

**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
MERAM TIP FAKÜLTESİ
ANESTEZİYOLOJİ VE REANİMASYON
ANABİLİM DALI**

**Prof. Dr. Şeref OTELCİOĞLU
ANABİLİM DALI BAŞKANI**

**MEKANİK VENTİLASYON UYGULANAN YOĞUN BAKIM
HASTALARINDA ENERJİ TÜKETİMİNİN
BELİRLENMESİNDE İNDİREKT KALORİMETRİ
METODU İLE AMPİRİK FORMÜLLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**UZMANLIK TEZİ
Dr. Mürüvvet DAYIOĞLU**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Alper YOSUNKAYA**

KONYA – 2008

KISALTMALAR

ESPEN	: European Society of Parenteral Enteral Nutrition
ATP	: Adenozin trifosfat
VO₂	: Oksijen tüketimi
VCO₂	: Karbondioksit üretimi
ET	: Enerji tüketimi
BET	: Bazal enerji tüketimi
TET	: Toplam enerji tüketimi
FIO₂	: İnspire edilen oksijen fraksiyonu
FEO₂	: Ekshale edilen oksijen fraksiyonu
FICO₂	: İnspire edilen karbondioksit fraksiyonu
FECO₂	: Ekshale edilen karbondioksit fraksiyonu
H- B	: Harris- Benedict eşitliği
SCH	: Schofield eşitliği
I-J	: Ireton-Jones eşitliği
SW	: Swinamer eşitliği
VKI	: Vücut kitle indeksi
IVA	: İdeal vücut ağırlığı
VYA	: Vücut yüzey alanı
ÖET	: Ölçülen enerji tüketimi
HET	: Hesaplanan enerji tüketimi
d	: Düzeltilmiş vücut ağırlığı
L	: Long faktörleri
SAPS II	: Basitleştirilmiş akut fizyolojik skorlama II
APACHE II	: Akut fizyolojik ve kronik sağlık değerlendirilme skoru II

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	II
KISALTMALAR	III
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Yoğun Bakım Hastalarında Beslenme	3
2.2. İndirekt Kalorimetre	7
2.2.1. İndirekt Kalorimetrenin Teorik Temelleri	7
2.2.2. Oksijen Tüketiminin Hesaplanması	8
2.2.3. Substrat Kullanımının Hesaplanması	9
2.2.4. Ekipman ve Teknik	9
2.2.4.1. Karıştırıcı Bölme Metodu	10
2.2.4.2. Soluktan – Soluğa Metodu	10
2.2.4.3. Dilüsyon Metodu	10
2.3. Enerji Tüketiminin Belirlenmesinde Kullanılan Formüller	11
2.4. Basitleştirilmiş Akut Fizyolojik Skorlama II (SAPS II)	13
2.5. Akut Fizyolojik ve Kronik Sağlık Değerlendirilme Skoru II (APACHE II)	14
2.6. Katekolaminlerin Metabolizma Üzerine Etkileri	16
3. MATERYAL VE METOD	17
4. BULGULAR	21
5. TARTIŞMA	29
6. SONUÇLAR	35
7. ÖZET	36
8. SUMMARY	38
9. KAYNAKLAR	40
10. TEŞEKKÜR	44

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Açlık sırasında organizmanın uyumsal değişiklikleriyle vücut proteinlerinin korunabilmesi ve normogliseminin sürdürülebilmesi birleşik fizyolojik yanıtta güzel bir örnek oluşturur. Yoğun bakımda tedavi gören kritik hastalığa sahip hastalar ise açlık sırasındaki fizyolojik yanıtta benzemeyen ve “stres yanıtı” adı verilen bir dizi hormonal, metabolik ve enflamatuvar yanıtlar ile karşılaşır. Bu strese fizyolojik yanıt, santral sinir sisteminde stres düzenleyici sistemlerin aktivasyonu ile hipotalamo-hipofizo-adrenal eksenin ve otonom sinir sisteminin uyarılmasını kapsamaktadır. Bu yanıt sonucu bu grup hastalarda gelişen hipermetabolik ve hiperkatabolik durum açlıktan farklı olarak yeterli nutrisyonel destek sağlanamazsa bu hastalarda hayati organlarda geridönüşümsüz hasara yol açabilmektedir. Bu nedenle nutrisyonel ve metabolik destek, yoğun bakım hastalarının tedavisinde önemli bir rol oynar.

