

Yoğun Bakım Hastalarının Dinlenme Enerji Gereksiniminin Belirlenmesinde Kullanılan Güncel Yöntemler

Current Methods Used to Determine Resting Energy Expenditure in Intensive Care Patients

 Fatmanur Hümeýra ZENGİN,^a
 Nilüfer ACAR TEK^b

^aBeslenme ve Diyetetik Bölümü,
Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
^bBeslenme ve Diyetetik Bölümü,
Gazi Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi,
Ankara, TÜRKİYE

Received: 10.04.2018
Received in revised form: 20.06.2018
Accepted: 22.06.2018
Available online: 03.12.2018

Correspondence:
Fatmanur Hümeýra ZENGİN
Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara,
TÜRKİYE/TURKEY
humeýrazengin@hotmail.com

ÖZET Yoğun bakım hastalarında yeterli ve dengeli beslenme desteği tedavinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Birçok çalışma hastanın bireysel besin gereksinimini belirlemenin klinik değerlendirmede önemli bir yer tuttuğunu vurgulamaktadır. Çünkü hem aşırı beslenme hem de yetersiz beslenme hastaların iyileşme sürecini olumsuz etkilemektedir. Dinlenme enerji harcamasının (DEH) doğru olarak belirlenmesi, akut hastalıklar ve hastanın DEH'yi azaltan veya arttıran tedavilerden dolayı klinik uygulamada oldukça zordur. Dinlenme enerji harcamasının (DEH) belirlenmesinde direkt kalorimetre paralel ölçümleriyle doğrulanmış olan indirekt kalorimetre (İK) hala altın standart olarak kabul görmektedir. Ancak, İK pahalı olması, eğitimli personel gerektirmesi ve ulaşım zorluğundan dolayı yaygın kullanılamamaktadır. İndirekt kalorimetreye ulaşılamayan durumlarda DEH'yi belirlemek için birçok tahmin eşitliği kullanılsa da yoğun bakım hastalarının DEH'nin günlük olarak değişkenlik göstermesi nedeniyle çalışmaların çoğu tahmin eşitliklerinin DEH'yi doğru tahmin edemediğini göstermektedir. Bununla birlikte, bazı çalışmalar Penn State 2010 eşitliğinin tahmin eşitlikleri arasında İK ile en yakın korelasyona sahip eşitlik olduğunu bildirmiştir. Son zamanlarda yapılan birçok araştırma yoğun bakım hastalarında, karbondioksit (CO₂) dayalı kalorimetre ile hesaplanan DEH'nin sıklıkla kullanılan eşitliklere göre daha doğru tahmin sağladığını göstermektedir. Kapnometrelerin yaygın kullanımı ve nispeten düşük maliyeti İK'ye ulaşılamayan yoğun bakım ünitelerinde DEH'nin değerlendirilmesi için yararlı bir alternatif olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yoğun bakım üniteleri; kalorimetre; indirekt; beslenme desteği; dinlenme enerji gereksinimi

ABSTRACT Adequate and balanced nutritional support in intensive care patients constitutes an important part of treatment. Many studies emphasize that determining the individual nutritional needs of patients has an important role in clinical evaluation. Both overfeeding and undernutrition negatively affect the healing process of patients. Accurate determination of resting energy expenditure (REE) is very difficult in clinical practice due to acute diseases and treatments that reduce or increase the patient's REE. Indirect calorimetry (IC), confirmed by parallel measurements of direct calorimetry at REE, is still accepted as the gold standard. However, the IC is not widely used because it is expensive, requires trained personnel and is difficult to transport. Although many predictive equations are used to determine REE in situations where the indirect calorimetry is unavailable most studies show that these equations can not predict REE accurately due to daily variability of REE in intensive care patients. Nevertheless, some studies have reported that Penn State 2010 equation is the closest equation to IC among predictive equations. Many recent research conducted in intensive care patients show that REE, calculated by CO₂-based indirect calorimetry, provides more accurate estimates than the commonly used equations. The widespread use of capnometers and the relatively low cost suggests that it may be a useful alternative to the evaluation of REE in intensive care units where IC is not available.

Keywords: Intensive Care units; calorimetry; indirect; nutritional support; resting energy requirement

Yoğun bakım hastalarında toplam enerji harcamasında (TEH) fiziksel aktivitenin katkısı yok denecek kadar düşüktür. Bu nedenle enerji ihtiyacı belirlenirken dinlenme enerji harcaması (DEH) temel alınmaktadır. Beslenme desteği yoğun bakım hastalarında tedavinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır.¹ Günümüzde, yoğun bakım hastalarında maksimum fayda için optimal enerji gereksinimi her zamankinden daha fazla tartışılmaktadır.^{2,3} Bu alandaki çalışmaların eksikliği, yoğun bakım hastalarının enerji ihtiyacı üzerine çelişkili sonuçlar veren çok sayıda yayın tarafından açıkça ifade edilmektedir.⁴⁻⁶ Dahası, erken evrede beslenme ihtiyacı ve nasıl olması gerektiği konusunda Avrupa Klinik Beslenme ve Metabolizma Birliği (ESPEN), Kanada Beslenme Rehberi ve Amerikan Parenteral ve Enteral Beslenme Birliği (ASPEN) tarafından yoğun bakım hastaları için beslenme kılavuzlarında anlaşmazlık devam etmektedir.³ Hastanın beslenme gereksinimini belirlemek klinik değerlendirmede hayati önem taşımaktadır. Birçok çalışma enerji ve protein alımının yakından izlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.⁷⁻¹⁰ Çünkü hem aşırı beslenme hem de yetersiz beslenme hastalığının seyrini olumsuz yönde etkileyebilir.^{1,11} Aslında, yoğun bakım hastalarının enerji gereksinimi erken evrede muhtemel DEH'den düşüktür, zira erken evrede DEH'nin önemli bir kısmı endojen glikoz üretiminden karşılanmaktadır. Bu nedenle aşırı beslenme riski, erken evrede, geç evreye kıyasla daha yüksektir, bununla birlikte; yetersiz beslenme riski, yoğun bakım hastalıklarının geç evresinde daha da artmaktadır.¹² Son zamanlarda yapılan birçok çalışma, yoğun bakım hastalarında negatif enerji dengesini artmış hastane enfeksiyonu, mental, musküler, kardiyovasküler, renal, solunum ve gastrointestinal sistemle ilgili disfonksiyonlarla, mekanik ventilasyonda kalma süresinin uzamasıyla, artmış mortalite ve morbidite oranı ile ilişkili bulmuştur.^{11,13,14} Bazı çalışmalarda, beslenme yetersizliği ile yoğun bakım hastalarının iyileşme süreci arasında güçlü bir bağ olduğu gösterilmiştir.⁹ Huang ve ark. yoğun bakım hastalarının %90'ından fazlasının yoğun bakım ünitesine (YBÜ) başvurduktan 14 gün sonra

beslenme yetersizliği ile karşı karşıya kaldığını bildirmişlerdir.¹⁵ Bununla birlikte; aşırı beslenme hayatta kalma oranının azalması, hiperglisemi, enfeksiyonlar, artmış lipogenez ve hepatik disfonksiyonla ilişkilidir, ayrıca ventilasyon ve ventilatörden ayrılma sürecini negatif etkiler. Çünkü karbonhidratlar CO₂ üretimini ve lipitler de O₂ kullanımını arttırmaktadır.¹⁴⁻¹⁶ Hiperglisemi, bağışıklık sistemi üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmekte ve böylece yoğun bakım hastalarının hayatta kalma süresini kısaltmaktadır. Hipergliseminin bu yan etkileri ve buna bağlı yüksek mortalite oranı göz önüne alındığında, yoğun bakım hastalarında hiperalimentasyonun kullanılmaması önerilmektedir.^{11,17} Yoğun bakım hastalarında yapılan bir araştırmaya göre DEH indirekt kalorimetre (İK) ile ölçülmüş ve enerji desteği alan hastaların %63'ünün, ölçülen DEH'nin altında, %21'inin ise ölçülenin üzerinde enerji aldığı saptanmıştır.¹⁵ Buna ek olarak, hastalar genellikle beslenme desteğinin farklı nedenlere bağlı olarak kesilmesi nedeniyle ön görülen DEH'den daha düşük enerji almaktadırlar.¹³ Çoğunlukla enerji alımı ve DEH arasındaki ilişkiyi göstermek için; alınan enerji, DEH'nin %<90'nı sağlıyorsa hipoenenerjik diyet, %91-110 arasında sağlıyorsa normal enerjili diyet ve %>110 sağlıyorsa: hiperenerjik diyet olarak ifade edilmektedir.¹⁸ Bu derlemede yoğun bakım hastalarının DEH'nin belirlenmesinde kullanılan yöntemler güncel çalışmalar doğrultusunda incelenmiştir.

