

Yanık Yaralanmalarında Enerji Metabolizması ve Enerji Gereksiniminin Belirlenmesinde Güncel Yaklaşımlar

Energy Metabolism in Burn Injury and Current Approaches to Determine the Energy Requirements

Güleren SABUNCULAR,^a
Nilüfer ACAR TEK^b

^aBeslenme ve Diyetetik Bölümü,
Marmara Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi,
İstanbul

^bBeslenme ve Diyetetik Bölümü,
Gazi Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi,
Ankara

Geliş Tarihi/Received: 03.08.2016
Kabul Tarihi/Accepted: 07.11.2016

Yazışma Adresi/Correspondence:

Nilüfer ACAR TEK
Gazi Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi,
Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara,
TÜRKİYE/TURKEY
acarnil@hotmail.com

ÖZET Yanık hastalarında, hasar boyutuyla orantılı olarak uzun süreli hipermetabolik yanıt gelişmektedir. Artmış katabolizma ve yüksek düzeyde enerji tüketimi; ağırlık kaybı, immün disfonksiyon, viseral organ disfonksiyonu, gecikmiş yara iyileşmesi ve ölümle sonuçlanabilmektedir. Yüksek enerji tüketimi önemli ölçüde bazal/dinlenme enerji harcamasından dolayıdır. Dinlenme enerji harcamasındaki artış zaman içinde değişken olup, yanmış vücut yüzey alanı ile orantılıdır. Dinlenme enerji harcaması, yaralanmadan ilk bir iki ay sonra normal değerlerin %120-180 üzerine ulaşmaktadır. Enerji gereksinimi bu durumda yeterli beslenmeyi sağlamak için doğru bir şekilde değerlendirilmelidir. İndirekt kalorimetre enerji harcamasını ölçmek için altın standart olarak kabul edilir ve düzenli kullanımı yeterli besin desteği sağlamada ve yetersiz-aşırı beslenmenin erken teşhisinde yararlıdır. Ancak, rutin kullanımı deneyimli personel gerektirdiğinden pratik değildir, pahalı bir yöntemdir ve baş, yüz yanıkları olan hastalar için uygun değildir. Bu sınırlamalar nedeni ile enerji harcaması tahmini için çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir. Son yıllarda yanık hastalarında enerji harcamasının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin, ölçülen enerji harcaması ile tam korelasyon göstermediği saptanmıştır. Kullanılan yöntemlerin çoğu enerji tüketimini yüksek tahmin etmektedir. Yanık hastalarında yanık yarası, yara enfeksiyonu ve iyileşme oranları gibi faktörler bulunmaktadır. Yara alanının genişliği genellikle enerji gereksinimi tahminlerinin içine dâhil edilmiştir. Ancak, yara büyüklüğünü içeren birçok eşitlik, yara kapanmasına rağmen metabolik hızın yüksek kalmasına bağlı olarak ölçülen enerji harcamasından daha yüksek tahminlerde bulunmaktadır. Yanık hastaları için daha doğru tahmin denklemleri geliştirilene kadar optimal beslenme gereksinimlerinin hesaplanmasında indirekt kalorimetre ile enerji harcamasının ölçülmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yanıklar; enerji metabolizması; yöntemler

ABSTRACT A long-term hypermetabolic response develops in proportion to the size of the damage in burn patients. Increased metabolic rate and a high energy consumption can result in weight loss, immune dysfunction, visceral organ dysfunction, delayed wound healing and death. High energy consumption is significantly due to the basal/resting energy expenditure. The rise in resting energy expenditure is variable over time and proportional to burned body surface area. Resting energy expenditure reaches 120-180% of the normal value two months after the injury. Energy requirements should be assessed properly to ensure adequate nutrition. Indirect calorimetry is considered the gold standard for measuring energy expenditure and its regular use is useful in providing an adequate nutritional support. However, the routine use of indirect calorimetry is not practical because it is expensive, requires experienced staff and is not suitable for patients with the head and facial burns. Because of this limitation, various equations have been developed to estimate the energy consumption. In recent years, the methods used to determine the energy expenditure in burn patients were found to poorly correlate with measured energy expenditure. Most of these overestimate the energy consumption. Burn wounds, wound infection and healing rates are effective for energy expenditure. The size of the wound area is usually incorporated into the estimate equations. Nevertheless, many equations containing wound size have higher estimate than the measured energy expenditure. Until a more accurate prediction equations developed for burn patients, measurement of energy expenditure by indirect calorimetry is proposed for determining the optimal nutritional requirements.

Keywords: Burns; energy metabolism; methods

Dünya çapında dördüncü yaygın travma olan yanık, diğer yaralanmalar arasında en yıkıcı olanıdır ve global bir halk sağlığı sorunudur.¹ Termal yaralanma ciddi metabolik yanıtta neden olan travmatik bir olaydır.² Oluşan yanıt yanık ve hasar boyutu ile orantılıdır.^{2,3} Patofizyolojik değişiklikler akut inflamatuvar yanıtı, periferik insülin direncini ve immün yetmezliğini uyarmaktadır.² Metabolizmada sitokinlerin devamlı ve uzun süreli salgılanması nedeni ile çoklu organ yetmezliği değişken hiperkatabolik sürece yol açabilmektedir.^{2,4} Enerji ve besin ögeleri gereksinimi bu durumda yeterli beslenmeyi sağlamak için doğru bir şekilde değerlendirilmelidir. Yetersiz veya aşırı beslenmeyi önlemek ve beslenme desteği komplikasyonlarını en aza indirmek için hastadan ayrıntılı anamnez alınması gerekmektedir.² Ayrıca enerji harcaması tahminlerinin doğruluğu da önemlidir.⁵

