

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ**

**MEKANİK VENTİLASYON UYGULANAN YOĞUN BAKIM
ÜNİTESİ HASTALARINDA ENERJİ GEREKSİNİMİNİN
BELİRLENMESİNDE İNDİREKT KALORİMETRİ VE HARRİS-
BENEDİCT FORMÜLÜNÜN KARŞILAŞTIRILMASI**

Dr. İlahe İMANLI

**ANESTEZİYOLOJİ VE REANİMASYON ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

ANKARA – 2020

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ**

**MEKANİK VENTİLASYON UYGULANAN YOĞUN BAKIM
ÜNİTESİ HASTALARINDA ENERJİ GEREKSİNİMİNİN
BELİRLENMESİNDE İNDİREKT KALORİMETRİ VE HARRİS-
BENEDİCT FORMÜLÜNÜN KARŞILAŞTIRILMASI**

Dr. İlahe İMANLI

**ANESTEZİYOLOJİ VE REANİMASYON ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa Kemal BAYAR**

ANKARA – 2020

KABUL VE ONAY

ANKARA ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ TEZ SINAVI TUTANAĞI

I. UZMANLIK ÖĞRENCİSİNİN		
Adı, Soyadı	: DR.İLAHE İMANLI	Sınav tarihi: 17. / 06 / 2020
Anabilim/Bilim Dalı	: ANESTEZİYOLOJİ VE REANİMASYON A.D.	
Tez Danışmanı	: PROF.DR.MUSTAFA KEMAL BAYAR	

II. TEZ İLE İLGİLİ BİLGİLER	
Tezin Başlığı: "Yoğun Bakım Hastalarında İndirekt Kalorimetrisinin Önemi"	
Tezin Niteliği:	☒ Ana Dal Uzmanlık Tezi ☐ Yan Dal Uzmanlık Tezi
Kaçıncı tez sınavı olduğu:	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3

III. KARAR	
Yapılan tez sınavı sonucunda yukarıda belirtilen tezin "Tıpta Uzmanlık Tezi" olarak	
☒ Kabulüne	
☐ Reddine	
☐ Düzeltmeler yapıldıktan sonra tekrar değerlendirilmesine	
☒ Oy birliği ☐ Oy çokluğu ile karar verilmiştir.	

IV. AÇIKLAMALAR	
Lütfen, tezin reddi veya düzeltme istenmesi durumunda gerekçeli açıklamalarınızı buraya yazınız	

Jüri Başkanı
PROF.DR.NESLİHAN ALKİŞ
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Anesteziyoloji ve Reanimasyon A.D.

Jüri Üyesi
PROF.DR.MUSTAFA KEMAL BAYAR
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Anesteziyoloji ve Reanimasyon A.D.

Jüri Üyesi
PROF.DR.BERRİN IŞIK
Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi
Anesteziyoloji ve Reanimasyon A.D.

ÖNSÖZ

Uzmanlık eğitimim süresince kıymetli bilgi ve deneyimlerini ile eğitimde büyük katkısı olan ve tezimi başından sonuna kadar destekleyerek her aşamasında yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa Kemal BAYAR ve diğer hocalarıma, birlikte çalışmakta olduğum değerli asistan arkadaşlarıma, çalışma süresince verilerin toplanması konusunda yardımlarını esirgemeyen kliniğimizin Yoğun Bakım Ünitesinin değerli hemşirelerine ve tüm klinik personeline, bugünlere gelmemde büyük katkısı olan, zorlu dönemimde desteğini ve sevgisini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli aileme, hayatımızın neşe kaynağı biricik oğlum Atilla'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
KABUL VE ONAY	i
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLOLAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. YOĞUN BAKIM ÜNİTESİ HASTALARINDA BESLENME.....	3
2.2. ENERJİ TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	8
2.2.1. İndirekt Kalorimetri.....	9
2.2.2. İndirekt Kalorimetri Ölçüm Teknikleri	11
2.2.3. Solunum Katsayısı (RQ)	12
2.2.4. Formüller	13
2.3. YOĞUN BAKIMDA SKORLAMA SİSTEMLERİ	14
2.3.1. APACHE II (Akut Fizyolojik ve Kronik Sağlık Değerlendirme Skoru II)	14
2.3.2. SOFA (Sepsis ilişkili Organ Yetmezlik Değerlendirilmesi).....	15
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	17
3.1. İNDİREKT KALORİMETRİ ÖLÇÜMÜ	18
3.2. İSTATİSTİKSEL ANALİZ	21
4. BULGULAR.....	22
5. TARTIŞMA	29
6. SONUÇLAR.....	35
ÖZET.....	36
SUMMARY	37
KAYNAKLAR	38

KISALTMALAR

ESPEN	: European Society of Parenteral Enteral Nutrition
ATP	: Adenozin trifosfat
VO₂	: Oksijen tüketimi
VCO₂	: Karbondioksit üretimi
ET	: Enerji tüketimi
İC	: İndirekt kalorimetri
BMH	: Bazal metabolizma hızı
TET	: Toplam enerji tüketimi
İO₂	: İnspire edilen oksijen
FEO₂	: Ekshale edilen oksijen fraksiyonu
İCO₂	: İnspire edilen karbondioksit fraksiyonu
FECO₂	: Ekshale edilen karbondioksit fraksiyonu
HB	: Harris- Benedict eşitliği
VKİ	: Vücut kitle indeksi
İVA	: İdeal vücut ağırlığı
ÖET	: Ölçülen enerji tüketimi
HET	: Hesaplanan enerji tüketimi
L	: Long faktörleri
SKK	: Sınıf içi korelasyon katsayısı
APACHE II	: Akut fizyolojik ve kronik sağlık değerlendirilme skoru II
SOFA	: Ardışık organ yetmezliği değerlendirme skoru

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. Travmaya stres yanıtın fazları.	4
Şekil 2. Oksidatif fosforilasyon şeması	9
Şekil 3. E- sCOVX modülü entegre edilmiş GE Carescape R860 ventilatörünün monitör görüntüsü.	18
Şekil 4. A. E- sCOVX modülü. B. D-parçası, akış sensor ve gaz örnekleme hatları	19
Şekil 5. Akış sensörünün solunum devresine bağlanması	19
Şekil 6. D- parçası ve flow sensörün örnekleme hatları ile gaz analizi	20
Şekil 7. 1. saat sonunda ölçülen enerji tüketimi ile 6 saatlik ortalama enerji tüketiminin Bland-Altman analizi	24
Şekil 8. HB eşitliği ile 1.saatte indirekt kalorimetri ile ÖET arasındaki uyumun Bland Altman analizi ile değerlendirilmesi.	25
Şekil 9. HB eşitliği ile 6.saatte indirekt kalorimetri ile ÖET arasındaki uyumunBland Altman analizi ile değerlendirilmesi.	26

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1. Harris Benedict formülü.....	13
Tablo 2. TET hesaplanmasında kullanılan ‘Long’ faktörleri.	14
Tablo 3. APACHE II skOrlama sistemi.	15
Tablo 4. Sofa SkOrlama Sistemi	16
Tablo 5. Hastaların demografik özellikleri ve klinik değişkenleri.	22
Tablo 6. Hastaların primer tanıları	23
Tablo 7. İndirekt ve HB ile ölçülen enerji tüketiminin ortalama değerleri	23
Tablo 8. Harris Benedict ve indirekt kalorimetri arasında 1 ve 6 saat değerlerinin karşılaştırılması.	24
Tablo 9. VKİ'ne göre Harris Benedict ve indirekt kalorimetri arasında grup içi karşılaştırma.	26
Tablo 10. HB ve indirekt kalorimetri arasındaki uyumun cinsiyete göre analizi.	27
Tablo 11. Yatış tanısına göre İC ile HB yöntemlerinin karşılaştırılması	27
Tablo 12. Yatış tanısına göre Bland Altman analizi.	27
Tablo 13. İndirekt kalorimetri ile hastalık ciddiyet skorları arasındaki ilişkinin karşılaştırılması	28

1. GİRİŞ

Yoğun bakım ünitelerinde (YBÜ), ileri düzey monitörizasyon tekniklerinin ve organ sistemlerin fonksiyonlarının desteklenmesindeki gelişmeler, kritik hastaların iyileşmesine katkıda bulunmuştur. YBÜ’de beslenme gereksiniminin hastaların mortalite ve morbiditesine etkili olduğu bilinmektedir ve özellikle bu duruma dikkat edilmesi gerekmektedir. Mekanik ventilasyon (MV) uygulanan YBÜ hastalarında beslenme yetersizliği sıklıkla karşılaşılan bir sorundur ve organ yetmezliğinin primer nedenleri arasında yer almaktadır (1). Hipermetabolik ve hiperkatabolik durumlarda yeterli beslenme desteği sağlanamazsa bu hastalarda hayati organlarda geri dönüşümsüz değişikliğe yol açabilmektedir (2). Bununla birlikte, beslenme desteğinin istenmeyen etkileri de bulunmaktadır. Özellikle karbonhidrat ve yağlarla gereksiniminden fazla beslenmeye sekonder karbondioksit (CO_2) üretimindeki artış yeterince giderilemeyen hastalarda solunumsal asidozun belirginleşmesine ve mekanik ventilasyon süresinin uzamasına (3,4), hiperglisemi ve karaciğer fonksiyon bozukluğuna neden olabilir (5). Kritik hastalarda akut hiperglisemi, oksidatif hasar ile ilişkili organ komplikasyonlarında artışa neden olan önemli bir risk faktörüdür. Hipergliseminin kontrolü ile oksidatif stresin azaltılabildiğine ait güçlü kanıtlar bulunmaktadır (6). Yetersiz beslenme ise malnütrisyonu neden olarak hastalarda, immün yanıtta bozulmasına ve buna bağlı olarak enfeksiyon riskinin artmasına (7), gecikmiş yara iyileşmesine, cerrahi komplikasyonlara, weaning güçlüğüne, hipoalbuminemi, ödem, gastrointestinal sistem bozukluklarına, miyokardial kontraktilite ve kardiyak debi azalmasına, iyileşme ve hastanede kalış süresinin uzamasına neden olmaktadır (8). Yetersiz ve aşırı beslenme ile ilişkili morbidite ve mortalite nedeniyle, hastalar için yeterli enerjinin sağlanmasında gereksinimler gerçeğe en uygun şekilde belirlenmelidir.

Enerji tüketiminin belirlenmesinde direkt ve indirekt kalorimetre yöntemlerinin uygulanması yanı sıra çeşitli formüllerle de hesaplanması olasıdır. İndirekt kalorimetre yöntemi ile enerji gereksiniminin belirlenmesi günümüzde altın standart olarak kabul edilmektedir. Ancak, indirekt kalorimetre cihazlarının klinik pratikte kullanımı, maliyet gerektirmesi, ölçümlerin standardize edilebilmesi için deneyimli personele ve zamana gereksinim duyulması gibi nedenlerle uygulanmasını

güçleştirmektedir (9). Bu gibi nedenlerden ötürü, kliniklerde enerji tüketiminin belirlenmesi için genellikle standart öngörü formülleri kullanılmaktadır.

Çalışmamızda, YBÜ’de mekanik ventilatör gereksinimi olan hastalarda enerji tüketiminin belirlenmesinde indirekt kalorimetri (metabolik monitör) yöntemi ile standart Harris-Benedict denklemi ile elde edilen verilerin karşılaştırılması amaçlanmıştır.



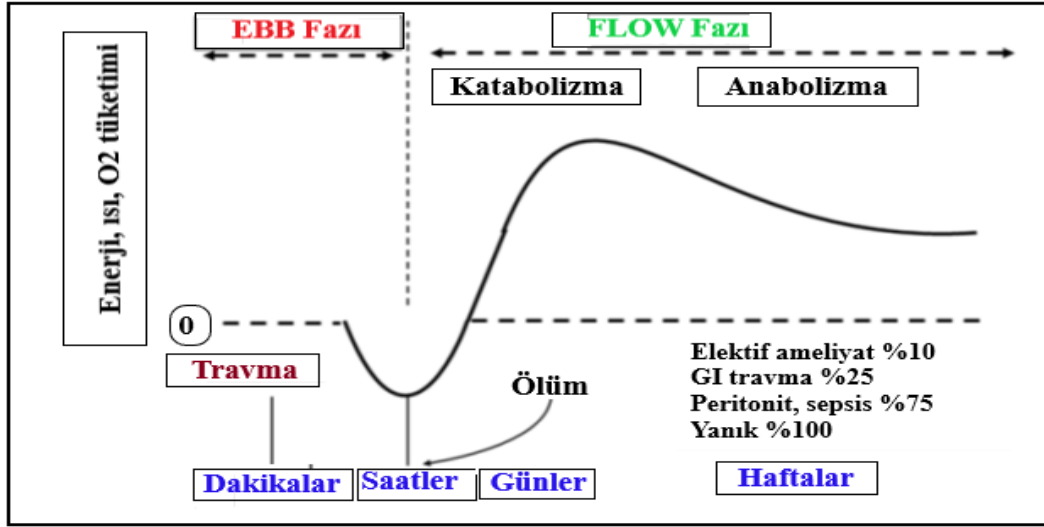
2. GENEL BİLGİLER

2.1. YOĞUN BAKIM ÜNİTESİ HASTALARINDA BESLENME

Günümüzde YBÜ yönetiminin bileşeni olan beslenme, tedavinin desteklenmesinin yanı sıra önemli bir bölümü olarak kabul edilmektedir. Beslenme tedavisinin ana hedefleri arasında, yaşam için gerekli olan enerji gereksinimi karşılamak, mevcut olan dengeyi korumak, yaşam ve sağlık için gerekli bileşenleri sağlamak yer alır. Bu hedefler enerji gereksinimini ancak doğru belirlemekle sağlanır.

Metabolik stres, majör travmalar (kafa travması, uzun kemik kırığı), cerrahi girişimler (toraks, abdominal), yanıklar (vücudun %25'inden fazlasında üçüncü derecede yanık) ve enfeksiyonlar (pulmoner, sepsis veya herhangi bir aktif sistemik enflamasyonu) gibi birçok nedene bağlı olarak ortaya çıkabilir. Metabolik stres altındaki hastalarda, akut veya kronik organ fonksiyon bozukluğu ortaya çıkabilir. Hastalarda, genellikle kardiyopulmoner, renal veya hepatik sistemlerin hastalıkları klinik durumun kötüleşmesine neden olabilir ve beslenme desteğinin organ fonksiyon bozukluklarına göre düzenlenmesi önemli rol oynar (10).