YOĞUN BAKIM HASTALARININ DİNLENME ENERJİ GEREKSİNİMİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN GÜNCEL YÖNTEMLER

Dinlenme enerji harcamasının belirlenmesi yoğun bakım hastalarının beslenme tedavisinin ayrılmaz bir parçasıdır. Doğru DEH'nin belirlenmesi, akut hastalıklar ve hastanın DEH'sini azaltan veya arttıran metabolizmayı etkileyen tedavilerden dolayı klinik uygulamadaki en büyük sorunlardan biridir.¹ Birçok araştırmacı yoğun bakım hastalarında DEH'nin belirlenmesi için pratik ve kolay bir çözüm aramaktadır.^{11,19} Yoğun bakım ünitesinde;

indirekt kalorimetre, Fick yöntemi, vücut büyüklüğü, yaralanma/hastalık derecesi veya inflamatuvar cevap derecesine dayalı tahmin eşitlikleri veya karbondioksit (CO_2) dayalı indirekt kalorimetre DEH'nin belirlenmesinde kullanılan temel yöntemlerdir.²⁰ Direkt kalorimetre paralel ölçümleriyle doğrulanmış olan İK altın standart olarak kabul edilmektedir.^{21,22} Bu araçlar pahalı olduğu, uzmanlık gerektirdiği ve ciddi teknik kısıtlılıklardan dolayı hala çok yaygın kullanılamamaktadır. Tahmin eşitlikleri yoğun bakım hastalarında enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi için rutin olarak kullanılmaktadır. Yoğun bakım hastalarında eşitliklerin doğruluğu hastalığın şiddeti ve birçok metabolik değişimden etkilendiği için değişmektedir. Bu grupta hangi eşitliğin kullanılması gerektiği konusunda ortak bir görüş bulunmamaktadır.^{11,19} Yoğun bakım hastalarında dinlenme enerji harcamasının belirlenmesinde kullanılan temel yöntemler; indirekt kalorimetre ile ölçüm, Fick yöntemi, CO_2 dayalı indirekt kalorimetre ve tahmin eşitlikleri ile hesaplama olarak sıralanabilir.

İNDİREKT KALORİMETRE

İndirekt kalorimetre, hücresel solunuma karşılık gelen oksijen tüketimini (VO_2 ml/dakika) ve karbon dioksit üretimini (VCO_2 ml/dakika) ölçmekte ve tüm vücudun DEH'sini hesaplamayı sağlamaktadır.^{15,23,24} Dinlenme enerji harcamasının yaklaşık %80'inin O_2 tüketiminden %20'nin ise CO_2 üretiminden dolayı olduğu tahmin edilmektedir.¹ İndirekt kalorimetre ile DEH hesaplanırken 1949'da Weir'in üretilen ısıyı temel alan eşitliği kullanılmaktadır.²⁵

Weir Eşitliği; $\text{DEH (kcal/d)} = 1,440 (3,9 \times \text{VO}_2 + 1,1 \times \text{VCO}_2 + 2,17 \times \text{uN}_2(\text{g}))$ uN₂=üriner nitrogen

Modifiye Weir Eşitliği; $\text{DEH (kcal/d)} = 1,440 (3,9 \text{ VO}_2 + 1,1 \text{ VCO}_2)^{12}$

İndirekt kalorimetre aralıklarla veya devamlı olarak uygulanabilir, kararlı asit-baz dengesi ve CO_2 üretimi ile tanımlanan kararlı bir durum elde edilinceye kadar yürütülmelidir. Çoğu araştırma 20-30 dakika İK ölçümünü 24 saatlik DEH'nin doğru bir göstergesi olarak kabul etmiştir.²³ 1980'lerde İK'ler tıbbi kullanıma uygun şekilde

adapte edilmiştir. Ama karmaşık yapısı, yüksek maliyeti, hasta uyumunun önemli olması ve iyi eğitilmiş personel gerektirmesinden dolayı son kırk yıl boyunca klinik rutin için kullanımı sınırlı kalmıştır. Bu nedenle İK çoğunlukla metabolik araştırmalar için kullanılmıştır.²⁴ Avrupa ve Amerikan YBÜ beslenme kılavuzları, YBÜ'deki özellikle düşük ve yüksek beden kitle indeksine (BKİ) sahip veya karaciğer hastalığı olan hastalarda olduğu gibi DEH'nin tahmin eşitlikleri tarafından öngörülen değerlerden farklı olabileceği durumlarda İK kullanımını önermektedir.^{12,21} Ancak İK ölçümünde sınırlılıklar vardır: hava kaçıışı olduğunda, oksijen dalgalanmalarında veya yüksek ağrı düzeyinde doğru ölçüm yapılamayabilir. Buna ek olarak, diyaliz, postoperatif anestezi ve uygun olmayan şekilde kalibre edilmiş ekipman gibi gaz alış verişini etkileyen faktörler de hatalı sonuçlara neden olmaktadır.²³ Son 20 yılda İK için en yaygın kullanılan araç, yoğun bakım ortamında onaylanmış olan Deltatrac II Metabolik Monitör'dür (Datex, Helsinki, Finland). Deltatrac II Metabolik Monitör yoğun bakım hastalarında doğrulanmış ilk İK'dir ve yüksek hassasiyet ve doğruluk göstermektedir. Mekanik ventilasyon sırasında gaz alış veriş ölçümleri için altın standart olarak kabul edilmiştir. Ancak, Deltatrac II Metabolik Monitör'ün üretiminin artık yapılmamakta olması ventilatöre bağlı hastalarda İK için yeni araçların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu talebi karşılamak için kısa bir süre önce birkaç cihaz piyasaya sürülmüştür. Bu cihazlar, Deltatrac II Metabolik Monitör tarafından kullanılan "mixing chamber" yönteminden farklı olarak gaz alış verişini ölçmek için "breath-by-breath" teknolojisini kullanmaktadır.^{19,26} Yeni üretilen İK'lerin Deltatrac II Metabolik Monitör ile karşılaştırmak için yapılan çalışmalar Tablo 1'de verilmiştir.

Sundström ve ark. Quark RMR (COSMED) ve CCM Express'in (Medgraphics) Deltatrac Metabolik Monitör (Datex-Ohmeda, Helsinki, Finlandiya) ile karşılaştırdıkları çalışmada; Deltatrac II Metabolik Monitör ve Quark RMR arasında anlamlı fark olmadığı ama CCM Express'in DEH'yi %64 fazla tahmin ettiği bulunmuştur.²⁷ Graf ve ark. yaptıkları çalışmada yine bu 3 İK ölçüm cihazını karşılaştırmıştır. Sonuç olarak Quark RMR, referans yöntem olarak kullanılan Deltatrac Metabolik Mo-

nitör ile CCM Ekspres'e göre daha iyi uyum göstermiştir.²⁸ Rehal ve ark. Deltatrac II Metabolik Monitör'ü referans yöntem olarak kabul ederek EsCOVX ve Quark RMR cihazlarının geçerliliğini araştırdığı çalışmada ise 22 hastanın kırk sekiz ölçümü yapılmıştır. Hem E-sCOVX hem de Quark RMR, Deltatrac II Metabolik Monitör'e kıyasla VO_2 ve VCO_2 'yi fazla tahmin etmiş ve DEH'yi %10 daha yüksek ölçmüştür. Sonuçlar kabul edilebilir sayılmış ve özellikle tahmin eşitliklerinin sonuçlarına göre daha uyumlu olduğu saptanmıştır (Tablo 1).¹⁹ Çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde yoğun bakım ünitelerinde doğru DEH ölçümü için yeni geliştirilen İK'lerin kullanımının geçerli ve doğru ölçüm sonuçları sağladığı söylenebilir.