Yanık hastalarında beslenme gereksinimlerini belirlemede kullanmak için çeşitli tahmin eşitlikleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, yanık yaralanmalarının enerji metabolizmasına etkisinin ve enerji gereksinimini belirlemeye yönelik geliştirilmiş farklı eşitliklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

YANIKTA METABOLİK YANIT

Ciddi yanık yaralanması olan hastalarda, protein sentezinde ve yıkım hızında dramatik artış ve yaralanmanın şiddetiyle orantılı olarak önemli ve uzun süreli hipermetabolik yanıt gelişmektedir.^{3,6,7} Bu yanıt endokrin stres tepkisi, inflamatuvar yanıt (çoklu mediyatörler), klasik faktörler olan yaş ve cinsiyet ile yara genişliği ve iyileşme zamanına bağlıdır.^{3,8} Hasta temel olarak iki faz sergilemektedir: “ebb fazı”nda plazma hacmi ve insülin seviyelerinde azalma, şokun ilk işaretleri, hipotermi, azalmış oksijen tüketimi, doku perfüzyonu ve metabolik hızda azalma gözlenmektedir. Bundan sonra meydana gelen hormonal değişiklikler sonucunda “ebb fazı”, “flow faz” olarak bilinen hipermetabolik hız ve hiperdinamik sirkülasyon fazına geçmektedir. Bu faz, mediyatörler aracılığıyla kontrol edilmekte ve metabolik yanıtı düzenleyen katabolik hormon-

ların artması ve anabolik hormonların azalması ile ayırt edilmektedir.⁹⁻¹² “Flow faz”da kalp atım hızı, vücut ısısı, enerji tüketimi, lipoliz, proteoliz ve glukoneogenezde artış gözlenmektedir. Bu reaksiyonlar yara iyileşmesini sağlayan metabolik olayların sonucudur.^{8,9}

YANIKTA ENERJİ METABOLİZMASI

İleri derecede yanıkların enerji harcamasında ciddi değişiklikler meydana gelmektedir.^{13,14} Yanıkta enerji ihtiyacı önemli ölçüde bazal/dinlenme enerji harcaması (REE)’nden dolayı artmaktadır; ancak artış zaman içinde değişken olup REE yanmış vücut yüzey alanı [total burned surface area (TBSA)] ile orantılıdır.^{3,6} REE, TBSA %40 üzerinde olan yanık hastalarında akut dönemde %180 oranında artar iken, bu artış yanık yaralarının iyileşmesi sonrasında %150, yanık yaralanmasından 12 ay sonrasında ise %110 oranında seyretmektedir.^{2,15} Açık yara yoluyla ısı kaybı ve termoregülasyondaki yetersizlik yanık sonrasında metabolik hızın artmasında önemli rol oynamaktadır. Ek olarak, yanık sonrası kronik adrenerjik uyarının çok sayıda metabolik substratın kinetiğini değiştirmesi metabolik hızı etkileyebilmektedir.^{11,13}

Yaklaşık olarak yanık sonrası beşinci gün başlayıp 24 aya kadar sürebilen hipermetabolik yanıtın birincil mediyatörleri, yaralanmadan sonra düzeyleri 10-15 kat artış gösteren proinflamatuvar sitokinler, kortikosteroidler ve endojen plazma katekolaminlerdir.^{9,16,17} Hasarlı dokulardan salınan sitokinler modifiye bazal metabolizmaya dönüşmekte ve akut travma sonrası uzun süre değişmiş olarak muhafaza edilmektedir.² Yanık sonrası hipermetabolik yanıt, hastanede kalış süresince devam etmekte ve altı aydan uzun sürebilmektedir.¹⁸ Hipermetabolizmada yara iyileşmesi, immün fonksiyon ve hepatik protein sentezi gibi vital olaylarda gerekli substratı sağlamak için vücut proteini yıkıma uğrayarak kaslardaki aminoasitler kullanılmaktadır. Bu patofizyolojik yanıt, kaslarda protein yıkımı ve yağsız vücut kütlesi kaybına yol açmaktadır.^{7,16,19,20} Ciddi yanık yaralanmalarında artan sistemik enerji harcaması, şiddetli kas katabolizması ve artan enerji harcaması nedeni ile hem boy uzunluğu hem de vücut ağırlığında üç yıla

kadar büyümede gecikme görülebilmektedir.^{6,14,16,19} Ayrıca, enerji substratlarının yoğun kullanımı hastada bağışıklık sistemi yetersizliği, enfeksiyonlar, önemli azot kaybı, gecikmiş yara iyileşmesi, çoklu organ yetmezliği, uzun süreli hastanede kalış ve mortaliteye neden olabilen malnütrisyona yol açmaktadır.^{4,17,20,21}

