M. Prognostic impact of disease-related malnutrition Clin Nutr. 2008 Feb;27(1):5-15.
2. Hill GL. Body composition research: implications for the practice of clinical nutrition. JPEN 1992; 16: 197
3. Woodrow G. Body composition analysis techniques in the aged adult: indications and limitations. Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2009 Jan;12(1):8-14.
4. Prado CM, Baracos VE, McCargar LJ, Mourtzakis M, Mulder KE, Reiman T, Butts CA, Scarfe AG, Sawyer MB. Body composition as an independent determinant of 5-fluorouracil- based chemotherapy toxicity. Clin Cancer Res. 2007 Jun 1;13(11):3264-8.
5. Norman K, Stobäus N, Gonzalez C, Schulzke JD, Pirlich M. Hand grip strength: Outcome predictor and marker of nutritional status Clinical Nutrition 2011;30: 135-142.
6. Norman K, Stobäus N, Pirlich M, Bosity-Westphal A. Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis- Clinical relevance and applicability of impedance parameters. Clin Nutr 2012
7. Bosity-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer RP, Later W, Wiese S, Müller MJ. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index JPEN J Parenter Enteral Nutr. 2006;30(4):309-16.
8. MacDonald AJ, Greig CA, Baracos V. The advantages and limitations of cross-sectional body composition analysis. Curr Opin Support Palliat Care. 2011 5:342-