FİCK YÖNTEMİ (DOLAŞIMA DAYALI İNDİREKT KALORİMETRE)

Dolaşıma dayalı indirekt kalorimetre (DİK) yoğun bakım hastalarının enerji gereksinimlerini değerlendirmek için potansiyel olarak yararlı bir yöntemdir. Arterio-venöz oksijen kullanımının belirlenmesi esasına dayanır. Arterio-venöz fistülü (kateteri takılı) olan yoğun bakım hastalarında kullanımı uygundur. Pulmoner arter kateterleri olan bireylerin, tüm vücut oksijen tüketimleri ve dolayısıyla DEH hesaplanabilir. Kateterden kalp debisi hesaplanır, pulmoner arterdeki kan teorik olarak vücudun tüm bölgelerinden (karışık venöz kan) dolaşan kanı temsil eder. Tüm vücuttaki karışık venöz kanın hacmi ve oksijen konsantrasyonu, arteriyel kan hacmi ve oksijen konsantrasyonundan çıkarılırsa oksijen tüketimi hesaplanabilir.²⁰

$$VO_2 = \text{kardiak output} \times 10 \text{ (CaO}_2 - \text{CvO}_2)$$

(VO_2 , ml/dk'da oksijen tüketimi, kardiak output L/dk, CaO_2 (mL/dL) arteriyel kandaki oksijen konsantrasyonu ve CvO_2 (mL/dL) karışık venöz kandaki oksijen konsantrasyonudur.

Böylece, DEH, Fick eşitliğine dayanılarak tahmin edilebilir. Marson ve ark. yaptığı çalışmada 14 hastanın DEH Fick yöntemi ve İK ile ölçülmüş ve iki yöntem arasında iyi bir korelasyon olduğu görülmüştür.²⁹ Ancak Flancbaum ve ark. 36 hasta üzerinde yaptığı araştırmada veriler, Fick yöntemiyle belirlenen DEH ile İK arasında güçlü bir korelasyon gösteren bulguları desteklememektedir.³⁰ Ayrıca bu yöntem; invaziv olmasından dolayı bazı komplikasyonlara neden olabilir.³¹ Sonuç olarak dolaşıma dayalı indirekt kalorimetrenin kullanımı sadece arterio-venöz fistülü (kateteri takılı) olan yoğun bakım hastaları için uygundur, bu da yöntemin en önemli sınırlılığıdır.

KARBONDİOKSİTE (CO_2) DAYALI İNDİREKT KALORİMETRE

Enerji harcaması hesaplanmasında bir diğer alternatif; " CO_2 dayalı indirekt kalorimetre" kullanılmasıdır. Ventilasyonun izlenmesinde noninvaziv bir yöntem olan kapnometre kullanımı oldukça yaygındır. Dinlenme enerji harcamasının, mekanik olarak ventilatöre bağlı hastalarda ventilasyon devresine bağlı kapnometrelerle ölçülen VCO_2 'den hesaplanması da kolay ve avantajlı bir yöntemdir.³² Dinlenme enerji harcaması hesaplanırken VCO_2 'ye göre adapte edilen Weir eşitliği; $(DEH - VCO_2) = ((5,5 \text{ min/ml RQ} - 1 + 1,76 \text{ min/ml}) \cdot VCO_2 - 26) \text{ kcal/day}$ kullanılmaktadır. Bu yöntemde VO_2 ölçülmediği için VCO_2 'nin VO_2 'ye oranı olan solunum katsayısı (Respiratory Quotient-RQ) ($RQ =$

TABLO 1: İndirekt Kalorimetrelerin karşılaştırılması.

İndirekt Kalorimetre	Katılımcı Sayısı	Sonuç	Kaynak
Detatrac metabolic monitor (Datex-Ohmeda, Helsinki, Finland) Quark RMR (Cosmed, Italy) CCM Express (Medgraphics Corp, St Paul, Minneapolis, USA)	25	Detatrac ve Quark RMR arasında önemli fark yoktur ama CCM Express %64 fazla tahmin etmiştir.	27
Deltatrac II (referans yöntem) Quark RMR E-Scovx	22	Deltatrac II ile E-sCOVX ve Quark RMR %10 uyumludur.	19
Deltatrac II Quark RMR (COSMED) CCM Express	24	Quark RMR, referans yöntem olarak kullanılan Deltatrac ile CCM ekspres'den daha iyi uyum göstermektedir.	28

VCO₂/VO₂) değeri hesaplanamamaktadır. Bu nedenle sabit bir RQ değeri kullanılabilir.³³ Stabil solunum fonksiyonu durumundaki metabolik koşullar altında insan metabolizmasının RQ aralığı yaklaşık olarak 0,7 ila 1' arasındadır. Uzun süreli açlık, aşırı besin tüketimi ve alkol tüketimi solunum RQ'yu etkileyebilmektedir. Genel olarak bireylerin 16 saatlik açlıktan sonra RQ değerleri 0,72 ile 0,80 aralığında değişmekte, ancak bazen 22 saat süren açlık durumunda 0,70'in altına düşebilmektedir. Benzer şekilde, 48-60 saat aç bırakılan travma hastalarında RQ ortalaması 0,70 bulunmuştur. Besin alımı, miktarı ve bileşimine bağlı olarak RQ artabilir. Enerji gereksinimlerinin %25'ini sağlayan karışık bir öğünden 60 dakika sonra ortalama RQ=0.86 bulunmuştur.^{12,34} Bu yöntemle RQ hesaplanamadığı için VCO₂ ye göre adapte edilen Weir eşitliğinde RQ değeri olarak 0,85 sabit değerinin kullanılması önerilmektedir.³² Karbondioksit (CO₂) dayalı indirekt kalorimetre; kapnometrelerin yaygın kullanımı, noninvaziv olması ve nispeten düşük maliyeti sebebiyle İK'ye ulaşamayan yoğun bakım ünitelerinde DEH'nin değerlendirilmesi için yararlı bir alternatif olabilir.

TAHMIN EŞİTLİKLERİ

Tahmin eşitlikleri DEH belirlenmesinde sıfır maliyet ve kolay uygulamadan dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde yıllar boyunca; ağırlık, boy, yaş, cinsiyet ve vücut yüzey alanı gibi değişkenleri kullanan yaklaşık 190 eşitlik yayınlanmıştır. İndirekt kalorimetre ile bu tahmin eşitliklerinin geçerliliği doğrulanmıştır. Ancak yoğun bakım hastalarının DEH'nin günlük olarak, farklı nedenlerle değişkenlik göstermesi, bu eşitliklerin doğruluğunu, özellikle yoğun bakım hastalarında tartışmalı kılmıştır.^{1,35} 1918'de yayınlanan Harris-Benedict tahmin eşitliği en yaygın kullanılan eşitliktir. Dinlenme enerji harcaması tahmininde kullanılan en yaygın eşitlikler Tablo 2'de verilmiştir.