Protein katabolizması, ağrı, ateş, mekanik ventilasyon, kortikosteroidler, vazoaaktif ajanlar ve yara boyutu enerji tüketiminin artmasına sebep olur iken; malnütrisyon, nöromusküler ajanlar enerji tüketimini azaltabilmektedir.²² Yanık kaynaklı hipermetabolizmada REE; artan kalp hızı, solunum hızı, vücut ısısı, oksijen (O₂) tüketimi, karbondioksit (CO₂) üretimi, glukoz kullanımı, glukojenoliz, lipoliz ve proteoliz nedeni ile normal düzeyden iki kat yükselebilmektedir.⁵ Yanık sonrasında hipermetabolizmanın yanık yarasının kapanması ile yavaşladığı düşünülmektedir. Ancak, TBSA %40 gibi büyük yanığı olan pediatrik hastalarda yaralar iyileştikten sonra bile REE'nin yüksek kaldığı ve dokuz ay protein katabolizmasının devam ettiği gözlenmiştir. Artan kortizol düzeyleri kas proteolizi, protein yıkımı ve protein oksidasyonunu uyarmaktadır. Yanık hastalarında yüksek enerji harcamasının büyük bir bölümünden bu yüksek protein oksidasyon oranı sorumludur.^{16,23}

YANIKTA ENERJİ GEREKSİNİMİ

Enerji gereksiniminin değerlendirilmesi etkili beslenme desteği için gerekmektedir.²⁴ Yanık hastalarında çeşitli klinik müdahaleler metabolik durumu ve enerji gereksinimlerini etkileyebilmektedir. Enerji gereksinimi hastadan hastaya değişmesinin yanı sıra bir yanık ünitesinden diğerine uygulama standartlarına bağlı olarak değişmektedir.^{2,22} Hastanın genel enerji harcamasını, ısı kaybını en aza indirmek için alınan tedbirler ağrı yönetimi, sedasyon, solunum desteği ve beslenme tedavisini etkilemektedir. Bu durum yanık hastalarında enerji gereksinimini genellemeyi zorlaştırmaktadır.²²

Yanık alan büyüklüğü, orantılı olarak hipermetabolik yanıt, inflamasyon, katabolizma, vücut kompozisyonundaki değişimler, hormon üretimi ve organ fonksiyon bozukluğunu etkilemektedir. Açık yara alanının genişliği genellikle yanık hastaları

için enerji gereksinimi tahminlerinin içine dâhil edilmiştir. Enerji gereksinimi tahmininde bu yöntem mantıklı görünmektedir. Ancak yara büyüklüğünü içeren birçok denklem, ölçülen enerji harcamasından daha yüksek tahminlerde bulunmaktadır.² Metabolizma hızı yara kapanmasına rağmen yüksek kalabilmektedir. Bu, yeni iyileşmiş yaralarda devam eden deri su kayıpları veya genel hipermetabolik durum ile açıklanmaktadır.²²

Hastanın metabolik hızını belirlemek, enerji dengesizliğinin dezavantajını önlemek için önemlidir.² Enerji harcaması, hastalarda beslenme tedavisini planlamak için temel referans noktasıdır. Total enerji harcaması genellikle REE'nin ölçülmesi ile belirlenmektedir.²⁵ REE, direkt ve indirekt kalorimetre, çift etiketli su gibi farklı yöntemlerle ölçülebilmektedir. Enerji metabolizmasının çalışmasıyla ilgili olarak, indirekt kalorimetre enerji harcamasını ölçmek için altın standart olarak kabul edilmektedir.^{5,26,27} İndirekt kalorimetre O₂ tüketimi ve CO₂ üretimini belirleyerek REE ölçümü yapmaktadır.^{5,26} Bu yöntemle tahmin derecesi minimize edilmekte ve düzenli ölçümlerin kullanılması klinik durum değişikliği ile uyum içinde kalmak için yeterli enerji verilmesini sağlamaktadır.²²

İndirekt kalorimetrenin düzenli kullanımı, yanık hastasına yeterli besin desteği sağladığından yetersiz-aşırı beslenmenin erken teşhisinde yararlıdır.^{2,22} Aşırı beslenme; yağ deposunun artması, karaciğer yağlanması, hiperglisemi, septik komplikasyonlar, artmış CO₂ üretimi, steatoz ve hiperozmolarite gibi istenmeyen komplikasyonlara karşı hastayı yatkın hâle getirebilmektedir.^{2,5,9,22,28,29} Yetersiz beslenme ise hastada yağsız vücut kütlelerinin kaybı ile malnütrisyona, yara iyileşmesinde gecikmeye, immün disfonksiyona, mekanik ventilasyona bağımlılığın uzamasına ve enfeksiyona neden olabilmektedir.^{5,24,28,29} Hem aşırı hem de yetersiz beslenme hastanede kalış süresini uzatabilmekte, morbidite ve mortalite riskinin artmasına neden olabilmektedir.³⁰ Bu nedenle enerji harcamasının doğru tahmin edilmesi önemlidir.⁵ İndirekt kalorimetrenin yanık hastalarında rutin kullanımı deneyimli personel ve cihaz gerektirdiğinden pratik değildir ve pahalı bir yöntemdir.^{4,5,26,27} Bu nedenle beslenme değerlendirmesi için indirekt kalorimetre

kullanımı araştırmalar için esas oluşursa da çok az uzman buna erişebilmektedir.² Ek olarak, sık metabolik ölçümler hastayı rahatsız ederek, klinik iř yükünü artırmaktadır, baş ve yüz yanıkları olan hastalar için uyumu kötüdür. Enerji tüketimi tahmini için bu sınırlamalar nedeni ile çeşitli formüller geliştirilmiştir.⁴