Bununla birlikte nutrisyonel destek yan etki ve risk bakımından masum da değildir. Genellikle karbohidrat ve yağların fazla verilmesine bağlı olarak gelişen aşırı beslenme, mekanik ventilasyon süresini uzatabilir (1,2); hiperglisemi ve hepatik disfonksiyona sebep olabilir (1,3-10). Son yıllarda akut hipergliseminin kritik hastalarda uç-organ komplikasyonlarında artışa neden olan önemli bir risk faktörü olduğu ve oksidatif hasarı ile ilişkisi olup gliseminin kontrolü ile oksidatif stresin azaltılabildiğine dair güçlü deliller elde edilmiştir. Yetersiz beslenme ise malnutrisyona; malnutrisyon, immun cevapta bozulma ve buna bağlı olarak enfeksiyon riskinin artmasına (5), yara iyileşmesinde gecikmeye, cerrahi insizyon, sütür ve anastomozlarda komplikasyonlara (11-13), weaning güçlüğüne (11,14,15), hipoalbuminemi, ödem, gastrointestinal sistem bozukluklarına, kardiyak debi, myokardial kontraktile ve kompliansın azalmasına, metabolik asidoz ile iyileşme ve hastanede kalış süresinin uzamasına sebep olur (11). Yetersiz ve aşırı beslenme ile ilişkili bu spesifik morbidite ve mortalite yüzünden, vücuda gereken enerjinin sağlanmasında, enerji tüketimi baz alınmalı (16) ve gereksinimler gerçeğe en yakın şekilde saptanmalıdır (11).

İndirekt kalorimetre yöntemi ile enerji gereksiniminin belirlenmesi günümüzde altın standart olarak kabul edilmektedir. İndirekt kalorimetrenin kullanımı geçmişte araştırma sahalarında sınırlıyken, teknik gelişmeler taşınabilir ve güvenilir ekipmanların geliştirilmesini sağlamış ve indirekt kalorimetre klinik kullanımdaki yerini almıştır (17). Ancak, indirekt kalorimetre cihazlarının klinik pratikte kullanımı, pahalı olmaları, ölçümlerin standardize edilebilmesi için deneyimli personele ihtiyaç duyulması, ölçümlerin zaman alması(18), gibi nedenlerle yine de yaygın değildir. Bu nedenle, birçok yoğun bakım

ünitesinde, geniş çaplı hasta populasyonları üzerinde yapılan çalışmalarla elde edilmiş bazı ampirik formüller kullanılmaktadır. Fakat günümüzde değişik hasta populasyonları için geliştirilmiş çok sayıda formül mevcuttur. Yoğun bakımlarda tedavi gören çok değişik hasta gruplarında bu formüllerden hangisinin daha iyi olduğuna dair günümüzde fikir birliği mevcut değildir.

Biz bu çalışmada, mekanik ventilasyon uygulanan yoğun bakım hastalarında, indirekt kalorimetre metodu kullanılarak ölçülen ve günümüzde bu hasta popülasyonunda kabul görmüş ampirik eşitliklerden yaygın olarak kullanılan dört tanesi ile hesaplanan enerji tüketimi değerlerini karşılaştırıp, hangi eşitliğin yoğun bakım hastaları için daha doğru sonuç vereceğini; ölçülen enerji tüketimi ile hastalık şiddeti ve kullanılan inotropik ajan miktarları arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemeyi amaçladık.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. YOĞUN BAKIM HASTALARINDA BESLENME

Vücut fonksiyonlarının optimal şekilde devam ettirilmesi, yeterli ve dengeli nutrisyon desteğinin sağlanmasına bağlıdır. Nutrisyonel durum, hastanın immün fonksiyonları ve stres cevap oluşturabilmesi üzerinde anahtar bir rol oynar. Nutrisyonel entegrasyonun bozulması, terapötik girişimlerin maliyeti ve komplikasyon hızlarından hastanede kalış süresi ve mortaliteye kadar birçok sonucu etkiler (16).

Yaşamın sürdürülebilmesi için gerekli enerji, beslenme ile alınan substratların okside olmaları ile sağlanır. Bu enerjinin % 40-50'si ısıya dönüşerek kayba uğrarken, diğer kısmı enerji gerektiren hücrel reaksiyonlar, vital organların çalışması gibi internal işler veya fiziksel aktivite gibi eksternal işler için değerlendirilir. Tüm bu faaliyetlerde harcanan enerjiye Toplam enerji tüketimi (TET) adı verilir. Bazal enerji tüketimi (BET), yaklaşık 12 saat gıda almayan, optimal çevresel koşullarda fiziksel ve psikişik aktivitede bulunmayan bireyin harcadığı enerjidir (11).

Metabolik stres, kafa travması, uzun kemik kırığı gibi majör travma, vücudun % 25' inden fazlasında üçüncü derece yanık, torakoabdominal cerrahi, pulmoner enfeksiyon, sepsis veya herhangi bir aktif sistemik enflamasyonu içeren birçok sebepten dolayı ortaya çıkabilir. Sıklıkla, birden fazla metabolik stres formu bir arada olabilir ve strese cevabı bozabilir veya azaltabilir. Metabolik stresin mevcut olduğu hastalarda, yoğun bakım periyodunda vital organlarda akut yetmezlik veya kronik uç-organ disfonksiyonu ya da her ikisi birden görülebilir. Özellikle kardiyopulmoner, renal veya hepatik sistemlerin akut veya kronik hastalıkları klinik durumu komplike hale getirir ve nutrisyonel desteğin hastalığa göre modifikasyonunu gerekli kılar (19).