Travma, enfeksiyon veya cerrahi girişimlerin oluşturduğu metabolik değişiklikler Cuthbertson tarafından tanımlanmıştır (11). Metabolik değişiklikler “Ebb” ve “Flow” fazından oluşmaktadır. “Ebb” fazı, ilk 24-48 saat içerisinde gözlenir ve hemodinamik dengesizliğin hiperakut erken fazını içerir. Kardiyak debi, kan basıncı, doku perfüzyonu, oksijen tüketimi ve metabolik hızın azalması özelliğindedir. Organizmanın bu strese verdiği yanıt sonrasında metabolik hızın artması ve katabolizma özellikli “Flow” fazı gözlenir. Bu fazın sonlarına doğru anabolizma etkin hale gelir (Şekil 1) (12).



Şekil 1. Travmaya stres yanıtının fazları.

Yoğun bakım ünitesi hastalarında, metabolik gereksinimlerine göre enerji tüketiminin doğru olarak belirlenmesi, fazla veya az beslenme nedeniyle gözlenebilecek komplikasyonların önlenmesi için önemlidir.

Yetersiz beslenme, belirlenen hedef enerjinin %70'den az sağlanması anlamına gelir (12). Hastalarda yetersiz beslenmeye bağlı olarak istenmeyen etkiler (immün sisteme negatif etki ederek enfeksiyon ve sepsis riskinin artması, yara yeri iyileşme süresinin uzaması, anastomozlarda komplikasyonlar, kaslarda oluşan atrofi nedeniyle kas güçsüzlüğü, solunum yollarında hücre rejenerasyonunda azalma, solunum fonksiyon bozukluğu, mekanik ventilatörden ayrılma süresinin uzaması, hipoalbuminemiye bağlı olarak plazma onkotik basıncında azalmaya sekonder ödem gelişmesi, gastrointestinal sistem bozukluğu, miyokard kontraktilitesi ve kardiyak debinin azalması, renal hasara bağlı metabolik asidoz, yağ ve kas kütle kaybı, iyileşme ve hastanede yatış süresinin uzaması) ve mortalite oranlarında artış gözlenir (13). Bu istenmeyen sonuçları azaltmak için YBÜ hastalarında beslenme desteğine en kısa sürede başlanmalıdır.

Yetersiz beslenmede olduğu gibi fazla beslenme de kritik hastalarda olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Aşırı beslenme hedef enerjinin %110 üzerinde enerji sağlanması anlamına gelir (12). Hiperглиsemi, hiperlipidemi ve hepatik fonksiyon bozukluğu ve elektrolit dengesizliğine neden olabilir (14). Günümüzde, beslenme

denge­siz­li­ğinin oto­faji üze­rine olan et­ki­le­ri­ni ara­ştı­ran çalı­şma­lar da bulun­mak­ta­dır (15,16).

Yağ­lar veya kar­bon­hidrat­lar­dan zen­gin bes­len­me­ye ba­ğlı ola­rak olu­şan kar­bon­diok­sit üze­ri­minin art­ma­sı­nı den­ge­le­mek için dak­ika ven­ti­la­yonu­nun art­tırıl­ma­sına gere­kinim olur. Bu dur­um solunum sıkın­tısı ya­şayan has­ta­lar­da klinik ta­blonun kö­tü­leş­me­si­ne ne­den ola­rak has­ta­ların ven­ti­la­töre ve yo­ğun ba­kım­da kal­ma sü­re­si­ni uzata­bilir (17, 18).

VKİ yük­sek ve düş­ük olan has­ta­lar veya çok ya­şlı has­ta­lar aşırı bes­len­me­ye kar­şı öze­lik­le risk altın­da­dırlar. Aşırı bes­len­me­nin me­ta­bolik kom­plikasyon­ları ara­sında bir­çok faktör (aşırı yağ yük­len­me­si sendromu, azotemi, hiper­kapni, hiper­glisemi, hiper­trig­li­serite­mi, hiper­tonik de­hidratasyon, hiper­glisemik-hiper­osmolar nonketotik sendrom, hep­atik steatoz, me­ta­bolik asidoz, ye­ni­den bes­len­me-re­feed­ing-sen­dromu) yer almaktadır (19).

Bes­len­me­nin temel ama­cı, enerji ve besin gere­kinim­le­ri­nin (kar­bohidrat, protein, yağ­lar, elektrolitler, mikro­besinler,su) sağ­lan­ma­sıdır.

İnsan vü­cu­du­nda kar­bon­hidrat­lar temel enerji kay­na­ğıdır ve enerji üze­ri­mi, enerji de­polama, makromoleküller olu­şturma, protein­le­rin korun­ma­sı ve lipit me­ta­bolizma­sına yar­dımcı olun­ma­sı gibi fonksiyon­ları bulun­mak­ta­dır. Günlük enerji gere­kinim­i­nin %40 ile %70’ni sağ­lar­lar. Glüköz, santral ve pe­ri­ferik sinir sistemi, kan hücre­le­ri, iyileş­mek­te olan dokular ve di­ğer bir­çok hücre­ler ta­rafından temel besin maddesi ola­rak kullanılabi­li­ler. Öze­lik­le din­lenim duru­mun­daki has­ta­lar­da beyin glüköz tüketimi enerji tüketiminin büyük bir bölü­mü­nü olu­şturur. Erişkin beyninin enerji gere­kinim­i­ni kar­şı­lamak için günde yaklaşık 130 g glüköz (yaklaşık 2-5 g/kg glüköz) gere­k­mek­te­dir. Kar­bon­hidrat­ların uygulanması sırasında kan şekeri kontrolüne (225 mg/dL’nin altında) di­k­kat edil­me­si gereklidir. Aşırı glüköz alımı hipertermi, CO₂ üze­ri­mi artışı ve hep­atik steatoza yol açabilir (20). Aşırı glüköz karaciğer ve iskelet kasında gli­kojen ola­rak de­polanır. Yetersiz bes­len­me duru­mun­da gli­kojenin hep­atik rezervi azaldığında glükoneogenez yolu ile amino asitler (çoğunlukla alanin), gliserol ve laktattan glüköz üze­rilir. Kanda yeterli glüköz düzeyinin sağ­lan­ma­sı, ke­ton­ların yapımını azaltır, yağ dokusuna trig­li­serit­le­rin de­polanmasını kolaylaştırır ve aminoasit­le­rden kay­nak­lanan glükoneogenezis

gereksinimini azaltarak vücut proteinlerinin korunmasına yardımcı olur (21). Stres altında glüköz döngüsünün 2-3 kat yükselmesi sonucunda gözlenen hiperglisemi, hastalarda en sık gözlenen bulgular arasında yer alır.

Yağlar, enerji gereksiniminin karşılanmasında önemli bileşikler olması ve vücut için gerekli olan fakat üretilmeyen esansiyel yağ asitlerinin hazır alınmasının yanı sıra yağda çözünen vitamin kaynakları için de gerekli olan besinlerdir. Bununla birlikte, hormonlar gibi önemli bileşenlerin sentezinde ve hücre zarı içeriğinde de önemli rol oynar. Hastaya verilecek enerjinin %20-40'ı yağlardan karşılanmalıdır, ancak yağlar günde 2 g/kg'dan daha yüksek oranda kullanılmamalıdır. Parenteral yağ emülsiyonlarda bulunan soya yağı çok miktarda esansiyel yağ asidi içermektedir. Bu ürünler immün yanıtın baskılanması ve oksidatif stresin artması gibi sorunlar oluşturabilir. Bu nedenle, zeytinyağı veya balık yağı içeren yağ emülsiyonlarının kullanılması veya birlikte kullanımının oksidatif strese karşı korunmada etkili olabileceği, immün sistem fonksiyonunun ve inflamatuvar yanıtın düzenlenebileceği ileri sürülmektedir (22,23,24). Kritik hastalarda lipit intoleransı olabileceği göz önüne alınmalı ve lipit profili izlenmelidir. Diğer yan etkileri arasında yağ embolisi, trombositopeni ve lökosit fonksiyonlarında azalma yer alır. Günümüzde uzun zincirli trigliseritlerin potansiyel olarak immünoşüpresif olması nedeniyle, orta zincirli trigliseritler giderek daha fazla kullanılmaktadır.(20)

Proteinler hücrelerin temel yapı taşlarını oluşturdukları için vücutta hayati öneme sahiptirler. Esansiyel aminoasitler (histidin, lözin, lizin, metiyonin, fenilalanin, tironin, tirozin, valin, triptofan) organizmada bulunmadıkları için dışarıdan alınmaları gerekmektedir. Proteinler %16 oranında azot içerirler. Protein metabolizmasından söz edildiğinde azot (N) dengesi termini kullanılır. Azot dengesi kavramı, azot alımı ve kaybı arasındaki farkın toplam vücut proteininin kazancını veya kaybını yansıtır. Sağlıklı bireylerde günlük sentez edilen ve yıkılan protein düzeyleri birbirine eşittir ve gereksinimi 0,8 g/kg/gün'dür. Travma, yanık ve sepsis gibi katabolik durumlarda gereksinim 1,5-2 g/kg/gün'e kadar çıkabilmektedir (25).

Kritik hastalık hipermetabolizması, protein katabolizması ile ilişkilidir. Protein katabolizmasının artması sonucunda hastalarda bağışıklığın azalması, enfeksiyonlarda artış ve sağkalım üzerine olumsuz etkiler görülebilir. Sepsis, çoklu travma, yaşlılarda

cerrahi ve majör yanıklar gibi ciddi katabolizmaya neden olan stress durumlarında protein katabolizması artar ve negatif azot dengesi gözlenir. Bu hastalarda, beslenme desteğinin yeterli enerji sağlanmasına göre negatif azot dengesini ortadan kaldırılması için arttırılması, organ hasarlarının önlenmesini sağlar (26).

Yoğun bakım ünitesinde, genellikle enteral ve parenteral yol ile beslenme uygulanmaktadır. Yapılan birçok çalışmada, enteral beslenmenin parenteral beslenmeye üstünlüğü gözlemlenmiştir. Enteral yol ile beslenen hastalarda, enfeksiyöz komplikasyonlarda azalma olduğu, daha az gastrik fonksiyon bozukluğu yaşandığı, kolestatik ve kolestatik sarılık insidansını azalttığı, stres ülser benzeri komplikasyonlar ile mukozal atrofinin önlenmesi, bağırsak florası, lenfoid doku ve enterohepatik enzim sisteminin korunduğu gözlenmiştir (27, 28). Bununla birlikte, maliyetinin düşük olması ve komplikasyonların daha az gözlenmesi de enteral beslenmeyi avantajlı hale getirmektedir. Ancak, bu konu ile ilgili tartışmalar devam etmektedir. Parenteral yol ile beslenen hastalarda, hiperalimantasyon, hiperglisemi ve enfeksiyöz komplikasyonların gözlenmesi daha fazla olabilmektedir.

Uzun süreli total parenteral beslenme (TPN) uygulanan hastalarda, mikro besinlerin eksikliği olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle antioksidan sistem için gerekli eser elementlerin (bakır, manganez, çinko, demir, selenyum) yetersizliği, hastalık şiddetinin artmasına neden olabilir. Mikro besinleri içermeyen TPN uygulamalarında, eksikliklerinin giderilmesi için ek olarak uygulanmaları dikkate alınmalıdır. Enteral beslenme solüsyonları ise içeriğine göre daha dengeli mikro besin içeren solüsyonlardır ve ek bir uygulama gerektirmezler.

Özel durumlarda beslenme:

Yanık hastalarında, protein katabolizması artması nedeniyle günlük protein gereksinimi 1.5-2 g/ kg'a kadar artabilir ve özellikle glutamin bu hastalar için önemlidir. Karbohidrat gereksinimi için yapılan çalışmalarda hem yetişkinlerde hem de çocuklarda günlük enerjinin % 55-60'ı şeklinde verilmesi (7 g/kg/ gün) ve özellikle çinko, bakır ve selenyumun erken olarak beslenmeye eklenmesi önerilmektedir (29).

Karaciğer yetersizliğinde, hipermetabolizma ile birlikte dallı zincirli amino asitlerde azalma, triptofan, ve kükürt içeren amino asitlerde artış gözlenir. Ensefalopati ve fulminan karaciğer yetersizliğinde protein sınırlı olarak uygulanmalıdır. Serbest

yağ asitlerinin artması, ketogenez azalması, potasyum, magnezyum, fosfat ve diğer hücre içi minerallerin tükenmesi sıklıkla gözlenir. Hepatik glükojendeki azalma, hepatosit kaybına bağlı glukoneogenez bozulması sonucunda hipoglisemi gelişir (30).

Akut böbrek hasarı (ABH), YBÜ’de hastaların %15-20’de gözlenmektedir ve bunların %4-5’de diyaliz gereksinimi olmaktadır. Kronik böbrek yetersizliği (KBY)’nin aksine ABH’de protein miktarında sınırlama veya bileşiğinde değişiklik yapılması gerekmemektedir. KBY’de 0.5-0.8 mg/kg/gün protein sınırlaması böbrek fonksiyonlarının korunmasında, kan pH’sının ise 7.35’in üzerinde tutulması katabolizmanın önlenmesinde gereklidir. Hemodiyaliz veya hemofiltrasyon sırasında %10 oranında aminoasit kaybı olabilmektedir. Bu nedenle, beslenme desteği düzenlenirken kayıplar göz önünde bulundurulmalı ve protein sınırlaması yapılmamalıdır. Günümüzde YBÜ’de sürekli renal replasman tedavisi (SRRT) sıklıkla uygulanmaktadır. SRRT sırasında diyalizat ve filtreler göz önüne alınarak kalori ve mikro besin (vitamin C, B₆, folik asit, Zn, Se) gereksinimi düzenlenmelidir (31).

2.2. ENERJİ TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Yoğun bakım hastalarında günlük kalori gereksinimi birkaç yöntemle belirlenebilir. İndirekt kalorimetri yöntemi (İC) maliyet, personel ve zaman gerektirmesine rağmen altın standart olarak kabul edilir (32). Fick denklemi Swan-Ganz kateteri kullanılan hastalarda enerji tüketimini belirlemek için bir alternatiftir. Pulmoner arter kateterinden VO₂ değeri belirlenerek hesaplanır, ancak oldukça invaziv bir işlemdir. (33, 34). Son olarak, enerji gereksinimi çeşitli denklemler kullanılarak öngörülebilir. Bu denklemlerin çoğu sağlıklı insanlar için geliştirilmiş ve YBÜ’i hastaları için bir takım düzeltme faktörleri önerilmiştir.