YANIKTA ENERJİ HARCAMASININ SAPTANMASINDA KULLANILAN DENKLEMLER

Tahmin eşitliklerinin ilk ve en popüler olanı 1900'lü yılların başında Harris ve Benedict tarafından geliştirilen denklemdir. Ne yazık ki bu denklemi geliştirmek için normal, sağlıklı bireyler çalışmaya alınmıştır. Yanık gibi durumlarda stres, REE'yi önemli ölçüde etkileyeceğinden sağlıklı bireyler için geliştirilmiş denklemleri kullanmak yanlış olacaktır. Bu değişiklikleri düzeltmenin bir yolu REE'ye yaralanma ölçütüne bağlı bir stres faktörü çarpanı eklenmesidir.²⁶ Ancak, Harris ve Benedict denklemini modüle etmek için kullanılan stres faktörlerinin ya çok hatalı ya da tamamen yanlış olduğu gösterilmiştir.³

Yanık sonrası metabolizma artışını göz önünde tutarak, enerji harcamasını belirlemek için birçok tahmin eşitliği geliştirilmiştir (Tablo 1).⁵ Son yıllarda yanık hastalarında enerji harcamasının saptanmasında kullanılan yöntemlerin hiçbirisi ölçülen enerji harcaması ile tam korelasyon göstermemektedir. Kullanılan yöntemlerin çoğu enerji tüketimini yüksek tahmin etmektedir.^{5,27,28} Eşitliklerde normalde boy, ağırlık ve yaş gibi sınırlı sayıda faktör yer almaktadır; ancak kritik hastalarda ateş, sepsis, cerahi gibi enerji harcamasına katkıda bulunan diğer birçok faktör bulunmaktadır. Yanık hastalarında ayrıca; yanık yarası, yara enfeksiyonları ve iyileşme oranları gibi faktörler mevcuttur.⁵ Buna bağlı olarak, 2009 yılında yayımlanan Amerikan Parenteral ve Enteral Beslenme Rehberi [American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (ASPEN)]'nde besin gereksinimlerini belirlemek için tahmin eşitliklerinin dikkatli kullanılması önerilmiştir.³¹

Metabolizmayı etkileyen faktörler çok karmaşık olduğu için tek bir eşitliğin, bireysel beslenme

ihtiyaçlarını tatmin edici bir hassasiyetle tanımlanması zordur. Yanık hastalarının beslenme ihtiyaçlarını tahmin etmek için 1970-1980 yılları arasında en sık kullanılan eşitlik William Curreri tarafından geliştirilen formüldür.⁵ Yanık bakımı gelişmekte iken 1970'li yıllarda, Curreri formülü ile 4.000-5.000 kcal/gün normal kabul edildiğinden sıklıkla gereğinden fazla beslenmeye yol açmıştır.^{2,3,29} Öte yandan, sabit vücut ağırlığına göre oluşturulan eşitlikler (25-30 kcal/kg/gün) ile hesaplanan enerji gereksinimleri yetersiz beslenme ile sonuçlanmıştır.^{3,32} 1976 yılında Pennisi enerji ve protein ihtiyaçlarını tahmin etmek için erişkinler ve çocuklar için tasarlanmış daha kapsamlı bir eşitlik geliştirmiştir. Yanık ve kritik hastalar için geliştirilmiş diğer eşitlikler Toronto, Schofield, Ireton-Jones, Harris-Benedict ve ASPEN önerileridir.² İndirekt kalorimetre yokluğunda, kalorimetrik çalışmaların çoklu regresyon analizine dayalı olarak geliştirilen Toronto denklemi iyi bir alternatiftir.³ Çocuklarda uygun bir alternatif olan Schofield denkleminin gereksinimi daha az tahmin ettiği göz önünde tutularak, hesaplama sonucunun yukarı doğru yuvarlanması gerekebilmektedir.³ Çocuklarda kullanılan en yaygın formüller Harris-Benedict, Mayes ve Dünya Sağlık Örgütü [World Health Organization (WHO)]'nün formülleridir.² Graves ve ark., 65 yanık merkezinde yaptıkları bir ankette, en yaygın olarak kullanılan formülleri sırasıyla Harris-Benedict (%44), kilogram başına kcal formülü (%17), Curreri formülü (%4) olarak bulmuşlardır. Geri kalan %35'lik dilimi diğer formüller oluşturmaktadır.³³

Dickerson ve ark. yaptıkları çalışmada, yanık hastalarında REE tahmini için 46 tahmin denklemi ile indirekt kalorimetre sonuçlarını karşılaştırmış, enerji harcamasının tam olarak tahmin edilemediğini ancak; Milner, Zawacki ve Xie tarafından geliştirilen formüllerin en hassas olduğunu kaydetmişlerdir.³⁴ Milner, yaralanmadan sonraki ilk bir ay içinde tahmin denklemlerinin kullanılabilceği, ancak 30 gün sonrasında tahmin denklemlerinin uygun olmadığı ve indirekt kalorimetre ölçümlerinin gerekli olduğu sonucuna varmıştır.³⁰ Milner, denklemi iyileştirmek için, yaralanmadan sonraki gün faktörünü ekleyerek Carlson denklemini adapte etmiştir.⁵

TABLO 1: Yanık hastalarında enerji harcamasının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ve bazı enerji alım önerileri.