DİNLENME ENERJİ HARCAMASI TAHMİN EŞİTLİKLERİNİN İNDİREKT KALORİMETRE ÖLÇÜMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Metabolik ihtiyaçları karşılamak, aşırı veya yetersiz beslenme komplikasyonlarından kaçınmak için

beslenme desteği alan hastalarda DEH'nin doğru tespiti esastır. Bununla birlikte, yoğun bakımların çoğunda, DEH ölçümü için altın standart yöntem olan İK'ye kolaylıkla ulaşamamaktadır. Bu nedenle DEH'nin ölçülmesi için çeşitli eşitlikler kullanılmaktadır.⁴⁹ Hangi tahmin eşitliğinin kullanılacağına karar vermek de oldukça zordur. Bir eşitliğin referans popülasyonunu anlamak, eşitliğin hangi hastalarda kullanılabileceğini anlamak için hayati önem taşımaktadır.²³ Ventilatore bağlı yoğun bakım hastalarının daha fazla sıvı tutma riski taşımaları, kendiliğinden solunum yapamamaları, daha ağır klinik koşullara sahip olmaları, sedasyona tabi tutulmaları ve az hareket etmeleri gibi etmenler tahmin eşitliklerinin sonuçlarının normal bireylere göre doğruluğunun azalmasının temel nedenidirler.⁴⁹ Tahmin eşitlikleri, çoklu çalışmalarda çeşitli hasta popülasyonlarında İK ile karşılaştırılmıştır. Tahmin eşitliklerinin çoğu normal hasta grupları için makul bir doğruluk sergilese de, yüksek oranda değişebilen DEH'ye sahip yoğun bakım hastalarında hata oranları +/-500 kalori veya± %10 olarak kabul edilebilir sınırın üstünde bulunmuştur.^{24,35} Bununla birlikte bazı çalışmalar Penn State 2010 eşitliğinin tahmin eşitlikleri arasında İK ile en yakın korelasyona sahip eşitlik olduğunu bildirmiştir.^{14,50} Tahmin eşitliklerin karşılaştırılmasını amaçlayan çeşitli araştırmaların sonuçları Tablo 3'de özetlenmiştir.

MacDonald ve Hildebrandt'in tahmin eşitliklerini karşılaştırmak için yaptıkları çalışmada İK ile en uyumlu eşitliklerin Harris-Benedict (1918, 1.6 stress faktörü) ve Swinamer eşitlikleri olduğu saptanmıştır.⁴⁷ Reid'in yaptığı çalışmada İK ile Harris-Benedict, Schofield ve American College of Chest Physicians (ACCP) eşitliklerinin diğer eşitliklere göre daha uyumlu olduğu, ancak ölçümlerin %80'ninin DEH'yi %110'dan daha fazla tahmin ettiği bulunmuştur.⁵¹ Martins ve ark. ve De Waele ve ark.nın Harris-Benedict ile İK ölçümlerini karşılaştırdığı çalışmalarda ise korelasyonun zayıf olduğu görülmüştür.^{52,53} Kros ve ark.nın yaptığı çalışmada 5 tahmin eşitliği karşılaştırılmış ama bütün eşitliklerin İK ölçümleri ile zayıf korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir.⁴⁶ De Waele ve ark.nın yaptığı bir başka çalışmada 12 tahmin eşitliği ile İK

TABLO 2: Yoğun bakım hastalarında dinlenme enerjisi harcamalarının hesaplanması için kullanılan eşitlikler (kcal/gün).

Eşitliğin Adı	Eşitlik	Not
1a- Harris Benedict 1918 ³⁶	Erkek: $66,4730 + (13,7516 \times A) + (5,0033 \times B) - (6,7550 \times Y)$ Kadın: $655,0955 + (9,5634 \times A) + (1,8496 \times B) - (4,6756 \times Y)$	Ağırlık: kg Boy: cm Yaş: yıl
1b- Harris Benedict 1984 ³⁷	Erkek: $88,362 + (13,397 \times A) + (4,799 \times B) - (5,677 \times Y)$ Kadın: $447,593 + (9,247 \times A) + (3,098 \times B) - (4,33 \times Y)$	Ağırlık: kg Boy: cm Yaş: yıl
2- Schofield ³⁸	Yaş Erkek Kadın 18-29 15,1 (A)+692 14,8 (A)+487 30-59 11,5 (A)+873 8,3 (A)+846 60-74 11,9 (A)+700 9,2 (A)+687 75+ 8,4 (A)+820 9,8 (A)+624	Ağırlık: kg
3- Faisy-Fagon ³⁹	$(8 \times A) + (14 \times B) + (32 \times Ve) + (94 \times S) - 4834$	Ağırlık: kg Sıcaklık: C° Boy: cm ve: l/dk
4a- Ireton-Jones 1992 ⁴⁰	$1925 - (10 \times Y) + (5 \times A) + (281 \text{ ♂ ise}) + (292 \text{ travma varsa}) + (851 \text{ yanık varsa})$	Ağırlık: kg Yaş: cm
4b- Ireton-Jones 1997 ⁴¹	$1784 - (11 \times Y) + (5 \times A) + (244 \text{ ♂ ise}) + (239 \text{ travma varsa}) + (840 \text{ yanık varsa})$	Ağırlık: kg Yaş: cm
4c- Ireton-Jones equation for obesity ⁴²	Erkek: $606 + (9 \times \text{Güncel A}) - (12 \times Y + 400 \text{ (ventilasyona bağlıysa)}) + 1400$ Kadın: $\text{Güncel A} - (12 \times Y) + 400 \text{ (ventilasyona bağlıysa)} + 1444$	GüncelA: kg Yaş: yıl
5 Mifflin- St Jeor ⁴³	Erkek: $10 \times A + 6,25 \times B - 5 \times Y + 5$ Kadın: $10 \times A + 6,25 \times B - 5 \times Y - 161$	Ağırlık: kg Boy: cm Yaş: yıl
6a- Penn State 1998 ⁴⁰	$(1,1 \times \text{HBD'nin değeri}) + (140 \times \text{Smax}) + (32 \times \text{Ve}) - 5340$	Smax: C° Ve: l/dk
6b- Penn State 2003 ⁴⁰	$(0,85 \times \text{HBD'nin değeri}) + (175 \times \text{Smax}) + (33 \times \text{Ve}) - 6433$	Smax: C° Ve: l/dk
6c- Penn State 2003b ⁴⁴	$\text{Mifflin} \times (0,96) + \text{Smax} \times 167 + \text{Ve} \times 31 - 6212$	Smax: C° Ve: l/dk
6d- Penn State 2010 ⁴⁴	$\text{Mifflin} \times (0,71) + \text{Ve} (64) + \text{Smax} (85) - 3085$	Smax: C°
7- Swinamer ⁴⁵	$(945 \times \text{VYA}) - (6,4 \times Y) + (108 \times S) + (24,2 \times \text{SH}) + (817 \times \text{VT}) - 4349$	VYA: S: C° Yaş: yıl VT: ml/kg SH: nefes/dk
8- Owen ⁴⁶	Erkek: $879 + (10,2 \times \text{GüncelA})$ Kadın: $7957 + (7,2 \times \text{GüncelA})$	GüncelA: kg
9- Frankenfeld ⁴⁷	$\text{DEH} = 11\,000 - \text{VE} (100) + \text{HBD} (1,5) + \text{DOB doz} (40) + S (250) + \text{sepsis} (300)$	S: C° DOB doz: mcg/kg/dk
10- American College of Chest Physicians (ACCP) Recommendation ⁴⁸	$25 \times A$ - BMI 16-25 kg/m ² ise güncel A kullanılır - BMI > 25 kg/m ² ise ideal A kullanılır - BMI < 16 kg/m ² ise ilk 7- 10 gün için güncel A, sonra ideal A kullanılır	Ağırlık: kg Ağırlık: kg
11- American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.) ²²	Obez yoğun bakım hastalarında; 11-14 kcal/kg güncel A 22-25 kcal/kg ideal A	Ağırlık: kg
12- ESPEN Guidelines on Enteral Nutrition ESPEN Guidelines on Parenteral Nutrition ¹⁷	Akut faz 20-25 kcal/ A /gün iyileşme fazı 25-30 kcal / A /gün Aşırı beslenme yetersizliği 25-30 kcal / A /gün 2-3 gün içinde 25 kcal / A /gün	Ağırlık: kg

A: Ağırlık, **B:** Boy, **Y:** Yaş, **HBD:** Harris Benedict denklemi; **Smax:** 24 saatlik periyotta en yüksek sıcaklık; **VT:** tidal hacim; **Ve:** 24 saatlik periyotta ventilasyon ortalama dakikası; **VYA:** Vücut Yüzey Alanı; **S:** Vücut Sıcaklığı C°; **SH:** Solunum hızı, ♂: erkek; **DOB doz:** dobutamine doz.