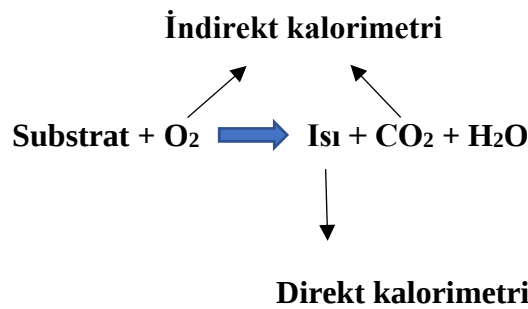
Total enerji tüketimi (TET) 3 ana bileşenin; bazal metabolizma hızı (BMH), fiziksel aktivite (FA) ve besinlerin termik etkisinin (TEF) toplamıdır. Günlük harcanan enerjinin büyük bölümünü BMH oluşturur, fiziksel aktivite ise bireysel olarak değişiklik gösterir (35). Bazal metabolizma hızı, yakın zamanda gıda alımı, fiziksel aktivite ve psikolojik stres olmadan organizmanın hayati fonksiyonlarını (hücrel metabolik aktivitesi, normal vücut ısısı) sürdürebilmesi için harcadığı enerji miktarıdır. BMR

%60-70 oranında beyin, böbrek, karaciğer ve kalp gibi esas organlar tarafından tüketilmektedir (36). Fiziksel aktivite iskelet kasları tarafından üretilir ve enerji tüketimini artırır. TEF besinlerin oksidasyonu ile oluşan ısı üretimidir (37). Total enerji tüketiminin yaklaşık %10'unu oluşturur. Besin tüketiminin zamanlaması, yüksek protein içeren beslenme ve yemek sonrasında egzersiz TEF'yi artırabilir (38). Enerji gereksinimini etkileyen birçok faktör (vücut yüzeyi, cinsiyet, yaş, gebelik, büyüme, endokrin hormonlar, uyku, ateş, çevre ısı, hastalık durumu, katekolaminler, bazı ilaçlar, tedavi girişimleri) bulunmaktadır (35,37).

2.2.1. İndirekt Kalorimetri

Tüm canlılar, hayatlarını sürdürebilmeleri için sürekli olarak enerji bakımından zengin adenosin tri-fosfat (ATP) kullanımına bağımlıdır. Enerji üretimi hücresel homeostazi, organ fonksiyonunu ve büyümeyi sürdürmek için gereklidir ve organizma tarafından daima kontrol altındadır (39-41).

Vücudun sürekli enerji oluşturması için substrata gereksinimi bulunmaktadır: öncelikle glukoz, yağ asitleri ve oksijen (O_2). Bu maddelerin etkileşiminden oksidatif fosforilasyon yolu ile ATP üretilir ve yan ürünler olan karbon dioksit (CO_2), su (H_2O) ve ısı ayrılması ile sonuçlanır (Şekil 2) (39, 41).



Şekil 2. Oksidatif fosforilasyon şeması

18. yüzyılda Lavoisier ve Laplace'ın termodinamiyi tanımlamasının ardından hücre metabolizması hakkındaki gelişmeler başlamıştır (42). Ondokuzuncu yüzyılın sonlarında, ilk direkt kalorimetre olan Atwater-Rosa kalorimetresi bulunmuştur. Kalorimetre kullanarak bilim adamları enerjinin korunumu yasasını geliştirdiler.

İndirekt kalorimetri yöntemindeki büyük gelişme, taşınabilir sistemlerin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Tissot spirometresi (1904) ve Douglas torbası (1911) expiryum gazını analiz için toplanmasında kullanılmıştır. Müller ve Franz 1952'de taşınabilir bir açık devre maske sistemi geliştirdiler (43).

İndirekt kalorimetre, bireyin enerji gereksinimlerini belirlemek için 'altın standarttır'. Klinik uygulamada IC yapmanın en büyük yararı, enerji gereksinimlerinin kesin değerlendirmesi ve kontrolü sayesinde hem yetersiz hem de aşırı beslenmenin önlenmesidir, ancak ekipman, personel gereksinimi, ölçümlerin zaman gerektirmesi ve maliyeti yaygın kullanılmasını engellemektedir (44).

İndirekt kalorimetri, harcanan oksijen ve üretilen karbondioksiti, ekspire edilen ve inspire edilen gaz akımları, volümleri ve konsantrasyonlarının belirlenmesiyle hesaplanır.

İndirekt kalorimetri enerji tüketimini hesaplarırken Weir eşitliğini kullanılır.

Weir eşitliği:

$$ET \text{ (kcal/gün)} = [3,941 \times VO_2 \text{ (L/gün)} + 1,106 \times VCO_2 \text{ (L/gün)}] - 2,17 \times \text{İdrar N (g/gün)}$$

İdrar azot miktarının hesaplanmasının sonucu çok değişmediği gözlemlenince modifiye eşitlik geliştirilmiştir (45).

Modifiye Weir denklemi:

$$ET = [(3,941 \times VO_2) + (1.11 \times VCO_2)] \times 1,44$$

İndirekt kalorimetrenin temel ölçümleri dakika ventilasyonunda inspire edilen O₂ fraksiyonu (FiO₂), ekshale edilen O₂ fraksiyonu (FeO₂), ekshale edilen CO₂ fraksiyonu (FeCO₂) ve inspire edilen CO₂ fraksiyonu (FiCO₂) farkından belirlenir. O₂ tüketimi ve CO₂ üretimi inspire (i) ve ekshale (e) edilen gazlar arasındaki fark ile hesaplanır:

$$VO_2 = V_i (FiO_2) - V_e (FeO_2)$$

$$VCO_2 = V_e (FeCO_2) - V_i (FiCO_2)$$

Ölçümleri daha da kolaylaştırmak için yalnızca ekshale edilen gaz volümlerini değerlendiren formül geliştirilmiştir. Bu teknikle çalışan sistemler sadece ekshale

edilen volümleri (V_e) ölçer, inhale volümleri (V_i) ise matematiksel olarak hesaplarlar. V_e ve V_i arasındaki matematiksel ilişki Haldane dönüşümü ile ifade edilir. Nitrojen (N) inert gaz olarak kabul edilir.

$$V_i \times FiN_2 = V_e \times FeN_2$$

$$V_i = V_e \times FeN_2 / FiN_2$$

$$FiO_2 + FiN_2 = 1 \text{ ve } FeO_2 + FeCO_2 + FeN_2 = 1 \text{ olduğundan}$$

$$FiN_2 = 1 - FiO_2$$

$$FeN_2 = 1 - FeCO_2 - FeO_2$$

İlk eşitliğe baktığımızda

$$V_i = V_e \times \frac{(1 - FeCO_2 - FeO_2)}{1 - FiO_2}$$

2.2.2. İndirekt Kalorimetri Ölçüm Teknikleri

İndirekt kalorimetri cihazları VO_2 'yi ölçme yöntemlerine göre 2 sınıfa ayrılırlar. Kapalı-devre kalorimetrliler, VO_2 'yi bir oksijen rezervuarı içerisindeki oksijenin, zaman içerisindeki hacimsel değişimini ölçerek hesaplarlar. Açık-devre indirekt kalorimetrliler ise VO_2 'yi inspire ve ekspire edilen gaz konsantrasyonları arasındaki farkı ve dakika ventilasyonunu ölçerek belirlerler (34). Açık-devre indirekt kalorimetre sistemlerinin temel komponentleri O_2 analizörü, CO_2 analizörü ve flowmetredir. Bu sistemlerde üç yöntemle gaz konsantrasyonu ölçülebilir (46).

Karıştırıcı Bölme Metodu:

Bu metod en iyisidir ve altın standart olarak kabul edilir. Karıştırıcı, otomatik bir Douglas kutusudur ve ekspire edilen gazları belirli aralıklarla karıştırıp örnekler alır. Ekspire edilen gaz bir ağız parçasından veya ventilatörün ekspiryum portundan bu kutuya gelir. Burada flow, gazların karışımına izin vermek için durur. Karışımdan alınan örnekten gaz konsantrasyonu belirlenir ve örnek kutuya döner. İmpire edilen gaz konsantrasyonları ağız parçası veya ventilatörün inspiyum kısmından alınır. İmpire edilen volümler matematiksel olarak hesaplanır. Bilgisayar ile ekspiryum ve

inspiryum konsantrasyonu karşılaştırılır ve volümle çarpılarak üretim veya tüketim hesaplanır. Sonuçlar belli bir zaman içinde karışmış gazların değerlerini yansıtır (47).

Soluktan–Soluğa Metodu:

Bu metod karıştırıcı bölme metoduna benziyor fakat her soluk analiz edilir. Her inspiyum ve ekspiyum ile elde edilen gaz örnekleri her soluğun flow'u ile eşlenerek VO_2 , VCO_2 ve ET ölçümü yapılır. Belirli aralıklarla yapılan bu ölçümlerin ortalamaları alınır. Bunların ölçüm değerleri VO_2 , VCO_2 için ml/dk, ET için kcal/gün'dür (47).

Dilüsyon Metodu:

Hem entübe hem de spontan soluyan hastalarda kullanılabilen tek tekniktir. Belli bir O_2 ve CO_2 konsantrasyonu için belli bir akım bir yüz maskesinden geçer. Ekshale edilen gaz konsantrasyonu bilinen flow içinde seyreltilir; buradan alınan dilüe gaz örnekleri analiz edilir ve ölçülen volümün akım hızı ile çarpılır. O_2 tüketimi ve CO_2 üretimi sistemin giriş ve çıkışındaki gaz konsantrasyonlarının kıyaslanması ile hesaplanır (47).

2.2.3. Solunum Katsayısı (RQ)

Solunum Katsayısı (Respiratory Quotient, RQ) üretilen CO_2 'in, tüketilen O_2 'e oranını ifade eder. Bireyin enerji tüketimi öngörmede kullanılır. Karbonhidrat, protein ve yağ metabolizması her bir substrata spesifik bir RQ değeri bulunmaktadır. Karbonhidratlar, eşit miktarda CO_2 salınımı ve oksijen tüketimi ile sonuçlanan aerobik solunum yoluyla oksitlenir. Karbonhidratlar için RQ değeri en yüksektir (1.0), bunu proteinler (0.8) ve yağlar (0.7) izler. Karışık beslenmede RQ yaklaşık 0.8 olarak kabul edilir. Anaerob metabolizmada RQ sıfırdır. RQ değerinin yüksek olması karbonhidrat oksidasyonunun, düşük olması ise yağ oksidasyonunun daha baskın olduğu anlamına gelir (48).

2.2.4. Formüller

İndirekt kalorimetre cihazlarının klinik pratikte kullanımındaki birtakım güçlükler ve cihazının her hastanede bulunmaması nedeniyle TET belirlemek için genellikle standart (prediktif) denklemler kullanılmaktadır.

Günümüze kadar 200'den fazla prediktif denklem ve formül hazırlanmış ve yayınlanmıştır. Bunlardan günümüzde en yaygın kullanılanlardan birisi Harris-Benedict formülüdür. Bu formül J. Arthur Harris ve Francis G. Benedict tarafından 1919'da 333 sağlıklı hasta grubundan (103 kadın, 136 erkek ve 94 yeni doğanlar), uykudan uyandıktan hemen sonra, zihinsel ve fiziksel olarak dengeli, yemekten 12-14 saat sonra sabit ortam sıcaklığı ve normal vücut sıcaklığında elde edilen sonuçlara dayanarak geliştirilmiştir (49,50). Elde ettikleri verilerini regresyon analizi ile değerlendirmiş, vücut ağırlığı, yaş ve boy bağımlı formülleri cinsiyetlere göre belirtmişlerdir (Tablo 1). Harris-Benedict formülü sağlıklı kişiler için belirlendiğinden, YBÜ hastaları için hesaplandığı zaman stress ve travmaya sekonder artmış enerji tüketimini karşılamak için düzeltme faktörleri eklenmektedir.

Tablo 1. Harris Benedict formülü.

Harris –Benedict Eşitliği:
Erkek ET = 66.4730 + 13.7516x(VA, kg) + 5.0033x(Boy, cm) – 6.7550x(Yaş, yıl)
Kadın ET = 655.0955 + 9.5634x(VA, kg) + 1. 8496x(Boy, cm) – 4.67561x(Yaş, yıl)

Bu hesaplamaların yapılmasında karşılaşılan sorun hangi oranda düzeltme yapılacağıdır. Bu konuyla ilgili fikir birliği bulunmamaktadır, çünkü enerji harcaması birçok faktörden etkilenir (51). Sağlıklı bireyden farklı olarak hastalık sırasında enerji tüketiminde %20-50 oranında artış gözlenmektedir. Kritik hastalar için Harris-Benedict formülüne düzeltme çarpanları (“Long” faktörleri) arasında aktivite, hastalık stresi ve termal faktörler yer almaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. TET hesaplanmasında kullanılan ‘Long’ faktörleri.

AF (Aktivite Faktörü)		TF (Termal Faktör)		SF (Stres Faktörü)	
Yatakta	1.1	38°C	1.1	Komplikasyonsuz hasta	1.0
Yatakta hareketli	1.2	39°C	1.2	Minor cerrahi	1.2
Hareketli	1.3	40°C	1.3	Major cerrahi	1.5
		41°C	1.4	SVO	1.2
				ARDS	1.4
				Pnömoni	1.3
				Çoklu travma	1.5

2.3. YOĞUN BAKIMDA SKORLAMA SİSTEMLERİ

Yoğun bakım ünitelerinde hastalığın seyrini gözlemlemek, mortaliteyi tahmin edebilmek ve yoğun bakım başarısını değerlendirmek için skorlama sistemleri kullanılmaktadır. Skorlama sistemleri mortaliteyi öngören "prognostik skorlama sistemleri" ve morbiditeyi değerlendiren "organ yetmezliği skorlama sistemleri" olmak üzere iki ana gruptan oluşur.

2.3.1. APACHE II (Akut Fizyolojik ve Kronik Sağlık Değerlendirme Skoru II)

Akut Fizyoloji ve Kronik Sağlık Değerlendirme sistemi 1985’ten bu günümüze kadar gelen ve sıklıkla kullanılan skorlama sistemidir (Tablo 3). Orijinal APACHE sistemi tedavi olanakları için kullanılırken, APACHE II ise her hastanın kliniğinin kritikliğinin belirlenmesi ve bunun klinik seyir üzerine etkisini değerlendirmeyi olanak sağlar. BU skorlama 13 hastaneden 5815 YBÜ hastasından alınan sonuçlara göre oluşturulmuştur (52). APACHE II skoru üç bileşen içerir: yaş, akut fizyolojik skor (APS) ve kronik sağlık. Hastanın hastaneye kabulünden sonraki ilk 24 saat içindeki en kötü değerlerinin puanlanması ile elde edilir. Toplam APACHE II skoru 0 ile 71 arasında değişmektedir. Hesaplamalar sonucu elde edilen skorun mortalite ile paralellik gösterir. Daha yüksek bir skor daha az prognoz anlamına gelir (53). Geniş

kullanılmasına rağmen yaşlı hastalarda yanlış sonuç vermesi ve düzenlenmiş ölçümlerinin olmaması gibi bazı yetersizlikleri bulunmaktadır (54).