İsim	Cinsiyet	Formül
Harris ve Benedict	Erkek	BMH x aktivite faktörü x yaranma faktörü
BMH	Kadın	66 + (13,7 x ağırlık kg) + (5 x boy cm)-(6,8 x yaş) 665 + (9,6 x ağırlık kg) + (1,8 x boy cm)-(4,7 x yaş)
		Aktivite faktörü Yatağa bağımlı: 1,2 Minimal hareket: 1,3
		Yaranma faktörü <%20 TBSA: 1,5 %20-40 TBSA: 1,6 >%40 TBSA: 1,7
Curreri	Hepsi	(25 kcal x ağırlık) + (40 x % TBSA)
Pennisi	Erişkin	(20 x ağırlık) + (70 x % TBSA)
	Çocuk	(60 kcal x ağırlık) + (35 kcal x % TBSA)
Toronto	Hepsi	[- 4343 + (10,5 x % TBSA) + (0,23 x kcal*) + (0,84 x Harris-Benedict) + (114 x T (°C))-(4,5 x yanık sonrası gün)] x aktivite faktörleri
		Ventilasyona bağımlı olmayanlarda aktivite faktörü Yatağa bağımlı: 1,2 Minimal hareket: 1,3
		Orta düzey hareket: 1,4 Ventilasyona bağımlı: 1,2
Modifiye Schofield	Erkek	Tahmini enerji gereksinimleri: BMH x yaranma faktörü 10-18 yaş= (0,074 x ağırlık) + 2,754 18-30 yaş= (0,063 x ağırlık) + 2,896 30-60 yaş= (0,048 x ağırlık) + 3,653 60 yaş= (0,049 x ağırlık) + 2,459
	Kadın	10-18 yaş= (0,056 x ağırlık) + 2,898 18-30 yaş= (0,062 x ağırlık) + 2,036 30-60 yaş= (0,034 x ağırlık) + 3,538 > 60 yrs= (0,038 x ağırlık) + 2,755
Yaranma faktörü:		<10% TBSA= 1,2 11-20% TBSA= 1,3 21-30% TBSA= 1,5 31-50% TBSA= 1,8 >50% TBSA= 2,0
ASPEN	Hepsi	25-35 kcal/kg/gün
Iretton-Jones formülü	Kendiliğinden nefes alabilen hastalar	629-(11 x yaş) + (25 x ağırlık)-(609 x O)
	Ventilasyona bağlı hastalar	1784-(11 x yaş) + (25 x ağırlık) + (244 x S) + (239 x t) + (804 x B)
FAO/WHO/UNU (çocuklar için)	Erkek <3 yaş	(60,9 x ağırlık)-54
	Erkek 3-10 yaş	(22,7 x ağırlık) + 495
	Erkek 10-18 yaş	(12,2 x ağırlık) + 746
	Kız <3 yaş	(61 x ağırlık)-51
	Kız 3-10 yaş	(22,5 x ağırlık) + 499
	Kız 10-18 yaş	(17,5 x ağırlık) + 651
Schofield-HW	Erkek 3-10 yaş	(19,6 x ağırlık) + (1,033 x boy) + 414,9
	Erkek 10-18 yaş	(16,25 x ağırlık) + (1,372 x boy) + 515,5
	Kız 3-10 yaş	(16,97 x ağırlık) + (1,618 x boy) + 371,2
	Kız 10-18 yaş	(8,365 x ağırlık) + (4,65 x boy) + 200
Mayes (çocuklar için)	Erkek/kız <3 y	108 + (68 x kg ağırlık) + (3,9 x % TBSA)
	Erkek/kız 3-10 y	818 + (37,4 x kg ağırlık) + (9,3 x % TBSA)
Zawacki	Hepsi	1440 x BSA
Carlson	Hepsi	BMH** x (0,89142 + (0,01335 x TBSA)) x BSA x 24 x aktivite faktörü
Xie	Hepsi	(1000 x BSA) + (25 x TBSA)
Milner	Hepsi	(BMH** x (0,274+0,0079 x TBSA- 0,004 x PBD)+BMH**) x 24 x BSA x aktivite faktörü

T: vücut ısısı °C; S: erkek = 1/kadın= 0; t: travma var: 1/travma yok: 0

O: obezite varlığı ideal vücut ağırlığının >%30: 1/yok: 0

B: yanık mevcut= 1/Hayır= 0; PBD: yanık sonrası gün

TBSA, (%) x 100 (gerçek başlangıç yanık boyutu, büyük yanıklar için cut-off kullanın)

BSA, (m²) (boy x ağırlık)/3600 karekökü

kcal* son 24 saatteki enerji alımı

BMH** erkek: 54,337821 - (1,19961 x yaş) + (0,02548 x yaş²) - (0,00018 x yaş³)

kadın: 54,74942 - (1,54884 x yaş) + (0,03580 x yaş²) - (0,00026 x yaş³).

BMH: Bazal metabolizma hızı; TBSA Yanmış vücut yüzey alanı; REE: Dinlenme enerji harcaması; ASPEN: "American Society for Parenteral and Enteral Nutrition";

FAO/WHO/UNU: "Food and Agriculture Organization of United Nations/World Health Organization/United Nations University"; BSA: "Body surface area."