ölçümleri karşılaştırılmış, çok yaşlı hastalarda ACCP tavsiyesi kullanımı, obez hastalarda Swinamer ve yaşlı obezlerde Penn State 2010 eşitliklerinin kullanılabileceği vurgulanmıştır.¹⁴ Raurich ve ark. ise çeşitli eşitlikleri İK ile karşılaştırmış ve

kendi geliştirdikleri eşitliğin diğer eşitliklerden daha iyi korele olduğunu belirtmişlerdir.¹³

Stapel ve ark.nın yaptıkları çalışmada çeşitli tahmin eşitlikleri ve CO₂ dayalı indirekt kalori-metre, İK ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta

TABLO 3: İndirekt kalorimetre ve tahmin eşitliklerinin karşılaştırılması çalışmaları.

TABLO 3: İndirekt kalorimetre ve tahmin eşitliklerinin karşılaştırılması çalışmaları.					
DEH ölçüm yöntemi		Katılımcı sayısı	Önerilen yöntem	Doğruluk yüzdesi/ilişki	Kaynak
İndirekt kalorimetre	Puritan Bennett 7250 open circuit metabolic monitor	76 yoğun bakım hastası	Harris-Benedict 1918 (1.6 stress faktörü)	%51* %55*	47
Tahmin eşitlikleri	Harris-Benedict 1918 (1.6 stress faktörü) Frankenfeld Swinamer Penn State 1998 Ireton-Jones1992		Swinamer		
İndirekt kalorimetre	Nellcor Puritan Bennett 7250 open circuit Metabolic Monitor (Nellcor Puritan-Bennett, Pleasanton, CA, USA)	27 yoğun bakım hastası	Harris-Benedict Schofield ACCP denklemleri	%66 ** %66 ** %65**	51
Tahmin eşitlikleri	Harris-Benedict Schofield Ireton-Jones 1992 ACCP (25kcal/kg/gün)				
İndirekt kalorimetre	Deltatrac Monitor (Datex-Ohmeda, Finland)	30 yoğun bakım hastası		r=0.57	52
Tahmin eşitliği	Harris-Benedict1918				
İndirekt kalorimetre	MedGraphics CCM Express (St. Paul, MN, USA).	927 yoğun bakım hastası	Harris-Benedict1918 Owen	r=0.585 r=0.639	46
Tahmin eşitlikleri	Harris-Benedict 1918 Owen Mifflin Ireton-Jones (obezler için) ACCP (25kcal/kg/gün)		Mifflin Ireton-Jones (obezler için) ACCP	r=0.652 r=0.041 r=0.797	
İndirekt kalorimetre	Vmax Encore 29n calorimeter (VIASYS Healthcare, Inc, Yorba Linda, Calif).	46 yoğun bakım hastası		r ² =0.20	53
Tahmin eşitlikleri	Harris-Benedict1918 (stres faktörü 1.1/1.3)				
İndirekt kalorimetre	Vmax Encore Metabolic Cart 29n		Harris-Benedict1918 Harris-Benedict1984	r ² =0.43 r ² =0.43	14
Tahmin eşitlikleri		Harris-Benedict1918 Harris-Benedict1984 Faisy- Fagon Ireton- Jones 1992 Faisy- Fagon Ireton- Jones 1997 Penn State 1998 Penn State 2003 Penn State 1998 Penn State 2003b Penn State 2003 Penn State 2010 Swinamer ACCP (25kcal/kg/gün) ESICM'98 statement	Faisy- Fagon Ireton- Jones 1992 Ireton- Jones 1997 Penn State 1998 Penn State 2003 Penn State 2003b Swinamer ACCP tavsiyesi ESICM'98 ESICM'98 ACCP tavsiyesi Obez hastalarda; Swinamer Yaşlı obezlerde; Penn State 2010	r ² =0.49 r ² =0.30 r ² =0.28 r ² =0.49 r ² =0.47 r ² =0.48 r ² =0.73 r ² =0.51 r ² =0.24 r ² =0.41	
					devamı...→

devamı...→

TABLO 3: devamı.

İndirekt kalorimetre	Douglas bag	Tahmin: 179	TEEPE	%58,2*	13
Tahmin eşitlikleri	Harris-Benedict 1918	Geçerlilik: 91	Harris-Benedict	%56,0*	
	Iretton- Jones 1992		Iretton- Jones 1992	%28,6*	
	Iretton- Jones 1997		Iretton- Jones 1997	%38,5*	
	Yeni tahmini denklem				
	TEEPE				
İndirekt kalorimetre	Vmax Encore Metabolic Cart 29n	Mekanik ventilatöre	Penn State	%40***	50
	(SensorMedics Italia srl, Milano, Italy)	bağlı 72 hasta	Faisy-Fagon	%31***	
Tahmin eşitlikleri	veya Deltatrac II				
	(Datex-Omeda, GE, Helsinki, Finland)				
	Penn State				
	Faisy-Fagon				
İndirekt kalorimetre	Deltatrac II MBM-200 Metabolic Monitor	84 yoğun bakım	VCO ₂ dayalı ölçüm	%61*	52
	(Datex, Helsinki, Finland)	hastası	Harris-Benedict 1984	%31*	
Karbondioksit dayalı			ESPEN	%40*	
indirekt kalorimetre			25kcal/kg/day	%45*	
Tahmin eşitlikleri	Harris-Benedict 1984		Faisy- Fagon	%54*	
	Faisy- Fagon		Penn State 2003b	%55*	
	Penn State 2003b		Harris Benedict 1984 (+%15)		
	ESPEN 25kcal/kg/day				
İndirekt kalorimetre	Compact Airway Module	181 yoğun bakım	VCO ₂ dayalı ölçüm	%89 *	33
Karbondioksit dayalı		hastası	ACCP	%33*	
indirekt kalorimetre			(25kcal/kg/day)	%50*	
Tahmin eşitlikleri	ACCP (25kcal/kg/gün)		Harris-Benedict 1918	%35*	
	Harris-Benedict 1918		Harris-Benedict 1918	%50*	
	Harris-Benedict 1918		(ideal vücut ağırlığı)		
	(ideal vücut ağırlığı)		Mifflin St Jeor	%6*	
	Mifflin St Jeor		Penn State 1998	%6*	
	Penn State 1998		Penn State 2003	%6*	
	Penn State 2003		Penn State 2003b		
	Penn State 2003b				
İndirekt kalorimetre	Deltatrac Metabolic Monitor	278 yoğun bakım	VCO ₂ _0,85	%77,7*	24
	(Datex, Helsinki, Finland)	hastası	VCO ₂ _FQ	%77,3*	
Karbondioksit dayalı	EEVCO ₂ _0,85 (RQ: 0,85)				
indirekt kalorimetre	EEVCO ₂ _FQ (FQ, ölçüm				
	anında verilen enerji kaynaklarının				
	bileşiminden hesaplandı)				

Not: TEEPE(kcal/kg/d)=33-(3xYaş)-(3xBKİ)-(1xcinsiyet) *±%10 doğruluk **%80-110 doğruluk ***%90-110 dpgruluk Not:Bütün araştırmalarda referans yöntem olarak farklı indirekt kalorimetreler kullanılmıştır.