Tablo 3. APACHE II skortlama sistemi.

Fizyolojik değişken	Yüksek değerler					Düşük değerler			
	+4	+3	+2	+1	0	+1	+2	+3	+4
Isı (rektal °C)	>41	39-40.9		38.5-38.9	36-38.4	34-35.9	32-33.9	30-31.9	≤29.9
OAB (mmHg)	≥160	130-159	110-129		70-109		50-69		≤49
KH (atım/dk)	≥180	140-179	110-139		70-109		50-69	40-54	≤39
SS (/dk)									
Spontan/mekanik	≥50	35-49		25-34	12-24	10-11	6-9		≤5
Oksijenasyon mmHg	≥500	350-499	200-349		<200				
FiO ₂ >0.5 ise A-aDO ₂					>70	61-70		55-60	<55
FiO ₂ <0.5 ise PaO ₂									
Arteriyel pH	≥7.7	7.6-7.69		7.5-7.59	7.33-7.49		7.25-7.32	7.15-7.24	<7.15
Sodyum (mmol/L)	≥180	160-179	155-159	150-154	130-149		120-129	111-119	<110
Potasyum (mmol/L)	≥7	6-6.9		5.5-5.9	3.5-5.4	3-3.4	2.5-2.9		<2.5
Kreatinin (mg/dL)	≥3.5	2-3.4	1.5-1.9		0.6-1.4		<0.6		
Hematokrit (%)	≥60		50-59.9	46-49.9	30-45.9		20-29.9		<20
Lökosit (1000/mm ³)	≥60		20-39.9	15-19.9	3-14.9		1-2.9		<1
GCS	Skor = 15 – aktüel GCS								
Ven HCO ₃ (mmol/L)	≥52	41-51.9		32-40.9	22-31.9		18-21.9	15-17.9	<15
A-Toplan akut fizyolojik skor	Yukarıdaki 12 puanlama toplamı								
B- Yaş puanı (yıl):	C- Kronik sağlık puanı:								
≤44 0 puan	Hasta ciddi organ yetersizliği veya immünsüpresyonu varsa;								
45-54 2 puan	a. Opere edilmemiş veya acil postoperatif hasta, 5 puan								
55-64 3 puan	b. Elektif postoperatif hasta, 2 puan								
65-74 5 puan									
≥75 6 puan									
APACHE II Skor = A + B + C									

OAB; ortalama arter basıncı, KH; kalp hızı, SS; solunum sayısı, GCS; Glasgow koma skalası.

2.3.2. SOFA (Sepsis İlişkili Organ Yetmezlik Değerlendirilmesi)

Avrupa Yoğun Bakım Derneği tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir. SOFA (sequential organ failure assesment score), yoğun bakım hastalarının klinik durumunu değerlendirmek ve klinik takip için geliştirilmiş bir organ yetmezliği değerlendirme skoru sistemidir (Tablo 4). Bu skortlama sistemi ile hastanın organ fonksiyon

bozukluğu belirlenir. Solunum, karaciğer, kardiyovasküler, koagülasyon, böbrek ve santral sinir sistemi olmak üzere 6 farklı sistem değerlendirilir ve 1 ile 4 puan arasında puanlama yapılır. Toplam skor 6-24 arasında değişir. SOFA skoru ≥ 3 olması o sistem için organ yetersizliği olarak değerlendirilir (55). APACHE sisteminden farklı olarak mortalite değil klinik izlem için kullanılır.

Tablo 4. Sofa Skorlama Sistemi

Değişken -Puan	0	1	2	3	4
Solunum PaO ₂ /FiO ₂ mmHg	>400	≤ 400 MV var/yok	≤ 300 MV var/yok	≤ 200 MV var	≤ 100 MV var
Kardiyovasküler OAB-mmHg	≥ 70	<70	Dopamin ≤ 5 veya Dobutamine*	Dopamin >5 veya Adrenalin ≤ 0.1 veya Noradrenalin ≤ 0.1 *	Dopamin ≥ 15 veya Adrenalin ≤ 0.1 veya Noradrenalin ≤ 0.1 *
Karaciğer Bilirubin-mg/dL	<1.2	1.2-1.9	2.0-5.9	6.0-11.9	> 12
Koagülasyon Trombosit 10 ³ /mm ³	≥ 150	101-150	51-100	21-50	≤ 20
Böbrek Kreatinin mg/dL veya idrar çıktısı	<1.2	1.2-1.9	2.0-3.4	3.5-4.9 < 500 ml/gün	>5 <200 ml/gün
Nörolojik GCS	15	13-14	10-12	6-9	<6

*En az bir saat $\mu\text{g/kg/dk}$ dozunda verilmiş olmalı. OAB; ortalama arter basıncı, MV; mekanik ventilasyon, GCS; Glasgow koma skalası

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamız, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı, Yoğun Bakım Bilim Dalı'nda Temmuz 2019-Mart 2020 tarihleri arasında prospektif olarak gerçekleştirildi. Etik Kurul izni (Karar no: İİ-14-19 tarih: 25 Haziran 2019) alındıktan sonra çalışmaya 18 yaş üzeri, 24 saat ve daha fazla entübe veya trakeostomili olarak mekanik ventilasyonda izlenen 86 erişkin hasta alındı. Hasta yakınlarına çalışma hakkında bilgi verildi ve gönüllü onam formu doldurularak onaylatıldı. Gönüllü onam formu olmayan, hipertermik ($>38^{\circ}\text{C}$), hipotermik ($<35^{\circ}\text{C}$), $\text{FiO}_2 > 0.6$ ve $\text{PEEP} \geq 20 \text{ cmH}_2\text{O}$ gereksinimi olan, toraks tüpü ve ampute ekstremitesi bulunan, solunum devresinin herhangi bir yerinde hava kaçağı olan ve RQ oranı fizyolojik sınırlar (0,7- 1,2) dışında belirlenen, mekanik ventilatörle uyumlu olmayan, renal replasman tedavisi uygulanan, karaciğer yetersizliği olan, $\text{GKS} < 8$, hemodinamik olarak dengesiz ve çalışması tamamlanamayan hastalar çalışma dışı bırakıldı.

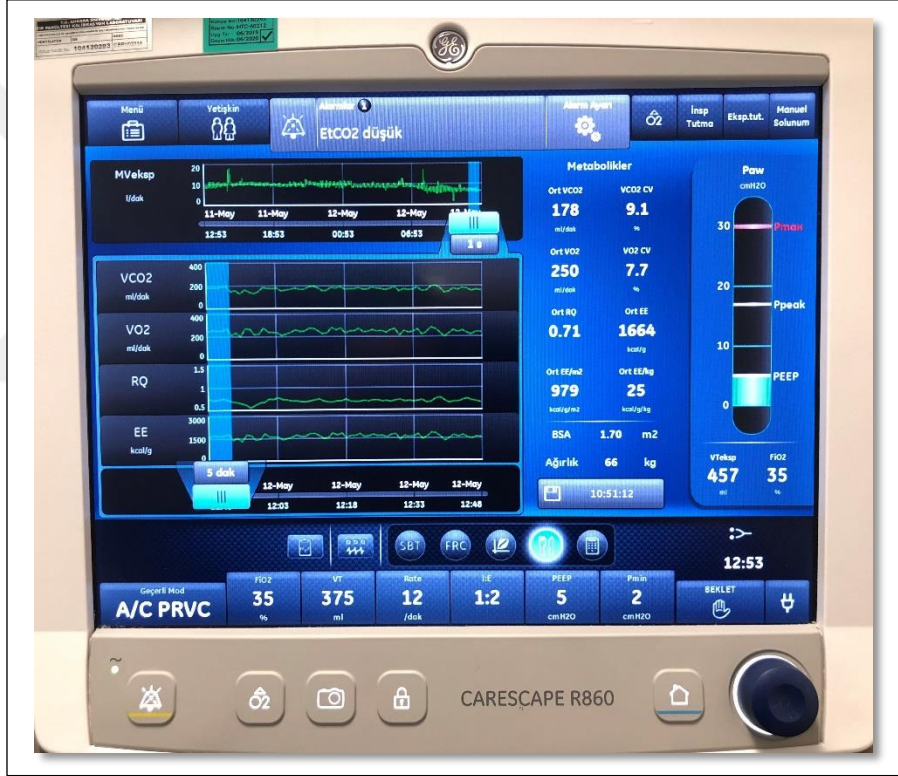
İlk önce, hastanın yaşı, cinsiyeti, boyu, aktüel ve ideal kilosu, vücut kitle indeksi (VKİ), yatış nedeni ve yatış tarihi, yandaş hastalığı, MV mode ve değerleri kaydedildi. Genel durum değerlendirmek için APACHE II ve SOFA skorları belirlendi. Çalışma sırasında hastaların hemodinamik olarak dengeli olmasına dikkat edildi, günlük tedavi ve bakımlarında herhangi bir değişiklik yapılmadı. Değerlendirmeler sabah saatlerinde gerçekleştirildi. Çalışmaya enteral yolla beslenen hastalar dahil edildi. Beslenme için nazogastrik veya gastrostomi tüpleri ile verilen hazır standart ürünler kullanıldı. Hastanın kalori gereksinimini ölçmek için İC ve eşzamanlı Harris-Benedict formülü ile hesaplamalar yapıldı ve kaydedildi.

Vital bulgularında ve mekanik ventilasyon parametrelerinde (FiO_2 , SS, basınç desteği-PS, ekspiryum sonu pozitif basınç-PEEP), büyük değişiklik öngörülmeyen hastalar dengeli olarak kabul edildi ve çalışmaya başlandı. Bakımı yapılmış hastalarda 30 dk dengeli duruma gelmesi beklendikten sonra çalışma başlatıldı. Çalışma sırasında tüm elde edilen veriler takip formuna kaydedildi.

3.1. İNDİREKT KALORİMETRİ ÖLÇÜMÜ

Yoğun bakım ünitemize kabul edilen, çalışma kriterlerine uygun olan hastalar basınç ayarlı volüm kontrollü modda ventilasyonları sağlandı. Ölçümlerin sabah saatlerinde yapılmasına, ölçümden önce ve ölçüm boyunca hastanın hareketsiz ve hemodinamik olarak dengeli olmasına özen gösterildi. İlave ilaç kullanımı (inhale steroid, bronkodilatör) çalışma sırasında uygulanmamasına dikkat edildi.

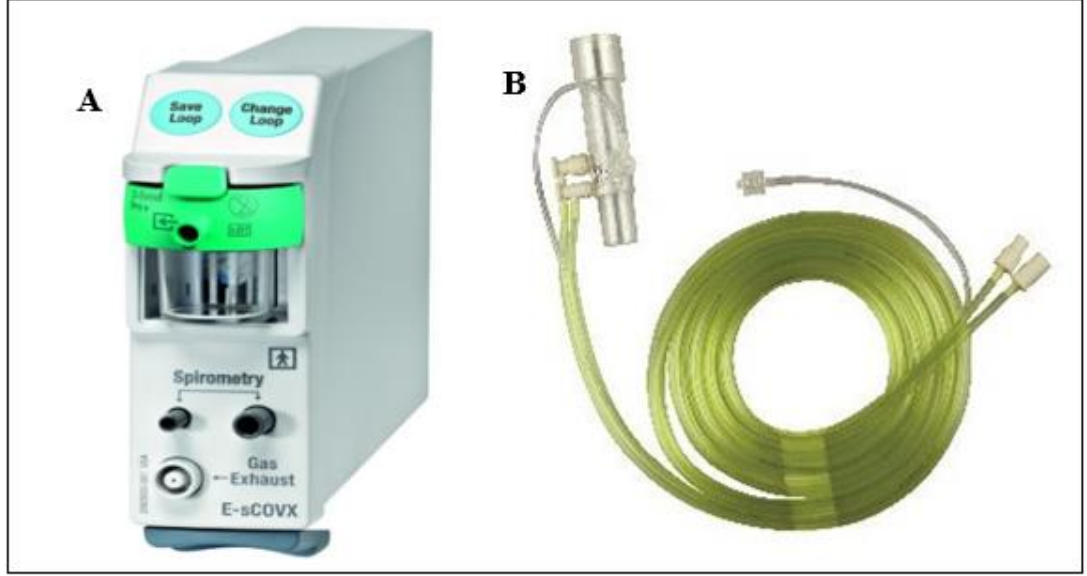
Hastaların indirekt kalorimetri değerlendirmeleri GE Carescape R860 ventilatörüne takılan E- sCOVX modülü ile gerçekleştirildi (Şekil 3, 4).



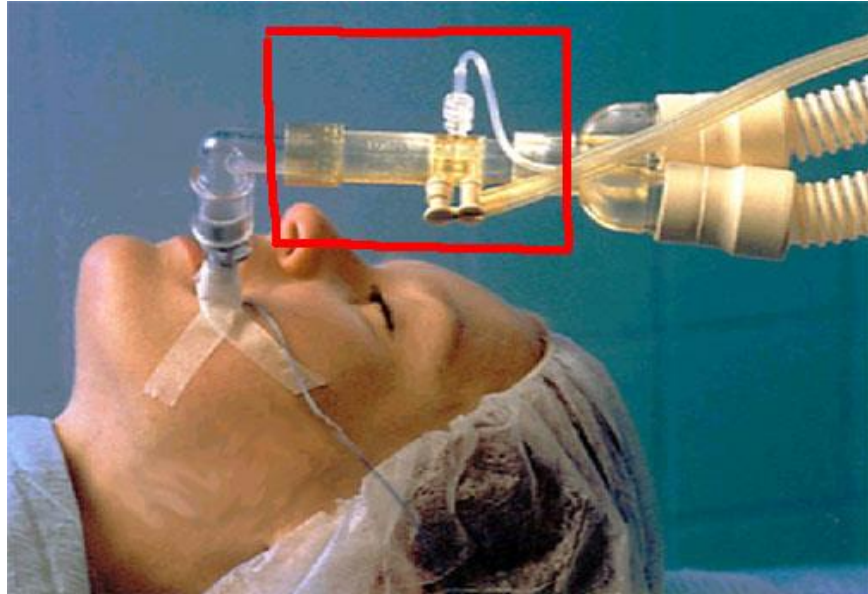
Şekil 3. E- sCOVX modülü entegre edilmiş GE Carescape R860 ventilatörünün monitör görüntüsü.