Shields ve ark., yanık hastalarında kullanılan dokuz formül ile tahmin edilen enerji harcamasını, indirekt kalorimetre ölçümü ile karşılaştırdıkları çalışmaya en yaygın kullanılan ilk üç formülü (Milner, Carlson, Harris-Benedict) dâhil etmişlerdir.⁵ Çalışmaya göre; Milner, Carlson ve Harris-Benedict denklemlerinin enerji harcaması tahmini ile indirekt kalorimetre ile ölçülen enerji harcaması arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Milner denklemi, indirekt kalorimetre ile ölçülen REE ile en yüksek korelasyon katsayısına sahiptir. Sonuç olarak Shields ve ark., enerji harcamasının mevcut yöntemlerle tahmin edilemez olduğunu kabul etmekle birlikte, yanık sonrası ilk 30 günde mevcut yöntemler içinde Carlson ve Milner denklemlerinin kullanılmasını tavsiye etmektedir.⁵

Xie ve ark., 1993 yılında vücut yüzey alanına ve yanık yüzde alanına dayalı enerji tüketiminin tahmini için bir formül geliştirmişlerdir. Bu formül Dickerson tarafından Xie formülü olarak anılmakta, ancak Çin'de Üçüncü Askeri Tıp Üniversitesi Erişkin Hastalar Enerji Yanık Tüketim Tahmini Formülü (TMMU Formülü) olarak bilinmektedir. Bu formül 2005 yılında Çin Yanık Tedavi Rehberleri'ne dâhil edilmiştir. Xie ve ark. tarafından, kullanımından yaklaşık 20 yıl sonra, Xie formülü basit ve pratik olmasına rağmen, geniş yanık yüzdesi olan hastalarda enerji tüketimini yüksek tahmin ettiği bulunmuştur. Daha sonra Xie ve ark., TBSA %4-96 arasında değişen 66 yanık hastasını yaralanmadan sonra farklı zamanlarda değerlendirmiş, enerji harcaması tahmini için lineer ve lineer olmayan iki yeni eşitlik daha geliştirmişlerdir. Yeni eşitliklerin geçerlilik ve güvenilirliğini değerlendirmek için indirekt kalorimetre ölçümleriyle ve Carlson, Xie, Curreri ve Milner gibi yaygın olarak kullanılan formüller ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalı analiz, yeni eşitliklerin enerji tüketimi tahminlerinin yaygın olarak kullanılan ve en doğru kabul edilen Milner formülünden, anlamlı olarak daha yüksek doğruluk ve güvenilirlik sunduğunu göstermiştir.⁴

Lineer olmayan eşitlik:

$$REE=(1094,2477 + 7.3670 \times TBSA + 22,3935 \times PBD - 0,0766 \times TBSA^2 - 1,3496 \times PBD^2 + 0,4568 \times TBSA \times PBD) \times BSA$$

Lineer eşitlik:

$$REE= (1130+7 \times TBSA + 10 \times PBD) \times BSA,$$

eğer TBSA \leq 70 ve PBD \leq 14

$$(1330 + 10 \times TBSA - 14 \times PBD) \times BSA,$$

eğer TBSA \leq 70 ve PBD $>$ 14

$$(1350 - 0,4 \times TBSA + 33 \times PBD) \times BSA,$$

eğer TBSA $>$ 70 ve PBD \leq 14

$$(1460 + 2 \times TBSA + 12 \times PBD) \times BSA,$$

eğer TBSA $>$ 70 ve PBD $>$ 14

REE: Dinlenme enerji harcaması,

TBSA: Yanık vücut yüzey alanı,

PBD: Yanık sonrası gün sayısı,

BSA: Vücut yüzey alanı.

Liusuvan ve ark., TBSA %35-97 arasında değişen 10 pediatrik yanık hastasında Harris-Benedict, WHO ve Mayes formülü ile indirekt kalorimetre ölçümünün sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Ölçülen REE aktivite faktörü, stres faktörü gibi 1,3 çarpım faktörü içermektedir. Bu çarpım faktörünün en güvenilir faktör olduğu varyans analizleri ile gösterilmiştir. Harris-Benedict ve WHO formüllerine, Pediatrik Nutrisyon Desteği Multidisiplin El Kitabı'nda önerildiği üzere, yaralanma faktörü olarak 2 çarpımı eklenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, Harris-Benedictx2, WHOx2 ve Mayes formülü enerji harcamasını sırasıyla %29, %3 ve %19 daha yüksek tahmin etmekle birlikte, ölçülen REE'ye en yakın değer WHOx2 formülü ile elde edilmiştir.²⁸

Suman ve ark., yaş aralığı 3-18 yıl olan 91 yanık hastasında REE'nin belirlenmesinde kullanılan üç tahmin denklemi ve indirekt kalorimetre ölçümü arasındaki uyumu değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü/WHO/Birleşmiş Milletler Üniversitesi [Food and Agriculture Organization of the United Nations/WHO/United Nations University (FAO/WHO/UNU)], Schofield-HW ve Harris-Benedict denklemleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, üç tahmin denkleminde elde edilen değerler indirekt kalorimetre ile ölçülen REE değerinden düşük bulunmuştur. Ancak, üç denklemin de tahmin yüzdeleri birbirine benzer bulunmuştur. Tahmin denklemleri ve indirekt ka-

lorimetre arasındaki uyum Bland Altman metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Ölçülen REE ile tahmin edilen REE arasındaki uyum her üç denklem için de çok zayıftır. Yine de Schofield-HW denklemi ölçümle en düşük ortalama farkı vermiştir (635±526 kcal/gün).³⁵