Yaş: ≤ 50=0, >50=1; **cinsiyet:** kadın=1, erkek=0; **ACCP:** American College of Chest Physicians; BKİ: Beden kitle indeksi.

BKİ (kg/m²): 18.5-24.9=0, 25-29.9=1

30-34.9=2, 34-39.9=3

tahmin eşitliklerine göre CO₂ dayalı indirekt kalorimetrenin İK ölçümleri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.² Rousing ve ark.nın yaptığı çalışmada da tahmin eşitliklerine göre CO₂ dayalı indirekt ka-

lorimetre İK ölçümleri ile daha fazla uyum göstermiştir.³³ Oshima ve ark.nın yaptıkları araştırma da İK ile iki farklı RQ (EEVCO₂_RQ=0,85 (sabit değer), EEVCO₂_ FQ (ölçüm anında besinlerden

alınan RQ) kullanılan CO₂ dayalı indirekt kalorimetre karşılaştırılmış ve İK ölçümünün altın standart olarak kalacağı, bununla birlikte CO₂ dayalı indirekt kalorimetrenin her iki hesaplama yönteminde de tahmin eşitliklerine göre daha doğru sonuç verdiği belirtilmiştir.²⁴ Bu sonuçlar CO₂ dayalı indirekt kalorimetrenin tahmin eşitliklerine göre daha doğru sonuçlar verdiğini, bu sebeple tahmin eşitlikleri yerine tercih edilebileceğini göstermektedir.

YOĞUN BAKIM HASTALARINDA TOPLAM ENERJİ HARCAMASINI ETKİLEYEN TEMEL FAKTÖRLER

STRES FAKTÖRLERİ

Yoğun bakım hastalarında bazı metabolik ve cerrahi durumlar DEH’de değişikliğe sebep olabilmektedir. Dinlenme enerji harcaması genellikle cerrahi operasyon sonrasında %5-20, çoklu kırıklar, abdominal yaralanmalar, merkezi sinir sistemi travmalarında ve ciddi enfeksiyonlarda %50-60 artabilmektedir.¹ Faisy ve ark. stres faktörünü 37 °C’nin üstünde 1°C için 1.13, küçük ameliyat için 1.2, büyük travma veya ameliyatlara için 1.35 ve ciddi enfeksiyon için 1.6 olarak belirlemiştir.³⁹ Yoğun bakım hastalarında artan DEH’yi hesaplamak için yaygın olarak kullanılan Harris-Benedikt formülüne de bazı stres faktörleri eklenmiştir. Bu stres faktörleri, klinik koşullara göre 1.2’den 1.6’ya kadar değişmektedir.¹² Kullanılan stres faktörleri klinisyenler tarafından belirlenmekte olup her hastanın durumuna göre değişkendir. Doğru stres faktörünün belirlenmesi klinisyen için kafa karıştırıcı olabilmektedir. Ayrıca, stres faktörleri, tıbbi teknolojik ilerlemeler ve hastalık durumları değişikçe sıklıkla değişmektedir. Bu nedenle DEH tahmin eşitliklerinde stres faktörlerinin kullanılması bu grup hastada hataya neden olabilir.²³

VÜCUT AĞIRLIĞI

Yoğun bakım hastalarında DEH’yi ölçmek için referans metot İK’dır, ancak her sağlık kuruluşunda mevcut olmaması sebebiyle çeşitli tahmin eşitlikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok araş-

tırma tahmin eşitliklerinin gerçek ağırlığa dayalı önerilerinin enerji ihtiyacını doğru tahmin edemediğini ve hiperglisemi, sekonder enfeksiyonlar gibi komplikasyonlara neden olduğunu göstermektedir.^{14-16,54,55} Bu nedenle, enerji hesaplamasında mevcut ağırlığın mı, ideal ağırlığın mı veya düzeltilmiş ağırlığın mı kullanılacağı tartışmalıdır. Bu bağlamda, bazı çalışmalar obez hastalarda ya sabit bir enerji harcamasının %60-70’ini yada mevcut ağırlık üzerinden (11-14 kcal/kg/gün) veya ideal ağırlık üzerinden (22-25 kcal/kg/gün) DEH’nin hesaplanmasını önermektedir.^{22,55} Graf ve arkadaşlarının 85 ventilatöre bağımlı hastada yaptıkları çalışmada farklı vücut ağırlıkları kullanılarak ESPEN eşitliğinin (20-25 kcal/kg akut faz ve 25-30 kcal/kg post-akut faz) doğruluğunu saptamak ve kullanılması uygun vücut ağırlığını belirlemek amaçlanmıştır. Çalışma sonunda İdeal vücut ağırlığının İK ile ölçümle daha iyi eşleştiği sonucuna varılmış, ancak ESPEN eşitliğinin yoğun bakım hastalarında yeterince doğru bulunmadığı da vurgulanmıştır.⁵⁶ Picolo ve ark. 205 hasta üzerinde yaptığı çalışmada ise Harris-Benedict eşitliğinde 3 farklı vücut ağırlığı kullanılmıştır (yatak tartısı ile alınan, ideal ve tahmini vücut ağırlığı). Yatak tartısı ile alınan vücut ağırlığının İK ölçümü ile en uyumlu sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Ancak yine de bu sonuçlar da DEH’nı biraz fazla tahmin etmiştir.⁵⁷

VÜCUT BİLEŞİMİ

Vücut bileşimi, özellikle yağsız vücut kütlesi (YVK) DEH’de önemli rol oynamaktadır.^{24,58} Yağ kütlesi metabolik aktiviteyi azalttığı için düşük YVK’ye sahip bireyler yüksek YVK’ye sahip kişilerden daha az DEH (YVK oranına göre) hızına sahiptirler.^{1,59} Illner ve ark.nın 26 sağlıklı obez olmayan birey üzerinde yaptıkları çalışmada DEH ile YVK arasında yakın bir korelasyon olduğu bulunmuştur.⁵⁸ Heymsfield ve ark.nın 189 birey üzerinde yaptıkları çalışmada da; YVK’nin yaş, cinsiyet ve fiziksel aktiviteye göre değişim göstermekte olduğu ve DEH ile YVK arasında anlamlı bir ilişki olduğu bulunmuştur.⁵⁹ Bu sonuçlara göre DEH’deki bireysel farklılıkların sebeplerinde birinin YVK olabileceği düşünülmektedir.

OBEZİTE

Yoğun bakım hastalarında DEH vücut ağırlığı ile doğru orantılı olarak kabul edilir. Ancak yağ dokusu DEH'ye düşük bir katkıda bulunduğu için, DEH tahmininin tüm hastalara, özellikle obez hastalara uygulanıp uygulanamayacağı tartışmalıdır.⁵⁴ Genel olarak DEH'nin yüksek ağırlık ile pozitif ilişkili olduğu bulunmuştur. Çalışmalar, obez bireyleri beden kitle indeksi (BKİ)'ne göre farklı gruplara ayırdığında, morbid obezlerin normal kilolularla karşılaştırıldığında DEH'lerinde büyük farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmalarda DEH'nin obez bireylerde anlamlı olarak daha yüksek olduğu ve DEH değerlerinde 49 kcal/gün (normal kilolularla hafif kilolular karşılaştırıldığında) -826 kcal/gün (normal kilolularla morbid obezler karşılaştırıldığında) arasında değişen farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir.⁶⁰ Zauener ve ark.nın yoğun bakım hastalarında BKİ'nin artması ile DEH'nin total vücut ağırlığına göre etkisini incelemek için yaptıkları çalışmada hastalar BKİ'lerine göre 4 gruba ayrılmış (normal ağırlık, pre-obez, obez, morbid obez), ölçümler İK ile yapılmıştır. Beden kitle indeksi arttıkça BKİ'ye göre ayarlanmış DEH azalmıştır. Bu nedenle, DEH'nin tahmin edilmesi için vücut ağırlığına göre spesifik adaptasyon uygulanması gerekliliği vurgulanmıştır.⁵⁴ Drolz ve ark.nın yaptığı bir başka çalışmada vücut ağırlığına göre ayarlanmış DEH (DEHaVA), her iki cinsiyette vücut ağırlığı arttıkça azalmaktadır. Bu ilişkinin kadınlar ve erkekler arasında farklılık gösterdiği ve obez yoğun bakım hastaları arasında kadınlarda erkeklere kıyasla DEHaVA ve ideal kiloya göre ayarlanmış DEH'nin (DEHaIVA) anlamlı olarak daha düşük olduğu bildirilmiştir.⁶¹ Bu bulgular, obezitenin yoğun bakım hastalarının DEH'sini belirlemede dikkate alınması gerekliliğini vurgulamaktadır. Obez bireylerde ideal ağırlığın kullanımına dikkat edilmelidir.