Çalışmaya başlanırken modülün örnekleme ve ölçüm aparatı D-lite (+) akış sensörü ve örnekleme hattı (Şekil 4), üretici firma önerileri doğrultusunda ölçümlerin doğru olması ve artefaktların önlenmesi için solunum devresine hastaya en yakın

pozisyonda sağlandı (Şekil 5). Akış sensörünü modüle bağlayan gaz örnekleme hattının uzunluğu 2 metre ile sınırlıdır.



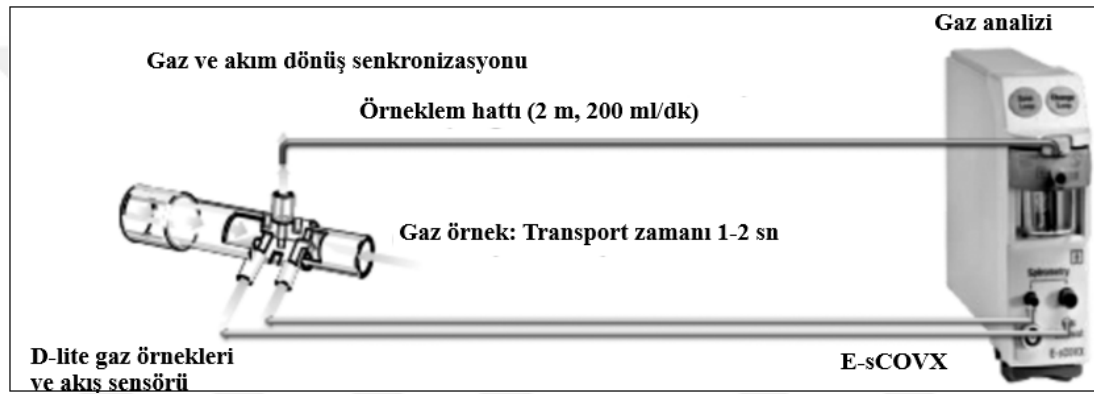
Şekil 4. A. E- sCOVX modülü. B. D-parçası, akış sensor ve gaz örnekleme hatları



Şekil 5. Akış sensörünün solunum devresine bağlanması

Monitöre gerekli olan parametreler girildikten sonra ölçümlere başlandı. 1. ve 6. saat ölçüm değerleri kaydedildi. Ölçümler aynı araştırmacı tarafından yapıldı. Çalışma sırasında solunum devrelerinden hava kaçağı olmamasına özen gösterildi.

E-sCOVX modülü daha iyi ölçüm sağlanması için her soluk almada gerçekleşen akım ve volümler kadar yan akış gaz konsantrasyonlarını da algoritmik olarak bütünleştirerek değerlendirir. Akım ve volümler D-parçası ve akım sensörleri tarafından ölçülürken, paramanyetik sensör üzerinden O₂ konsantrasyonu ve kızılötesi sensör aracılığıyla CO₂ konsantrasyonu belirlenir (Şekil 6).



Şekil 6. D- parçası ve flow sensörün örnekleme hatları ile gaz analizi

Hastaların yaş, boy, vücut ağırlığı, ideal kiloları, 1. ve 6. saat enerji tüketimi (kcal), RQ, VCO₂, VO₂, PS ve PEEP değerleri, solunum frekansı kaydedildi. Hastalık şiddeti ile enerji tüketimi arasında ilişkinin saptanması için APACHE II ve SOFA skorları hesaplandı.

Tüm parametreler elde edildikten sonra Harris-Benedict eşitliği ile enerji tüketimi belirlendi. Hesaplanmış enerji tüketim (HET) değerlerine her hasta için kliniğine uygun olan düzeltme faktörleri eklendi. Hastaların boyları yatak boyuyla karşılaştırılıp belirlendi. Hesaplamalarda her hasta için ideal vücut ağırlıkları kullanıldı. İdeal vücut ağırlığı (İVK); erkekler için $22.5 \times \text{cm}^2$ kadınlar için $21.5 \times \text{cm}^2$ formülü ile hesaplandı (54).

3.2. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için SPSS 11.5 (Statistical Package for Social Sciences) for Windows ve MedCalc18.11 programları kullanıldı. Tanımlayıcı olarak nicel değişkenler için ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum), nitel değişkenler için yüzde (%) değerleri alındı. Yöntemler arası ilişkinin yönü ve gücü sınıf içi korelasyon katsayısı ile incelendi. Yöntemler arası uyum Bland-Altman yaklaşımı ile değerlendirildi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak kabul edildi. Yöntemler arası farkın ortalamasının 500 kcal, standart sapmasının 700 kcal ve yöntemler arasında farkın en fazla 2250 kcal olacağı varsayımı altında %5 önemlilik düzeyi ve %80 güç ile Bland Altman yaklaşımı kullanılarak 86 olgu ile araştırmanın yapılabileceği belirlenmiştir.

4. BULGULAR

Çalışmaya alınan 86 hastanın %48,8'ün kadın (n=42) ve %51,2'nin erkek (n=44) olduğu saptandı. Olguların yaş (62.72 ± 18.36 yıl); boy (167.85 ± 9.16 cm); aktüel kilo (71.7 ± 13.6 kg); ideal kilo (61.26 ± 9.5 kg), VKİ (25.6 ± 4.5 kg/m²); APACHE II (20.95 ± 9.2) ve SOFA skor (5.9 ± 3) değerleri belirlendi (Tablo 5).

Tablo 5. Hastaların demografik özellikleri ve klinik değişkenleri.

Özellikler	Ortalama±Standart Sapma	Minimum-Maksimum
Yaş (yıl)	62.72 ± 18.36	20 – 94
Boy (cm)	167.85 ± 9.16	150 – 192
Aktüel kilo (kg)	71.7 ± 13.6	40 – 100
İdeal kilo (kg)	61.26 ± 9.5	43 – 81
VKİ (kg/m ²)	25.6 ± 4.5	13 – 39
APACHE II	20.95 ± 9.2	3 – 44
SOFA	5.9 ± 3	1 – 15

Çalışmaya alınan hastaların; % 5.8 (n=5)'unda VKİ: 18.5 kg/m²'nin altında, % 46.5 (n=40)'unda VKİ: 18.5-25 kg/m² arasında, % 31.4 (n=27)'sında VKİ: 25-30kg/m²'nin arasında ve % 16.3 (n=14)'inde VKİ 30 kg/m²'nin üstünde olduğu saptandı.

Olguların primer hastalıkları irdelendiğinde, en fazla solunum yetmezliği (KOA, pnömoni, ARDS) daha sonra postoperatif, travma, kardiyak (MI, kalp yetmezliği) ve diğer hastaların yer aldığı gözlemlendi (Tablo 6).

Tablo 6. Hastaların primer tanıları

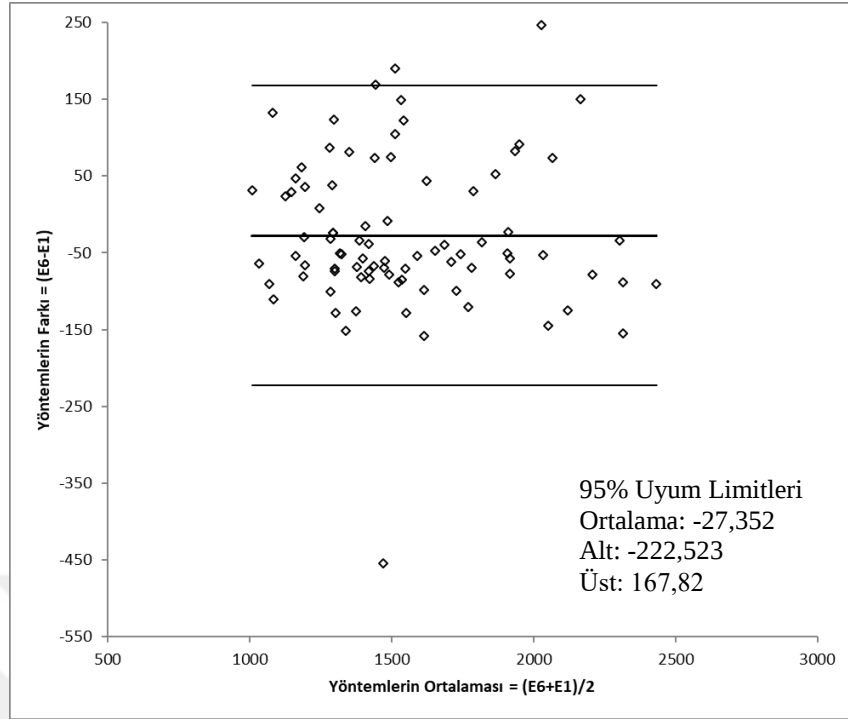
Tanı	N %)
Solunum yetmezliği	33 (38.4)
Postoperatif	29 (33.7)
Travma	9 (10.5)
Kardiyak	8 (9.3)
Diğer	7 (8.1)
Toplam	86 (100)

Tüm hastalarda, indirekt kalorimetre yöntemi ile ölçülen enerji tüketiminin (ÖET) 1532 ± 339 kcal/gün olduğu saptandı (Tablo 7). Hastaların enerji tüketimlerinin 1. ve 6. saatte yapılan ölçümleri karşılaştırıldığında ileri derecede ilişkili (SKK = 0.959, %95 güven aralığı 0.937- 0.973) ve anlamlı olduğu ($p < 0.001$) saptandı.

Tablo 7. İndirekt ve HB ile ölçülen enerji tüketiminin ortalama değerleri.

	Ortalama $\pm$ Standart Sapma	Minimum-Maksimum
1. ÖET	1560 ± 343	993 – 2477
6. ÖET	1532 ± 339	1000 – 2386
HB	1693 ± 333	1256 – 2528

İndirekt kalorimetri yöntemi ile 1. ve 6. saatlerde ölçülen enerji değerleri arasında Bland-Altman analizi ile yapılan uyum testinde dağılımların orta hatta yakın olması 1 saatlik ölçümlerin de doğru sonuçlar verebileceğini gösteriyor. Ortalama uyum limit -27.352 olarak görülmüştür. Üst uyum limiti 167.82, alt uyum limiti ise -222.523 idi. Bland Altman analizine göre hastaların en kötü ihtimalle 167.82 kcal az veya 222.523 kcal daha fazla beslenmesiyle karşılaşılabilir (Şekil 7).



Şekil 7. 1. saat sonunda ölçülen enerji tüketimi ile 6 saatlik ortalama enerji tüketiminin Bland-Altman analizi

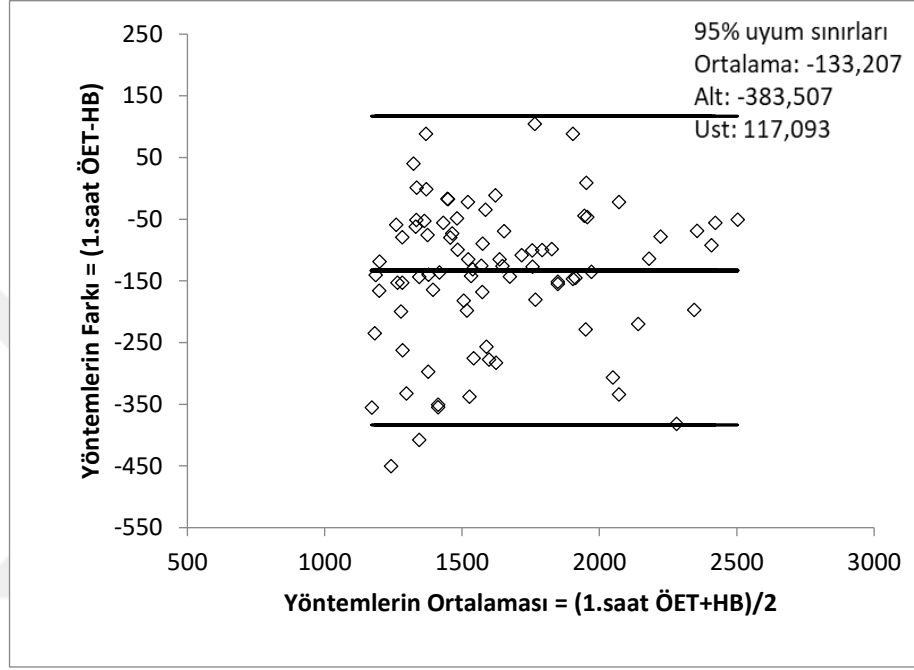
Harris-Benedict ile indirekt kalorimetre değerlerinin (1 ve 6 saat) her iki dönem içinde ileri düzeyde ilişkili (sırasıyla SKK = 0.931; 0.968, %95 güven aralığı 0.895-0.954; 0.952- 0.979)ve anlamlı olduğu saptandı ($p < 0.001$) (Tablo 8).

Tablo 8. Harris Benedict ve indirekt kalorimetri arasında 1 ve 6 saat değerlerinin karşılaştırılması.

Harris Benedict	SKK	%95 güven aralığı		P
		Alt sınır	Üst sınır	
1.saat ÖET	0.931	0.895	0.954	< 0.001
6. saat ÖET	0.968	0.952	0.979	< 0.001

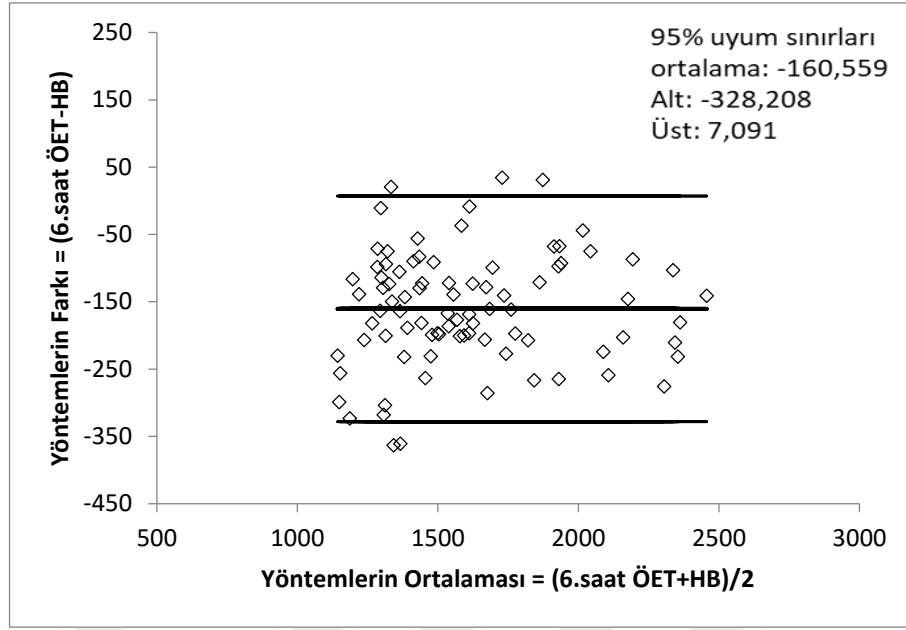
HB ile ölçülen enerji tüketimi (ÖET) ortalama eğilim ve 95 % 'lık güven aralığı ile (1 ve 6 saat) Bland Altman analizi kullanılarak değerlendirildi.