Tahmin denklemlerinin ölçülen REE'den farklı sonuç vermesi beklenmedik bir durum değildir. Birincil neden, bu tahmin denklemleri yanmış ve hipermetabolik bireylerden değil yanmamış bireylerden elde edilmiştir.³⁵ Tahmin denklemleri birincil değişken olarak ölçümü kolay olan ağırlık verisini kullanmaktadır; ancak ağırlık, özellikle yanık popülasyonda, REE'yi tahmin etmek için en uygun değişken olmayabilmektedir. REE'nin majör belirleyicisi vücut ağırlığı değil, yağsız doku kütlesidir. Fakat yanık hastalarında önemli ölçüde yağsız doku kütlesi kaybı ve yağ kütlesinde artış bulunmaktadır. Ek olarak, yanıktan bir yıl sonrasına kadar metabolizma dengesizdir.^{2,35} Çünkü, yağsız kütle azalmasına bağlı olarak REE azalmış olabilmektedir. Dahası yanıkta TBSA, yanık sonrası gün, vücut kompozisyonu ve inhalasyon yaralanması gibi diğer faktörlerin de göz önüne alınması gerekmektedir.³⁵

Tek bir matematiksel tahmin eşitliğinin belirli bir yaş grubuna ait REE'yi hesap edemediği ve bütün ırklar ve coğrafi bölgeler için uygulanabilir olmadığını göstermektedir. Enerji ihtiyacının tahmininde önemli hatalar yapmamak için FAO/WHO/UNU

Uzman Komitesi bazı ırklar veya ülkeler için yeni denklemlerin türetilmesini önermektedir.³⁵

SONUÇ

Sonuç olarak, yanıkta yağsız doku kütlesi kaybolmaktadır, ancak REE hipermetabolik durumun yansıması olarak yüksektir.^{16,36} Bu nedenle yanıkta spesifik tahmin denklemleri gerekli olacaktır. Yanık hastaları için daha doğru tahmin denklemleri geliştirilene kadar, optimal beslenme gereksinimleri hesaplanmasında indirekt kalorimetre ile enerji harcamasının ölçülmesi ve tahmin denklemlerine dayalı olmaması gerektiği önerilmektedir. İndirekt kalorimetre mevcut değil ise kullanılacak matematiksel formülün seçiminde, formülün hangi popülasyon için geliştirildiği göz önünde bulundurularak hastanın yaşına, yanık yüzdesine, yanık sonrası gün faktörüne ve ventilasyon durumuna göre en uygun formül seçilmelidir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması veya finansal destek bildirmemiştir.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Güleren Sabuncular, Nilüfer Acar Tek; **Tasarım:** Güleren Sabuncular, Nilüfer Acar Tek; **Denetleme/Danışmanlık:** Nilüfer Acar Tek; **Analiz ve/veya Yorum:** Nilüfer Acar Tek, Güleren Sabuncular; **Kaynak Taraması:** Güleren Sabuncular; **Makalenin Yazımı:** Güleren Sabuncular, Nilüfer Acar Tek.

KAYNAKLAR

- Knowlin L, Stanford L, Moore D, Cairns B, Charles A. The measured effect magnitude of co-morbidities on burn injury mortality. *Burns* 2016;42(7):1433-8.
- Mendonça Machado N, Gragnani A, Masako Ferreira L. Burns, metabolism and nutritional requirements. *Nutr Hosp* 2011;26(4):692-700.
- Rousseau AF, Losser MR, Ichai C, Berger MM. ESPEN endorsed recommendations: nutritional therapy in major burns. *Clin Nutr* 2013;32(4):497-502.
- Xi P, Kaifa W, Yong Z, Hong Y, Chao W, Lijuan S, et al. Establishment and assessment of new formulas for energy consumption estimation in adult burn patients. *PloS One* 2014;9(10):e110409.
- Shields BA, Doty KA, Chung KK, Wade CE, Aden JK, Wolf SE. Determination of resting energy expenditure after severe burn. *J Burn Care Res* 2013;34(1):e22-8.
- Porter C, Herndon DN, Børsheim E, Chao T, Reidy PT, Borack MS, et al. Uncoupled skeletal muscle mitochondria contribute to hypermetabolism in severely burned adults. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2014;307(5):E462-7.
- Diaz EC, Herndon DN, Porter C, Sidossis LS, Suman OE, Børsheim E. Effects of pharmacological interventions on muscle protein synthesis and breakdown in recovery from burns. *Burns* 2015;41(4):649-57.
- Jewo PI, Fadeyibi IO. Progress in burns research: a review of advances in burn pathophysiology. *Ann Burns Fire Disasters* 2015;28(2):105-15.
- Rodríguez NA, Jeschke MG, Williams FN, Kamolz LP, Herndon DN. Nutrition in burns: Galveston contributions. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2011;35(6):704-14.
- Williams FN, Herndon DN, Jeschke MG. The hypermetabolic response to burn injury and interventions to modify this response. *Clin Plast Surg* 2009;36(4):583-96.