SONUÇ

Yoğun bakım hastalarında DEH'nin doğru belirlenmesi, birçok komplikasyonu ve mortaliteyi azaltmak açısından fayda sağlayacaktır. Bu sebeple

DEH'nin doğru tespit edilmesi için en iyi yöntemi bulmak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Birçok çalışmada tahmin eşitliklerinin yoğun bakım hastalarında DEH'sini doğru tahmin edemediği gösterilse de altın standart olarak bilinen İK'nin pahalı olması, eğitilmiş personel gerektirmesi ve İK cihazlarına ulaşım zorluğundan dolayı hala tahmin eşitlikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Tahmin eşitliklerinin doğruluğunu etkileyen en önemli değişkenler stres faktörleri ve obezite varlığıdır. Bu etkilerin göreceli olması tahmin eşitliklerinin doğruluğunu etkilemektedir. Penn State 2010 eşitliği'nin tahmin eşitlikleri arasında İK ile en yakın korelasyona sahip eşitlik olduğu belirtilmektedir. Ayrıca son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar yoğun bakım hastalarında, özellikle CO₂ dayalı indirekt kalorimetre ile hesaplanan DEH'nin tahmin eşitliklerine göre daha doğru sonuç verdiğini göstermektedir. Kapnometrelerin yaygınlığı ve nispeten düşük maliyeti İK'ye ulaşamayan yoğun bakım ünitelerinde DEH hesabı için CO₂ dayalı kalorimetrenin yararlı bir alternatif olabileceğini düşündürmektedir.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Fatmanur Hümeyra Zengin Nilüfer Acar Tek; **Tasarım:** Fatmanur Hümeyra Zengin Nilüfer Acar Tek; **Denetleme/Danışmanlık:** Nilüfer Acar Tek; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Fatmanur Hümeyra Zengin Nilüfer Acar Tek; **Analiz ve/veya Yorum:** Fatmanur Hümeyra Zengin Nilüfer Acar Tek; **Kaynak Taraması:** Fatmanur Hümeyra Zengin; **Makalenin Yazımı:** Fatmanur Hümeyra Zengin Nilüfer Acar Tek; **Eleştirel İnceleme:** Fatmanur Hümeyra Zengin Nilüfer Acar Tek.

KAYNAKLAR

1. Sanches AC, Góes CR, Bufarah MN, Balbi AL, Ponce D. Resting energy expenditure in critically ill patients: evaluation methods and clinical applications. *Rev Assoc Med Bras* (1992) 2016;62(7):672-9.
2. Stapel SN, de Grooth HJ, Alimohamad H, Elbers PW, Girbes AR, Weijs PJ, et al. Ventilator-derived carbon dioxide production to assess energy expenditure in critically ill patients: proof of concept. *Crit Care* 2015;(19):370.
3. Weijs PJ, Wischmeyer PE. Optimizing energy and protein balance in the ICU. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2013;16(2):194-201.
4. Zusman O, Theilla M, Cohen J, Kagan I, Bendavid I, Singer P. Resting energy expenditure, calorie and protein consumption in critically ill patients: a retrospective cohort study. *Crit Care* 2016;20(1):367.
5. de Góes CR, Berbel-Bufarah MN, Sanches AC, Xavier PS, Balbi AL, Ponce D. Poor agreement between predictive equations of energy expenditure and measured energy expenditure in critically ill acute kidney injury patients. *Ann Nutr Metab* 2016;68(4):276-84.
6. Pirat A, Tucker AM, Taylor KA, Jinnah R, Finch CG, Canada TD, et al. Comparison of measured versus predicted energy requirements in critically ill cancer patients. *Respir Care* 2009;54(4):487-94.
7. Wikjord K, Dahl V, Søvik S. Effects on nutritional care practice after implementation of a flow chart-based nutrition support protocol in an intensive care unit. *Nurs Open* 2017;4(4):282-91.
8. Bahar M. [A different approach to the nutritional therapy in intensive care units: nutrition software (ICNUS)]. *Türk J Anaesthesiol Reanim* 2017;45(5):251-9.
9. Moreira E, Burghi G, Manzanara W. Update on metabolism and nutrition therapy in critically ill burn patients. *Med Intensiva* 2018;42(5):306-16.
10. Casaer MP, Reignier J, Doig G. Optimal guidance for early nutrition therapy in critical illness? *Intensive Care Med* 2017;43(11):1720-2.
11. Singer P, Hiesmayr M, Biolo G, Felbinger TW, Berger MM, Goeters C, et al. Pragmatic approach to nutrition in the ICU: expert opinion regarding which calorie protein target. *Clin Nutr* 2014;33(2):246-51.
12. Fraipont V, Preiser JC. Energy estimation and measurement in critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2013;37(6):705-13.
13. Raurich JM, Llopart-Pou JA, Ferreruela M, Riera M, Homar J, Marsé P, et al. A simplified equation for total energy expenditure in mechanically ventilated critically ill patients. *Nutr Hosp* 2015;32(3):1273-80.
14. De Waele E, Opsomer T, Honoré PM, Diltor M, Mattens S, Huyghens L, et al. Measured versus calculated resting energy expenditure in critically ill adult patients. Do mathematics match the gold standard? *Minerva Anestesiol* 2015;81(3):271-82.
15. Rogobete AF, Sandesc D, Papurica M, Stoicescu ER, Popovici SE, Bratu LM, et al. The influence of metabolic imbalances and oxidative stress on the outcome of critically ill polytrauma patients: a review. *Burns Trauma* 2017;(5):8.
16. Taylor SJ. Predicting resting energy expenditure (REE): misapplying equations can lead to clinically significant errors. *E Spen Eur E J Clin Nutr Metab* 2010;(5):e254-e60.
17. Kreymann G, Adolph M, Mueller MJ. Energy expenditure and energy intake-Guidelines on Parenteral Nutrition, Chapter 3. *Ger Med Sci* 2009;(7):Doc25.
18. Petros S, Engelmann L. Enteral nutrition delivery and energy expenditure in medical intensive care patients. *Clin Nutr* 2006;25(1):51-9.
19. Rehal MS, Fiskaare E, Tjäder I, Norberg Å, Rooyackers O, Wernerman J. Measuring energy expenditure in the intensive care unit: a comparison of indirect calorimetry by E-sCOVX and Quark RMR with Deltatrac II in mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care* 2016;(20):54.
20. Frankenfield F, Hise M, Malone A, Russell M, Gradwell E, Compher C; Fada; for the Evidence Analysis Working Group. Prediction of resting metabolic rate in critically ill adult patients: results of a systematic review of the evidence. *J Am Diet Assoc* 2007;107(9):1552-61.
21. McClave SA, Martindale RG, 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 (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (ASPEN). *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2009;33(3):277-316.
22. Mesejo A, Sánchez Álvarez C, Sánchez JAA. Guidelines for specialized nutritional and metabolic support in the critically-ill patient. Update. Consensus SEMICYUC-SENPE: Obese patient. *Nutr Hosp* 2011;26 Suppl 2:54-8.
23. Walker RN, Heuberger RA. Predictive equations for energy needs for the critically ill. *Respir Care* 2009;54(4):509-21.
24. Oshima T, Berger MM, De Waele E, Guttormsen AB, Heidegger CP, Hiesmayr M, et al. Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clin Nutr* 2017;36(3):651-62.
25. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949;109(1-2):1-9.
26. De Waele E, Honoré PM, Spapen HD. New generation indirect calorimeters for measuring energy expenditure in the critically ill: a rampant or reticent revolution? *Crit Care* 2016;(20):138.
27. Sundström M, Tjäder I, Rooyackers O, Wernerman J. Indirect calorimetry in mechanically ventilated patients. A systematic comparison of three instruments. *Clin Nutr* 2013;32(1):118-21.
28. Graf S, Karsegard VL, Viatte V, Maisonneuve N, Pichard C, Genton L. Comparison of three indirect calorimetry devices and three methods of gas collection: a prospective observational study. *Clin Nutr* 2013;32(6):1067-72.
29. Marson F, Auxiliadora Martins M, Coletto FA, Campos AD, Basile-Filho A. Correlation between oxygen consumption calculated using Fick's method and measured with indirect calorimetry in critically ill patients. *Arq Bras Cardiol* 2004;82(1):77-81.
30. Flancbaum L, Choban PS, Sambucco S, Verducci J, Burge JC. Comparison of indirect calorimetry, the Fick method, and prediction equations in estimating the energy requirements of critically ill patients. *Am J Clin Nutr* 1999;69(3):461-6.
31. Pinheiro Volp AC, Esteves de Oliveira FC, Duarte Moreira Alves R, Esteves EA, Bresnan J. Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutr Hosp* 2011;26(3):430-40.
32. Pielmeier U, Andreassen S. VCO₂ calorimetry is a convenient method for improved assessment of energy expenditure in the intensive care unit. *Crit Care* 2016;20(1):224.
33. Rousing ML, Hahn-Pedersen MH, Andreassen S, Pielmeier U, Preiser JC. Energy expenditure in critically ill patients estimated by population-based equations, indirect calorimetry and CO₂-based indirect calorimetry. *Ann Intensive Care* 2016;6(1):16.
34. Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L; for the Evidence Analysis Working Group. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc* 2006;106(6):881-903.
35. Krenitsky J. The Calorie Requirement Conundrum, Nutrition Issues in Gastroenterology, Series 131. In: Parrish CR, ed. Westhampton Beach, NY. Practical Gastroenterology Publishing, Inc; 2014. p.12-25.