1. saat için ÖET ile HB arasında yapılan değerlendirilmede ortalama uyum limit -133.207 olarak görülmüştür. Üst uyum limiti 117.093, alt uyum limiti ise -383.507 idi. Bland Altman analizine göre hastaların HB ile ölçülen enerji ile beslenmesi en kötü ihtimalle 117.093 kcal az veya 383.507 kcal daha fazla beslenmeye neden olabilir (Şekil 8).



Şekil 8. HB eşitliği ile 1.saatte indirekt kalorimetri ile ÖET arasındaki uyumun Bland Altman analizi ile değerlendirilmesi.

6. saat için ÖET ile HB arasında yapılan değerlendirilmede ortalama uyum limit -160,559 olarak görülmüştür. Üst uyum limiti 7.091, alt uyum limiti ise -328.208 idi. Bland Altman analizine göre hastaların HB ile ölçülen enerji ile beslenmesi en kötü ihtimalle 7.091 kcal az veya 328.208 kcal daha fazla beslenmeye neden olabilir (Şekil 9).



Şekil 9. HB eşitliği ile 6.saatte indirekt kalorimetri ile ÖET arasındaki uyumun Bland Altman analizi ile değerlendirilmesi.

VKİ' ne göre HB ve İC yöntemlerinin değerlendirdiğimizde aralarında ileri derecede ilişkili ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptandı (Tablo 9). Hastaların cinsiyetine göre HB ve İC değerleri karşılaştırıldığında aralarındaki ilişkinin erkek hastalarda biraz daha yüksek olmakla birlikte her iki grupta da ileri derecede ilişkili ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Tablo 10).

Tablo 9. VKİ'ne göre Harris Benedict ve indirekt kalorimetri arasında grup içi karşılaştırma.

VKİ	SKK	%95 güven aralığı		p
		Alt sınır	Üst sınır	
Zayıf (<18,5 kg/m ²)	0.979	0.816	0.998	< 0.001
Normal (18,5-25 kg/m ²)	0.961	0.928	0.979	<0.001
Kilolu (25-30kg/m ²)	0.977	0.950	0.990	<0.001
Obez (>30kg/m ²)	0.973	0.919	0.991	<0.001

Tablo 10. HB ve indirekt kalorimetri arasındaki uyumun cinsiyete göre analizi.

Cinsiyet	SKK	%95 güven aralığı		P
		Alt sınır	Üst sınır	
Erkek	0.967	0.941	0.982	< 0.001
Kadın	0.878	0.785	0.933	< 0.001

Yatış tanısına göre İC ile HB yöntemleri arasındaki karşılaştırmada da hastaların gruplandırılmasına göre ileri düzey ilişkili ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptandı (Tablo 11). Hastaların YBÜ yatış tanılarına göre İC ile HB yöntemleri arasında Blandt-Altman yöntemi ile uyumlu oldukları belirlendi (Tablo 12).

Tablo 11. Yatış tanısına göre İC ile HB yöntemlerinin karşılaştırılması

Yatış tanısı	SKK	%95 güven aralığı		P
		Alt sınır	Üst sınır	
Solunum	0.960	0.920	0.980	< 0.001
Postop	0.974	0.946	0.988	< 0.001
Travma	0.972	0.884	0.994	< 0.001
Kardiak	0.973	0.874	0.995	< 0.001
Diğer	0.701	0.11	0.941	=0.026

Tablo 12. Yatış tanısına göre Bland Altman analizi.

Yatış tanısı	%95 Uyum limiti		
	Farkların ortalaması	Alt uyum limiti	Üst uyum limiti
Solunum	- 169.07	- 345.675	7.521
Postoperatif	-161.683	- 294.067	-29.299
Travma	- 197.449	- 411.109	16.211
Kardiak	- 118.765	-305.837	68.307
Diğer	- 98.304	- 373.068	176.459

Hastaların indirekt kalorimetri yöntemiyle belirlenen enerji gereksinimi ile APACHE II ve SOFA skorları karşılaştırıldığında, APACHE II skoru ile negatif zayıf ve SOFA skoru ile pozitif zayıf düzeyde ilişkili olduğu ve bu bulguların her ikisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptandı ($p>0.05$) (Tablo 13).

Tablo 13. İndirekt kalorimetri ile hastalık ciddiyet skorları arasındaki ilişkinin karşılaştırılması

İC	APACHE II	SOFA
r	- 0.157	0.071
p	0.148	0.519
N	86	86

5. TARTIŞMA

Yoğun bakım ünitesi hastalarının beslenmesi kritik hastaların iyileşmesine katkısı olduğu ve yetersiz veya aşırı beslenmenin olumsuz etkilerinin bulunduğu bilinmektedir. Bu nedenle, hastaların enerji gereksinimleri gerçeğe en yakın şekilde belirlenmelidir. Ancak YBÜ hastalarının enerji gereksinimlerini belirlemede birçok sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu amaç için kullanılan formüllerle enerji gereksinimini doğru belirlemek oldukça zordur. İndirekt kalorimetre yöntemi ile enerji gereksiniminin belirlenmesi uzun zamandır altın standart olarak kabul edilmektedir.

Yoğun bakım ünitemizde mekanik ventilatörle izlenen hastalarda enerji tüketimi metabolik monitörizasyon ile 1560 ± 343 kcal/gün olarak saptandı. De Waele ve ark. 259 YBÜ hastasını içeren retrospektif çalışmalarında, enerji gereksiniminin 1571 ± 423.5 kcal /gün olduğunu, enerji hesaplanmasında kullanılan formüllerle zayıf korelasyon gösterdiğini ve bu toplulukta IC'nin gereksinimin belirlenmesinde önemli role sahip olduğunu belirtmişlerdir (55). Dvir ve ark. (56) mekanik ventilasyon gerektiren 50 YBÜ hastasını içeren prospektif çalışmalarında, ortalama enerji gereksiniminin 1512 kcal/gün olduğunu saptamışlardır. Bu çalışmada, negatif enerji dengesinin solunum sıkıntısı, sepsis, böbrek yetmezliği, bası yaraları gibi komplikasyonlar ile ilişkili, ancak uzamış ventilasyon, yoğun bakımda kalış ve hastanede yatış süresi veya mortalite ile ilişkili olmadığını belirtmişlerdir. Christophe ve ark. mekanik ventilasyondaki 38 hastayı içeren çalışmalarında, negatif enerji dengesinin, özellikle enerji açığının 1200 kcal'yi aştığında, uzamış mekanik ventilasyon gerektiren hastalarda YBÜ mortalitesinin bağımsız bir belirleyicisi olduğunu belirtmişlerdir (57). Bizim çalışmamızda da, hasta toplulukları farklı olmasına rağmen enerji gereksiniminin bu çalışmalara benzer şekilde olduğu gözlenmiştir.

Reid CL. ve ark. mekanik ventilasyon uygulanan 27 hastayı içeren çalışmalarında, sürekli IC (24 saat/gün >5 gün) ile değerlendirildiğinde ortalama enerji tüketiminin 2053 ± 445 kcal/ gün olduğunu saptamışlardır (58). Enerji tüketiminin bu kadar yüksek ölçülmesinin nedenin ölçümlerin aralıksız yapılmış olması, dolayısıyla hastaların ajite oldukları aspirasyon, pozisyon değiştirme, postural drenaj ve vücut

bakımı gibi girişimlerin yapıldığı dönemlerde de ölçümlere devam edilmesine bağlı olduğunu düşünmekteyiz. Bizim çalışmamızda ise ölçüm sırasında her hangi bir girişime izin verilmediği için enerji gereksinimi daha düşük oranda belirlenmiştir.

İndirekt kalorimetri ile aralıksız ve aralıklı değerlendirmeler yapılabilir. Literatür incelendiğinde çalışmaların çoğunda 24 saatlik ölçüm ile İC değerlendirilmelerinin yapıldığı gözlenmektedir. Medikal YBÜ’de mekanik ventilasyon uygulanan 8 hastayı içeren çalışmada, 30 dakikalık İC değerleri ile 24 saatlik ölçülen enerji tüketimi karşılaştırılmış, klinik amaçlar için kabul edilebilir derecede ilişkili olduğunu göstermişler. Özellikle kalp atış hızı, sistolik kan basıncı ve solunum hızının günün ortalamasına en yakın olduğu 11:00 ila 15:00 saatleri arasında 30 dakikalık ölçüm yapılması ile doğruluğun en üst düzeye çıkarılabileceği gözlenmiştir (59). Zijlstra ve ark. mekanik ventilasyon desteği alan 12 hastayı içeren çalışmalarında, İC ile enerji gereksiniminin 1658 ± 279 kcal /gün olduğunu, gün içerisinde ölçüm saatleri arasında istatistiksel fark olmadığını, 24 saatlik ölçümler ile daha kısa (2 saat) süredeki ölçümlerin uyumlu olduğunu ve 24 saatlik ölçümlerin yerini alabileceğini göstermişlerdir (60).

Çalışmamızda, 30 dakikalık dinlenme sonrası 1 ve 6 saatlerde enerji gereksinimi İC ile değerlendirildi. Çalışmamızdaki amacımız İC için gereken zamanın daha kısa süreye indirilebilmesi ve daha erken doğru sonuç alınma olasılığını değerlendirmektir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre, 1. ve 6. saatte ölçülen enerji gereksinimi değerleri arasında çok yüksek derecede korelasyon bulunmasının yanı sıra Bland-Altman analizinde de (ortalama uyum sınırı -27,352, üst uyum sınırı 167,82 ve alt uyum sınırı -222,523 ile hastaların en kötü olasılıkla 167,82 kcal az veya 222,523 kcal daha fazla beslenmesiyle karşılaşılabılır) orta hatta yakın dağılımların olması 1 saatlik ölçümlerin de doğru sonuçlar verebileceğini göstermiştir. Hem korelasyonda hem de yeterlilik grafiğinde uyumlu sonuç vermeleri nedeni ile, 1. saat ölçümleri beslenmeye başlarken değerli veri olabilir. S. Petros ve ark. 46 entübe hastanın alındığı çalışmalarında, 5 dakikalık dengeli dönem sonrası yapılan ölçümlerle 30 dakika sonra yapılan ölçümler arasında anlamlı bir fark olmadığını saptamışlardır (61). McEvoy ve ark. kısaltılmış İC metodu uyguladıkları çalışmalarında, spontan soluyan 20 travmatik beyin hasarı olan hastanın enerji harcamasını değerlendirmek için açık devre kalorimetre yöntemi ile hesaplama yapmışlardır. Toplamda 124 ölçüm

kaydedilmiş, istatistiksel analiz için Bland-Altman yöntem karşılaştırması kullanılmıştır. Sonuç olarak travmatik beyin hasarı olan spontan solunum yapan hastalarda dinlenme enerjisi harcamasını belirlemek için 4 dakikalık veya 3 dakikalık kısaltılmış dengeli dönem dolaylı kalorimetri protokolünün klinik olarak kabul edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır (62).

Enerji gereksinimi için öngörücü denklemlerin masrafsız ve kolay olması nedeniyle indirekt kalorimetreye alternatif bir yöntem olarak ilgi konusu olmuş ve çalışmalar yapılmıştır. İndirekt kalorimetri ile mekanik ventilasyon uygulanan erişkin hastalarda enerji gereksiniminin az veya çok olarak belirlenmesinin prevelansının irdelendiği çalışmaya toplam 2349 yayından 18'i alınmıştır. İC ile 13 denklemin 160 varyasyonunun karşılaştırıldığı bu çalışmada, grup düzeyinde enerji gereksiniminin öngörülmesinde denklemlerden sadece %50'sinin İC ölçümlerinin %90-110 içerisinde öngörebildiği, geriye kalan %50'sinden % 38'inin enerji gereksinimini daha az, % 12'sinin ise gereğinden fazla (İC'nin $\pm$ %10) olarak öngördüğü saptanmıştır. Grup düzeyinde Harris-Benedict eşitliği ile enerji gereksiniminin İC'ye göre genellikle daha az olarak belirlendiği, ancak stres faktör eklendiğinde daha doğru öngörüldüğü belirlenmiştir (63).

Enerji gereksiniminin hesaplanmasında Harris-Benedict denkleminin (HB) kullanıldığı çalışmalarda vücut ağırlığının ideal veya aktüel olmak üzere farklı değerlerin alındığı gözlenmiştir. Mekanik ventilasyon uygulanan 30 cerrahi hastanın alındığı çalışmada, enerji gereksinimi gerçek vücut ağırlığı kullanılarak Harris-Benedict denklemi (HB) ve 30 dakika boyunca gerçekleştirilen indirekt kalorimetri ile değerlendirilmiştir. HB'nin anlamlı ($p < 0.0005$) fakat İC ile orta düzey korelasyonu (Spearman $r = 0.57$) ile uyum limitinin - 599.7 ila 623.7 kcal arasında olduğu saptanmıştır (64). Mekanik ventilasyon uygulanan farklı VKİ olan 177 kritik hastayı içeren (≥ 65 yaş) çalışmada enerji gereksiniminin belirlenmesinde İC ve Harris-Benedict (HB) öngörü denklemi karşılaştırılmıştır. HB aktüel ve ideal kiloya göre hesaplanmıştır. İC ile ölçülen enerji gereksinimi aktüel ve ideal kiloya göre HB ile hesaplanmış enerjiden anlamlı derecede yüksek olduğu saptanmıştır. Çalışmada, HB formülüne stress faktörü de eklenerek hesaplandıktan sonra aralarında anlamlı bir fark olmadığı, aktüel kiloya göre hesaplandığında 1.20-1.43, ideal kiloya göre hesaplandığında 1.24-1.52 stress faktörü eklenmesinin daha doğru sonuçlar vereceği

gösterilmiştir (65). Mekanik ventilasyon uygulanan 207 YBÜ hastasında enerji gereksiniminin belirlenmesinde İC ve 3 farklı vücut ağırlığına göre HB formülü ile hesaplanan değerlerin irdelendiği çalışmada, Harris-Benedict denkleminin vücut ağırlığının kaynağına bakılmaksızın indirekt kalorimetre yerine kullanılmayacağını belirtmişlerdir (54). Bizim çalışmamızda, Harris-Benedict denklemi ideal vücut ağırlığı ve stres faktörleri kullanılarak hesaplandı. VKİ'ne göre her grup için değerlendirilen hastalarda. İC ve HB değerleri sınıf içi korelasyon katsayısına göre yüksek derecede uyumlu olduğu saptandı. Bu nedenle, tüm hastalar için İVA ve stres faktörleri kullanılarak HB formülünün hesaplanması ile daha doğru sonuçları elde ettiğimizi düşünmekteyiz.