11. Shan Chew EC, Baier N, Lee JH. Do β -blockers decrease the hypermetabolic state in critically ill children with severe burns? *Hosp Pediatr* 2015;5(8):446-51.
12. Kim JB, Cho YS, Jang KU, Joo SY, Choi JS, Seo CH. Effects of sustained release growth hormone treatment during the rehabilitation of adult severe burn survivors. *Growth Horm IGF Res* 2016;27:1-6.
13. Porter C, Herndon DN, Sidossis LS, Børsheim E. The impact of severe burn injury on skeletal muscle mitochondrial function. *Burns* 2013;39(6):1039-47.
14. Prelack K, Yu YM, Sheridan RL. Nutrition and metabolism in the rehabilitative phase of recovery in burn children: a review of clinical and research findings in a speciality pediatric burn hospital. *Burns Trauma* 2015; 3:7.
15. Herndon DN, Tompkins RG. Support of the metabolic response to burn injury. *Lancet* 2004;363(9424):1895-902.
16. Mlcak RP, Jeschke MG, Barrow RE, Herndon DN. The influence of age and gender on resting energy expenditure in severely burned children. *Ann Surg* 2006;244(1):121-30.
17. Yo K, Yu YM, Zhao G, Bonab AA, Aikawa N, Tompkins RG, et al. Brown adipose tissue and its modulation by a mitochondria-targeted peptide in rat burn injury-induced hypermetabolism. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2013; 304(4):331-41.
18. Palmieri TL. Pediatric burn resuscitation. *Crit Care Clin* 2016;32(4):547-59.
19. Al-Mousawi AM, Williams FN, Mlcak RP, Jeschke MG, Herndon DN, Suman OE. Effects of exercise training on resting energy expenditure and lean mass during pediatric burn rehabilitation. *J Burn Care Res* 2010;31(3): 400-8.
20. Przkora R, Fram RY, Herndon DN, Suman OE, Mlcak RP. Influence of inhalation injury on energy expenditure in severely burned children. *Burns* 2014;40(8):1487-91.
21. Núñez-Villaveirán T, Sánchez M, Millán P, García-de-Lorenzo A. Systematic review of the effect of propranolol on hypermetabolism in burn injuries. *Med Intensiva* 2015;39(2): 101-13.
22. Prelack K, Dylewski M, Sheridan RL. Practical guidelines for nutritional management of burn injury and recovery. *Burns* 2007;33(1): 14-24.
23. Disseldorp LM, Mouton LJ, Van der Woude LH, Van Brussel M, Nieuwenhuis MK. Anthropometry, muscular strength and aerobic capacity up to 5 years after pediatric burns. *Burns* 2015;41(8):1839-46.
24. Amirkalali B, Hosseini S, Heshmat R, Larjani B. Comparison of Harris Benedict and Mifflin-ST Jeor equations with indirect calorimetry in evaluating resting energy expenditure. *Indian J Med Res* 2008;62(7): 283-90.
25. Kreymann G, Adolph M, Mueller MJ. Energy expenditure and energy intake-Guidelines on Parenteral Nutrition, Chapter 3. *Ger Med Sci* 2009;7.
26. Stucky CC, Moncure M, Hise M, Gossage CM, Northrop D. How accurate are resting energy expenditure prediction equations in obese trauma and burn patients? *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2008;32(4):420-6.
27. Lavrentieva A. Critical care of burn patients. New approaches to old problems. *Burns* 2015;42(1):13-9.
28. Liusuwan RA, Palmieri TL, Kinoshita L, Greenhalgh DG. Comparison of measured resting energy expenditure versus predictive equations in pediatric burn patients. *J Burn Care Rehabil* 2005;26(6):464-70.
29. Pantet O, Stoecklin P, Vernay A, Berger MM. Impact of decreasing energy intakes in major burn patients: A 15-year retrospective cohort study. *Clin Nutr* 2016;1-7.
30. Milner EA, Cioffi WG, Mason AD, McManus WF, Pruitt BA Jr. A longitudinal study of resting energy expenditure in thermally injured patients. *J Trauma* 1994;37(2):167-70.
31. Martindale RG, McClave SA, Vanek VW, McCarthy M, Roberts P, Taylor B, et al. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of Critical Care Medicine and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition: Executive Summary. *Crit Care Med* 2009;37(5):1757-61.
32. Rimdeika R, Gudaviciene D, Adamonis K, Barauskas G, Pavalkis D, Endzinas Z. The effectiveness of caloric value of enteral nutrition in patients with major burns. *Burns* 2006; 32(1):83-6.
33. Graves C, Saffle J, Cochran A. Actual burn nutrition care practices: an update. *J Burn Care Res* 2009;30(1):77-82.
34. Dickerson RN, Gervasio JM, Riley ML, Murrell JE, Hickerson WL, Kudsk KA et al. Accuracy of predictive methods to estimate resting energy expenditure of thermally-injured patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2002; 26(1):17-29.
35. Suman OE, Mlcak RP, Chinkes DL, Herndon DN. Resting energy expenditure in severely burned children: analysis of agreement between indirect calorimetry and prediction equations using the Bland-Altman Method. *Burns* 2006;32(3):335-42.
36. Hart DV, Wolf SE, Mlcak R, Chinkes DL, Ramzy PI, Obeng MK, et al. Persistence of muscle catabolism after severe burn. *Surgery* 2000;128(2):312-9.