36. Harris JA, Benedict FG. A biometric study of human basal metabolism. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1918;4(12):370-3.
37. Roza AM, Shizgal HM. The Harris Benedict equation reevaluated: resting energy requirements and the body cell mass. *Am J Clin Nutr* 1984;40(1):168-82.
38. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr* 1985;39 Suppl 1:5-41.
39. Faisy C, Guerot E, Diehl JL, Labrousse J, Fagon JY. Assessment of resting energy expenditure in mechanically ventilated patients. *Am J Clin Nutr* 2003;78(2):241-9.
40. Ireton-Jones CS, Turner WW Jr, Liepa GU, Baxter CR. Equations for the estimation of energy expenditures in patients with burns with special reference to ventilatory status. *J Burn Care Rehabil* 1992;13(3):330-3.
41. Ireton-Jones C, Jones JD. Why use predictive equations for energy expenditure assessment? *J Am Diet Assoc* 1997;97(9):A44.
42. Glynn CC, Greene GW, Winkler MF, Albina JE. Predictive versus measured energy expenditure using limits-of-agreement analysis in hospitalized, obese patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 1999;23(3):147-54.
43. Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr* 1990;51(2):241-7.
44. Frankenfield DC, Ashcraft CM. Description and prediction of resting metabolic rate after stroke and traumatic brain injury. *Nutrition* 2012;28(9):906-11.
45. Swinamer DL, Grace MG, Hamilton SM, Jones RL, Roberts P, King EG. Predictive equation for assessing energy expenditure in mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care Med* 1990;18(6):657-61.
46. Kross EK, Sena M, Schmidt K, Stapleton RD. A comparison of predictive equations of energy expenditure and measured energy expenditure in critically ill patients. *J Crit Care* 2012;27(3):321.e5-12.
47. MacDonald A, Hildebrandt L. Comparison of formulaic equations to determine energy expenditure in the critically ill patient. *Nutrition* 2003;19(3):233-9.
48. Cerra FB, Benitez MR, Blackburn GL, Irwin RS, Jeejeebhoy K, Katz DP, et al. Applied nutrition in ICU patients. A consensus statement of the American College of Chest Physicians. *Chest* 1997;111(3):769-78.
49. Cheng CH, Chen CH, Wong Y, Lee BJ, Kan MN, Huang YC. Measured versus estimated energy expenditure in mechanically ventilated critically ill patients. *Clin Nutr* 2002;21(2):165-72.
50. Sabatino A, Theilla M, Hellerman M, Singer P, Maggiore U, Barbagallo M, et al. Energy and protein in critically ill patients with AKI: a prospective, multicenter observational study using indirect calorimetry and protein catabolic rate. *Nutrients* 2017;9(8):E802.
51. Reid CL. Poor agreement between continuous measurements of energy expenditure and routinely used prediction equations in intensive care unit patients. *Clin Nutr* 2007;26(5):649-57.
52. Martins MA, Meneguetti MG, Nicolini EA, Picolo MF, Lago AF, Filho OAM, et al. Energy expenditure in critically ill surgical patients. Comparative analysis of predictive equation and indirect calorimetry. *Acta Cirúrgica Brasileira* 2011;26 Suppl 2:51.
53. De Waele E, Spapen H, Honoré PM, Mattens S, Van Gorp V, Dilloer M, et al. Introducing a new generation indirect calorimeter for estimating energy requirements in adult intensive care unit patients: feasibility, practical considerations, and comparison with a mathematical equation. *J Crit Care* 2013;28(5):884.e1-6.
54. Zauner A, Schneeweiss B, Kneidinger N, Lindner G, Zauner C. Weight-adjusted resting energy expenditure is not constant in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2006;32(3):428-34.
55. Mogensen KM, Andrew BY, Corona JC, Robinson MK. Validation of the society of critical care medicine and American society for parenteral and enteral nutrition recommendations for caloric provision to critically ill obese patients: a pilot study. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2016;40(5):713-21.
56. Graf S, Genton L, Oshima T, Pichard C, Hegdeger CP. Energy expenditure (EE) in mechanically ventilated patients: espen equation using different body weights (BW) vs. indirect calorimetry (IC). *Intensive Care Med Exp* 2015;3(Suppl 1):A293.
57. Picolo MF, Lago AF, Meneguetti MG, Nicolini EA, Basile-Filho A, Nunes AA, et al. Harris-Benedict equation and resting energy expenditure estimates in critically ill ventilator patients. *Am J Crit Care* 2016;25(1):e21-9.
58. Illner K, Brinkmann G, Heller M, Bosy-Westphal A, Müller MJ. Metabolically active components of fat free mass and resting energy expenditure in nonobese adults. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000;278(2):E308-15.
59. Heymsfield SB, Gallagher D, Kotler DP, Wang Z, Allison DB, Heshka S. Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2002;282(1):E132-8.
60. Carneiro IP, Elliott SA, Siervo M, Padwal R, Bertoli S, Battezzati A, et al. Is obesity associated with altered energy expenditure? *Adv Nutr* 2016;7(3):476-87.
61. Drolz A, Wewalka M, Horvatits T, Fuhrmann V, Schneeweiss B, Trauner M, et al. Gender-specific differences in energy metabolism during the initial phase of critical illness. *Eur J Clin Nutr* 2014;68(6):707-11.