Enerji tüketiminin değerlendirilmesinde indirekt kalorimetrisinin uygulanmadığı durumlarda, Harris-Benedict denklemi için 1.2 aktivite faktörünün seçilmesinin kullanabilir olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (66,67). Frankenfield ve ark. (68) enerji tüketiminin belirlenmesinde öngörü denklemleri ile İC'yi karşılaştırdıkları çalışmaya, travmatik yaralanma tanısı alan, ameliyat geçiren, mekanik ventilasyon uygulanan kritik hastalığı olan 202 hasta alınmış ve hastalar yaş (<60 yaş ve ≥ 60 yaş) ve VKİ (<30 ve ≥ 30) gruplarına ayrılmıştır. HB denklemi ile tüm gruplar için doğruluk oranının % 34 olduğunu, 1.25 düzeltme faktörü ile bu oranın % 46 değerine yükseldiğini saptamışlardır. Mekanik ventilasyon uygulanan 60 yaş üstü 97 hastanın alındığı çalışmada, enerji gereksinimi İC ve 1.2 düzeltme faktörü ile elde edilen Harris-Benedict değerleri karşılaştırılmıştır. Her iki cinsiyet için düzeltilmiş HB ile hesaplanan enerji gereksiniminin kadınlar için daha yüksek doğrulukla (%43.8 kadın, % 34.7 erkek) olduğunu belirlemişlerdir. Yaşlı hasta gruplarında diğer öngörü eşitliklerine göre 1.2xHB formülünün kullanılmasının daha doğru sonuçlar vereceğini önermişlerdir (67). Çalışmamızda, enerji tüketiminde cinsiyetin etkisi değerlendirildiğinde hem kadın hem de erkekler için sınıf içi korelasyon katsayı analizine göre uyumlu olduğu gözlenmesine rağmen, erkeklerde HB ile hesaplanan enerji gereksinimi İC ile daha uyumlu bulunmuştur.

Çalışmamızda, yatış tanılara göre gruplarda İC ile HB denklemi arasındaki uyumu belirlemek için sınıf içi korelasyon katsayısı ve Bland Altman yöntemi ile değerlendirme yapılmıştır. Bu konuda literatürde yeterli veri bulunmamaktadır. Karakuzu ve ark. yaptığı çalışmada, İC ve ampruk denklemlerin uyumunu gruplara

göre karşılaştırmış, solunum yetmezliği, malignite, travma ve nörolojik alt gruplarında HB ile İC değerlerinin uyumlu olduğu saptanmıştır (69). Çalışmamızda iki yöntem arasında solunum yetmezliği, postoperatif, kardiyak ve travma hasta gruplarında daha uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Enerji gereksiniminin belirlenmesinde mekanik ventilasyon mode (volüm veya basınç) ve tipinin seçiminin indirekt kalorimetri değerlerini etkilemediği belirlenmiştir (70). Çalışmaya aldığımız hastalar basınç veya volüm kontrollü mod ile izlenmekteydi ve ventilasyon modu değerlendirme sırasında belirlenmesine rağmen herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır.

Çalışmamızda aynı zamanda, hastalık şiddeti skorları (APACHE II ve SOFA) ile enerji tüketimi arasındaki ilişki de araştırılmıştır. Her iki hastalık şiddeti skorlaması ile indirekt kalorimetre yöntemi ile belirlenen enerji tüketimi arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Bununla birlikte, bu konuda yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar ortaya konmuş ve çok az sayıda çalışmada korelasyon saptanmıştır. Subramaniam ve ark. sepsis ile izlenen mekanik ventilatöre bağlı 60 hastayı içeren tek merkezli prospektif çalışmalarında, öngörü denklemleri ile indirekt kalorimetri değerleri karşılaştırılmış, aynı zamanda enerji tüketiminin APACHE II skoru ile ilişkisini araştırmıştır. Sonuç olarak APACHE II skorları <25 olan hastalarda İC ve HB arasında daha iyi korelasyon olduğu belirlenmiştir (71). Mekanik ventilasyon uygulanan 33 KOAH hastasını içeren çalışmada, indirekt kalorimetri ile APACHE II skoru arasında pozitif korelasyon olduğu, HB denklemi kullanıldığında APACHE II skoruna göre düzeltme katsayısının eklenmesinin gerektiği belirlenmiştir (72).

Brandi ve ark. 26 multipl travma hastası ile yaptıkları çalışmada enerji tüketimi ile APACHE II arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığını saptamışlardır. Hasar ve hastalık şiddetinin enerji metabolizması ile ilişkili olmadığını; metabolik yanıtın bir “ya hep ya hiç” fenomeni olduğunu bildirmişlerdir (73).

Beslenme tedavisinin en uygun şekilde belirlenmesi çok önemlidir. Yetersiz ve aşırı beslenmeyi ve bunlarla ilişkili komplikasyonları önlemek için, her bir hastada EE'yi doğru bir şekilde değerlendirmek ve uygun beslenme desteğinin sağlanması gerekmektedir. YBÜ hastalarında indirekt kalorimetri bu amaç için altın standart olarak kabul edilir ve ideal olarak enerji gereksinimlerinin belirlenmesinde mümkün

oldukça her hasta için gerçekleştirilmelidir (74). Günümüzde, indirekt kalorimetreye alternatif yöntemler konusunda çalışmalar yapılmaktadır (75,76,77). Stapel ve ark. mekanik ventilasyon uygulanan 84 hastada üretilen VCO_2 'ye göre hesaplanmış enerji gereksinimi ile indirekt kalorimetri arasındaki uyum değerlendirmiş, öngörü denklemlerine göre indirekt kalorimetri ile daha doğru sonuçların elde edildiğini ve $8.19 \times VCO_2$ (ml/min) formülü ile kısa sürede enerji gereksiniminin hesaplanabileceğini belirtmişlerdir (78). Oshima ve ark ise CO_2 belirlenmesine dayalı enerji gereksinimi sonuçlarının indirekt kalorimetri ile belirlenen değerlere alternatif olarak değerlendirmek için yeterince doğru olmadığı sonucuna varmışlardır (79). Benzer şekilde, YBÜ hastalarında enerji gereksiniminin belirlenmesinde indirekt kalorimetri ile belirlenen değerler ile alternatif yöntemler karşılaştırıldığında, alternatif yöntemlerin yeterince uyumlu olmadığı saptanmıştır (80, 81).

6. SONUÇLAR

Sonuç olarak, YBÜ’de çeşitli hasta gruplarını içeren çalışmamızda mekanik ventilasyon uygulanan YBÜ hastalarında yeterli beslenmenin sağlanması için olanaklı ise indirekt kalorimetri yönteminin uygulanmasının yararlı olacağı, bir saatlik indirekt kalorimetri ile elde edilen sonuçların yeterli olabileceği, indirekt kalorimetrinin uygulanamadığı durumlarda Harris-Benedict denkleminin stres faktörü ile birlikte değerlendirilmesinin daha doğru sonuçlar verebileceği ve hastalık şiddeti ile enerji tüketimi arasında belirgin bir ilişkinin olmadığı kanaatine varılmıştır.



ÖZET

Amaç: Mekanik ventilasyon uygulanan yoğun bakım hastalarında, farklı hastalık gruplarında ve farklı VKİ'li hastalarda İC ile Haris Benedict formülü ile hesaplanan enerji tüketimi değerlerini karşılaştırmak ve aynı zamanda ölçülen enerji tüketimi ile hastalık şiddeti arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemektir.

Gereç ve Yöntemler: Çalışmaya mekanik ventilasyon ihtiyacı olan 86 hasta dahil edildi. Hastanın kalori gereksinimini ölçmek için 1. ve 6. saat indirekt kalorimetri ve eşzamanlı Harris-Benedict formülü ile hesaplamalar yapıldı. APACHE II ve SOFA skorkları hesaplandı. Yöntemler arası ilişkinin yönü ve gücü sınıf içi korelasyon katsayısı ve Bland Altman ile incelendi.

Bulgular: İndirekt kalorimetre yöntemi ile ölçülen enerji tüketiminin (ÖET) 1532 ± 339 kcal/gün olduğu saptandı. 1. ve 6. saat enerji tüketim değerleri bir biri ile uyumlu idi. Farklı vücut kitle indeksi ve hasta gruplarına göre indirekt kalorimetre ve Harris-Benedict formülü ile ölçülen enerjiler arasında hem sınıfiçi korelasyon katsayısı, hem de Bland Altman analizi ile ileri derecede uyum gözlemlendi. İndirekt kalorimetre ile ölçülen enerji tüketimi ile APACHE II ve SOFA skorları arasında bir ilişki olmadığı görüldü.

Sonuç: Bir saatlik indirekt kalorimetri ile elde edilen sonuçların yeterli olabileceği, indirekt kalorimetrenin uygulanamadığı durumlarda Harris-Benedict denkleminin stres faktörü ile birlikte değerlendirilmesinin daha doğru sonuçlar verebileceği ve hastalık şiddeti ile enerji tüketimi arasında belirgin bir ilişkinin olmadığı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İndirekt kalorimetri, enerji gereksinimi, Harris-Benedict, APACHE II, SOFA

SUMMARY

Objective: To compare the energy consumption values calculated with IC and Haris Benedict formula in intensive care patients with mechanical ventilation, in different disease groups and patients with different BMI, and also to determine whether there is a relationship between measured energy consumption and disease severity.

Material and Methods: 86 patients in need of mechanical ventilation were included in the study. Calculations were made with indirect calorimetry at the 1st and 6th hours and simultaneous Harris-Benedict formula to measure the calorie requirement of the patient. APACHE II and SOFA scales were calculated. The direction and strength of the relationship between the methods were analyzed with the in-class correlation coefficient and Bland Altman.

Results It was determined that the energy consumption measured by the indirect calorimeter method was 1532 ± 339 kcal / day. The 1st and 6th hour energy consumption values were compatible with each other. There was a high degree of correlation between the indirect calorimeter and the energies measured by the Harris-Benedict formula according to different body mass index and patient groups, both with in-class correlation coefficient and Bland Altman analysis. There was no relationship between the energy consumption measured by an indirect calorimeter and the APACHE II and SOFA scores.

Conclusion: It was concluded that the results obtained by one-hour indirect calorimetry may be sufficient, in cases where indirect calorimetry cannot be applied, evaluating the Harris-Benedict equation together with the stress factor can give more accurate results and there is no significant relationship between disease severity and energy consumption.

Keywords: Indirect calorimetry, energy requirement, Harris-Benedict, APACHE II, SOFA

KAYNAKLAR

1. Huang YC, Yen CL, Cheng CH, Jih KS, Kan MN. Nutritional status of mechanically ventilated critically ill patients: Comparison of different type of nutritional support. Clin Nutr 2000; 19:101-7.
2. Zauner C, Schuster BI, Schneeweiss B. Similar metabolic response to standardized total parenteral nutrition of septic and nonseptic critically ill patients. Am J Clin Nutr 2001; 74: 265-70.
3. Askanazi J, Rosenbaum SH, Hyman AI, Silverberg PA, Milic-Emili J, Kinney JM. Respiratory changes induced by the large glucose loads of total parenteral nutrition. JAMA. 1980;243:1444-7.
4. Esquinas AM, editor. Noninvasive mechanical ventilation and difficult weaning in critical care; key topics and practical approaches. Vol. 46 Cham (Switzerland): Springer International Publishing; 2016.
5. Covelli HD, Black JW, Olsen MS, Beekman JF. Respiratory failure predicted by high carbohydrate loads. Ann Intern Med 1981; 95: 579-81.
6. Modak MA, Parab PB, Ghaskadbi SS. Control of hyperglycemia significantly improves oxidative stress profile of pancreatic islets. Islets. 2011;3(5):234-40.
7. 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: 461- 466.
8. Barker LA, Gout BS, Crowe TC. Hospital malnutrition: prevalence, identification and impact on patients and the healthcare system. Int J Environ Res Public Health 2011; 8: 514-27.
9. Reid CL. Nutritional requirements of surgical and critically-ill patients: do we really know what they need? Proc Nutr Soc. 2004 Aug;63(3):467-72.
10. Dayıoğlu, M. Mekanik Ventilasyon Uygulanan Yoğun Bakım Hastalarında Enerji Tüketiminin Belirlenmesinde İndirekt Kalorimetri Metodu ile Ampirik

Formüllerin Karşılaştırılması, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı. 2008, Selçuk Üniversitesi: Konya. p. 1.

11. Cuthbertson, D.P. M.A. Angeles Valero Zanuy, and M.L. Leon Sanz, Post-shock metabolic response. 1942. *Nutricion hospitalaria: organo oficial de la Sociedad Espanola de Nutricion Parenteral y Enteral*, 2001.16 (5): p. 176-82; discussion 175-6.
12. Singer, P.; Blaser, A.R.; Berger, M.M.; Alhazzani, W.; Calder, P.C.; Casaer, M.P.; Hiesmayr, M.; Mayeri, K.; Montejo, J.C.; Pichard, C.; et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin. Nutr.* 2019, 38, 48–79.
13. Briassoulis G, Zavras N, Hatzis T. Malnutrition, nutritional indices, and early enteral feeding in critically ill children. *Nutr* 2001;17: 548-57.
14. 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.
15. Preiser JC, van Zanten AR, Berger MM, Biolo G, Casaer MP, Doig GS, et al. Metabolic and nutritional support of critically ill patients: consensus and controversies. *Crit Care.* 2015;19:35.
16. Stuever MF, Kidner RF, Chae FE, Evans DC. Full nutrition or not? *Nutr Clin Pract.* 2018;33(3):333–8.
17. Dark DS, Pingleton SK, Kerby GR. Hypercapnia during weaning: a comparison of nutritional support. *Chest* 1985; 88: 141-3.
18. M.Abd El Sabour Faramawy A.Abd Allah, S.El Batrawy H.Amer. Impact of high fat low carbohydrate enteral feeding on weaning from mechanical ventilation. *Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis*. October 2014, Pages 931-938.
19. Klein CJ, Stanek GS, Wiles CE 3rd Overfeeding macronutrient to critically ill adults: metabolic complications. *J Am Diet Assoc.* 1998 Jul;98(7):795-806.

20. Uma Raju, Sanjay Choudhary, and MM Harjai. Nutritional Support In The Critically Ill Child Med J Armed Forces India. 2005 Jan; 61(1): 45–50. Published online 2011 Jul 21. doi: 10.1016/S0377-1237(05)80119-4.
21. Maureen Zimmerman, Beth Snow. An Introduction to Nutrition. 2012 Chapter 4.
22. Calder PC, Yaqoob P, Thies F, Wallace FA, Miles EA. Fatty acids and lymphocyte functions. Br J Nutr. 2002 Jan;87 Suppl 1:S31-48.
23. Miriam Rossi, Francesco Caruso, Lorraine Kwok, Grace Lee, Alessio Caruso, Fabio Gionfra, Elena Candelotti, Stuart L. Belli, Nora Molasky, Kathleen M. Raley-Susman, Stefano Leone, Tomáš Filipický, Daniela Tofani, Jens Pedersen, Sandra Incerpi. Protection by extra virgin olive oil against oxidative stress in vitro and in vivo. Chemical and biological studies on the health benefits due to a major component of the Mediterranean diet. PLoS One. 2017; 12(12): e0189341. Published online 2017 Dec 28. doi: 10.1371/ journal.pone.0189341.
24. Santangelo C, Vari R, Scazzocchio B, De Sanctis P, Giovannini C, D'Archivio M, Masella R. Anti-inflammatory Activity of Extra Virgin Olive Oil Polyphenols: Which Role in the Prevention and Treatment of Immune-Mediated Inflammatory Diseases? Endocr Metab Immune Disord Drug Targets. 2018;18(1):36-50. doi: 10.2174/1871530317666171114114321.
25. Sobotka L, Soeters PB, Jolliet P, Pichard C, Singer P (Çeviri: Çivi M), Kritik hastalar ve sepsisli hastalarda nutrisyon desteği. In: Sobotka L, Allison SP, Forbes A, Ljungqvist O, Meier RF, Pertkiewicz M (eds) (Çeviri editörü: Gündoğdu H). Klinik nutrisyonun temelleri. 4. Baskı. Bayt Yayınevi; 2013.448-9.
26. Roland N. Dickerson Nitrogen Balance and Protein Requirements for Critically Ill Older Patients. Nutrients. 2016 Apr; 8(4): 226. Published online 2016 Apr 18. doi: 10.3390/nu8040226.
27. Irving SY, Simone SD, Hicks FW, Virger JT. Nutrition for the critically ill child: enteral and parenteral support. AACN Clin Issues. 2000 Nov;11(4):541–548.
28. David S. Seres, Monika Valcarcel, and Alexandra Guillaume. Advantages of enteral nutrition over parenteral nutrition. Therap Adv Gastroenterol. 2013 Mar; 6(2): 157–167. doi: 10.1177/1756283X12467564.

29. Anne-Françoise Rousseau, Marie-Reine Lossier, Carole Ichai, Mette M. Berger. ESPEN endorsed recommendations: Nutritional therapy in major burns. *Clinical Nutrition* 32 (2013) 497-502.
30. Mathias Plauth, William Bernal, Srinivasan Dasarathy, Manuela Merli, Lindsay D. Plank, Tatjana Schütz, Stephan C. Bischoff. ESPEN guideline on clinical nutrition in liver disease. *Clinical Nutrition* 38 (2019) 485-521.
31. Topeli A. (2001). Yoğun bakım uygulamakinde beslenme. *Yoğun Bakım Dergisi*, 1 (1): 11-20.
32. Graf S, Karsegard VL, Viatte V, Heidegger CP, Fleury Y, Pichard C, et al. Evaluation of three indirect calorimetry devices in mechanically ventilated patients: which device compares best with the Deltatrac II((R))? A prospective observational study. *Clin Nutr* 2015 Feb;34(1):60e5.
33. McClave SA, Martindale RG, Kiraly L. The use of indirect calorimetry in the intensive care unit. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2013 Mar;16(2):202e8.
34. Singer P, Berger MM, Van den Berghe G, Biolo G, Calder P, Forbes A, et al. ESPEN guidelines on parenteral nutrition: intensive care. *Clin Nutr* 2009 Aug;28(4):387e400.
35. Pekcan G. Beslenme Durumunun Saptanması, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Sağlık bakanlığı yayım no:726, Ankara, Klasmat matbaacılık, 2008.
36. Gottschlich MM, DeLegge MH, Guenter P. The A.S.P.E.N. Nutrition Support Core Curriculum: A Case-Based Approach: The Adult Patient. USA, Silver Spring, 2007.
37. Psota T, Chen KY. Measuring energy expenditure in clinical populations: rewards and challenges. *Eur J Clin Nutr*. 67(5):436–442, 2013.
38. Romon M, Edme JL, Boulenguez C, et al. Circadian variation of dietinduced thermogenesis. *Am J Clin Nutr* 57(4):476–80, 1993.

39. Wilson DF. Regulation of cellular metabolism: programming and maintaining metabolic homeostasis. *J Appl Physiol.* (2013);15:1583–8. doi: 10.1152/jappphysiol.00894.2013.
40. Weekes CE. Controversies in the determination of energy requirements. *Proc Nutr Soc.* (2007) 66:367–77. doi: 10.1017/S0029665107005630.
41. Lowell BB, Spiegelman BM. Towards a molecular understanding of adaptive thermogenesis. *Nature* (2000) 404:652–60. doi: 10.1038/35007527.
42. Kenny GP, Notley SR, Gagnon D. Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *Eur J Appl Physiol.* (2017) 117:1765–85. doi: 10.1007/s00421-017-3670-5.
43. McLean JA, Tobin G. *Animal and Human Calorimetry.* New York, NY: Cambridge University Press. (1987).
44. J.A. Wooley. Indirect calorimetry: applications in practice *Respir Care Clin N Am*, 12 (2006), pp. 619-633.
45. Headley JM. Indirect calorimetry: a trend toward continuous metabolic assessment. *AACN Clin Issues* 2003;14:155-67.
46. Branson RD, Johannigman JA. The measurement of energy expenditure. *Nutrition in clinical practice: official publication of the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition* 2004;19(6): p. 622-36.
47. Ferrannini E. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism.* 1988; 37: 287-301.
48. Prentice RL, Neuhouser ML, Tinker LF, Pettinger M, Thomson CA, Mossavar-Rahmani Y, Thomas F, Qi L, Huang Y. An exploratory study of respiratory quotient calibration and association with postmenopausal breast cancer. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 2013 Dec;22(12):2374-83.
49. Frankenfield D, Hise M, Malone A, Russell M, Gradwell E, Compher C. 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.

50. 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* [Internet]. 2012;27(3):321. e5-321.e12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrc.2011.07.084>.
51. 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: 461-6.
52. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, et al. APACHE II: A severity of disease classification system. *Crit Care Med* 1985; 13: 818-829.
53. Anupam Goel, Richard G Pinckney, and Benjamin Littenberg,. APACHE II Predicts Long-term Survival in COPD Patients Admitted to a General Medical Ward. *J Gen Intern Med*. 2003 Oct; 18(10): 824–830.doi: 10.1046/j.1525-1497.2003.20615.x
54. Karabıyık L. Yoğun bakımda skorum sistemleri. *Yoğun Bakım Dergisi* 2010;9:129-43.
55. Vincent JL, Moreno R, Takala J. The SOFA: Sepsis-related organ failure assessment score to describe organ dysfunction/failure. *Intensive Care Med* 1996;22:707-10.
56. Picolo MF, Lago AF, Meneguetti MG, Nicolini EA, Basile-Filho A, Nunes AA. Harris-Benedict equation and resting energy expenditure estimates in critically ill ventilator patients. *Am J Crit Care*. 2016;25(1):e21–9.
57. 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 Anesthesiol*. 2015;81:272–82.
58. Dvir D, Cohen J, Singer P. Computerized energy balance and complications in critically ill patients: an observational study. *Clin Nutr*. 2006;25(1):37-44.
59. C Faisy, N Lerolle, F Dachraoui, JF Savard Impact of energy deficit calculated by a predictive method on outcome in medical patients requiring prolonged acute mechanical ventilation. *Br J Nutr*. 2009; 101: 1079– 1087.

60. Reid C.L. Poor agreement between continuous measurements of energy expenditure and routinely used prediction equations in intensive care unit patients. *Clin Nutr.* 2007; 26:649-57.
61. N.A. Smyrnios, F.J. Curley, K.G. Shaker. Accuracy of 30-minute indirect calorimetry studies in predicting 24-hour energy expenditure in mechanically ventilated, critically ill patients *JPEN.*, 21 (1997), pp. 168-174.
62. Zijlstra N, ten Dam SM, Hulshof PJ, Ram C, Hiemstra G, de Roos NM. 24-hour indirect calorimetry in mechanically ventilated critically ill patients. *Nutr Clin Pract.* 2007 Apr;22(2):250-5.
63. S. Petros, L. Engelman. Validity of an Abbreviated indirect calorimetry protocol for measurement of resting energy expenditure in mechanically ventilated and spontaneously breathing critically ill patients. *Intensive Care Medicine* (2001) 27:1164-1168.
64. McEvoy C, Cooke SR, Young IS. A reduced abbreviated indirect calorimetry protocol is clinically acceptable for use in spontaneously breathing patients with traumatic brain injury. *Nutr Clin Pract.* 2009;24(4):513–519.
65. Tatucu-Babet OA, Ridley EJ, Tierney AC. Prevalence of Underprescription or Overprescription of Energy Needs in Critically Ill Mechanically Ventilated Adults as Determined by Indirect Calorimetry: A Systematic Literature Review. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2016; 40 (2): 212-25.
66. Auxiliadora-Martins M, Meneguetti MG, Nicolini EA, et al. Energy expenditure in critically ill surgical patients: comparative analysis of predictive equation and indirect calorimetry. *Acta Cir Bras.* 2011;26:51–56.
67. Pi-Hui Hsu, Chao-Hsien Lee, Li-Kuo Kuo, Yu-Chung Kung, Wei-Ji Chen and Min-Su Tzeng, Determination of the energy requirements in mechanically ventilated critically ill elderly patients in different BMI groups using the Harris–Benedict equation, *Journal of the Formosan Medical Association*, 10.1016/j.jfma.2017.12.010, 117, 4, (301-307), (2018).
68. Alexander E, Susla GM, Burstein AH, Brown DT, Ognibene FP. Retrospective evaluation of commonly used equations to predict energy expenditure in

mechanically ventilated, critically ill patients Pharmacotherapy. 2004;24(12):1659-1667.

69. Segadilha N, Rocha EEM, Tanaka LMS, Gomes KLP, Espinoza REA, Peres WAF. Energy expenditure in critically ill elderly patients: indirect calorimetry vs predictive equations. JPEN J Parenter Enteral Nutr.2017;41(5):776–84.).
70. Frankenfield DC, Coleman A, Alam S, Cooney RN. Analysis of estimation methods for resting metabolic rate in critically ill adults. JPEN J Parenter Enteral Nutr. 2009;33:27–36.
71. Karakuzu S. Mekanik Ventilasyon uygulanan hastalarda indirekt kalorimetri ile tahmini enerji gereksinimini hesaplayan denklemlerin karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Denizli 2014. p.1
72. Clapis FC, Auxiliadora-Martins M, Japur CC, Martins-Filho OA, Evora PR, Basile-Filho A. Mechanical ventilation mode (volume × pressure) does not change the variables obtained by indirect calorimetry in critically ill patients. J Crit Care. 2010;25:659.e9–e16.
73. Subramaniam A, McPhee M, Nagappan R. Predicting energy expenditure in sepsis: Harris-Benedict and Schofield equations versus the Weir derivation, Crit Care Resusc 2012;14:202-10.
74. Rao ZY, Wu XT, Wang MY, Hu W. Comparison between measured and predicted resting energy expenditure in mechanically ventilated patients with COPD. Asia Pac J Clin Nutr. 2012;21(3):338-46.
75. Brandi LS, Santini L, Bertolini R. Energy expenditure and severity of injury and illness indices in multipl trauma patients. Crit Care Med 1999; 27: 2684-9.
76. Marta Delsoglio, Najate Achamrah, Mette M. Berger, and Claude Pichard. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. J Clin Med. 2019 Sep; 8(9): 1387.
77. Mehta NM, Smallwood CD, Joosten KFM, Hulst JM, Tasker RC, Duggan CP. Accuracy of a simplified equation for energy expenditure based on bedside volumetric carbon dioxide elimination measurement a two-center study. Clin Nutr. 2015;34:151-5.

78. Lillelund Rousing M, 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):6.
79. Kagan, I. Zusman, O. Bendavid, I. Theilla, M. Cohen, J. Singer, P. Validation of carbon dioxide production (VCO₂) as a tool to calculate resting energy expenditure (REE) in mechanically ventilated critically ill patients: A retrospective observational study. *Crit. Care* 2018, 22, 186.
80. 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(1):370.
81. Taku Oshima, Séverine Graf, Claudia-Paula Heidegger, Laurence Genton, Jérôme Pugin and Claude Pichard. Can calculation of energy expenditure based on CO₂ measurements replace indirect calorimetry? *Crit Care*. 2017; 21: 13. doi: 10.1186/s13054-016-1595-8.
82. Soussi, S. Vallee, F. Roquet, F. Bevilacqua, V. Benyamina, M. Ferry, A. Cupaciu, A. Chaussard, M. De Tymowski, C. Boccara, D. et al. Measurement of Oxygen Consumption Variations in Critically Ill Burns Patients: Are the Fick Method and Indirect Calorimetry Interchangeable? *Shock* 2017, 48, 532–538.
83. Inadomi, C. Terao, Y. Yamashita, K. Fukusaki, M. Takada, M. Sumikawa, K. Comparison of oxygen consumption calculated by Fick's principle (using a central venous catheter) and measured by indirect calorimetry. *J. Anesth*. 2008, 22, 163–166.