Travma, enfeksiyon veya cerrahi gibi etkenlerin neden olduğu hasarlar sonucunda oluşan metabolik değişiklikler ilk kez Cuthbertson (20) tarafından tanımlanmıştır. Bu metabolik değişiklikler iki fazda oluşur: Yaralanmayı takiben ortaya çıkan ve 24-48 saat süren "ebb" fazı hipovolemik şok tablosu ile karakterizedir. Kardiyak output azalır, kan basıncı düşer, doku perfüzyonu, oksijen tüketimi ve metabolik hızda azalma görülür. Hemodinamik stabilite sağlandıktan sonra, ebb fazı yerini metabolik hızda belirgin artış ve katabolizma ile seyreden "flow" fazına bırakır. Yaralanma sonrası daha ileri dönem de ise anabolik yanıt baskın hale gelir (20).

Katabolik faz ya da "flow" fazında enerji harcamasında artış ve vücut proteinlerinin hızla kaybı söz konusudur. Bu dönem de yükselen katekolamin, glukagon gibi stres hormon düzeyleri ve insülin düzeyinin düşmesi protein parçalanmasını, lipolizi ve

glukoneogenezi arttırır. Ağır metabolik stres sürecinde vücutta bulunan glukojen depoları bir kaç saat içinde tükenir, iskelet kası yapısındaki proteinlerin parçalanması ile glukoneogenez ve karaciğerde artmış olan akut faz proteinlerinin yapımı için substrat oluşturulur. Bu protein parçalanması sonucu vücuttan, gün de 10-15 g azot kaybedilir (20).

Bu katabolik yanıt, uzun süreli açlık durumlarında görülenden oldukça farklıdır. Açlık durumunda metabolik hız düşerek vücut proteinleri korunmaya çalışılır, protein yıkımının önüne geçmek için yağların enerji üretiminde kullanımı baskındır ve zamanla glukoz yerine karaciğerde üretilen keton cisimlerinin kullanımı ön plana geçer. Açlık durumunda, beslenme desteğinin başlaması ile vücut yapısındaki değişiklikler engellenebilir, ancak katabolik hastalarda beslenme desteği tek başına vücut proteinlerinin yıkımını durdurmaz, ancak azaltabilir.

Akut bir yaralanması olan kritik hastanın kanında interlökin-1, interlökin-6 ve tümör nekroz faktörü gibi pek çok farklı sitokin bulunur. Bu sitokinler, anoreksi, ateş, lökositoz, plazma eser elementleri ve minerallerinin redistribüsyonu, hipoalbuminemi ve akut faz proteini yapımına neden olurlar.

Sepsis, travma gibi kritik durumlarda vücut yapısı ve metabolizma açısından meydana gelen değişiklikler Plank ve Hill'in çalışmasında gösterilmiştir (21). Bu çalışmada, araştırmacılar, hastaların enerji gereksinimlerinde, özellikle yaralanmayı takip eden ilk beş günden sonra belirgin artışlar olduğunu, yapısal protein düzeyleri düşerken, akut faz proteinlerinin arttığını göstermişlerdir. Meydana gelen katabolik durum yağsız vücut kitlesinin önemli düzeyde azalmasına neden olur.

Enerji gereksiniminin doğru belirlenmesi, nutrisyonel destek alan hastalarda metabolik ihtiyaçların karşılanması ve aşırı veya yetersiz beslenme komplikasyonlarının önlenmesi için temel teşkil eder (1,22,23). Genellikle karbohidrat ve yağların fazla verilmesine bağlı olarak gelişen aşırı beslenme CO₂ üretimini (3,4) artırır. Bunun sonucu hastanın normal arteriyel kan gazı değerlerini sağlamak için dakika ventilasyonunu artırması gerekir. Solunum sıkıntısı bulunan hastalarda bu durum tabloyu daha da ağırlaştırır (1) ve mekanik ventilasyon süresini uzatabilir (1,2). Yine aşırı beslenme hiperglisemi, hiperlipidemi ve hepatik disfonksiyona (1,3-10) ve elektrolit imbalansına (23) sebep olabilir.

Günümüzde, kritik hastalığı bulunan hastaların akıbetleri üzerine hipergliseminin zararlı etkilerinin olduğunu destekleyen güçlü deliller vardır. Bu deliller plazma glukoz konsantrasyonunu azaltan yoğun insülin tedavisinin sadece yoğun bakım ünitesinde tedavi gören diabetes mellituslu hastalarda değil aynı zamanda diabetes mellitusu bulunmayan ve

akut koroner rahatsızlığı veya diğer kritik rahatsızlığı bulunanlarda da morbiditeyi azalttığı gözlemine dayanmaktadır. Fakat mortalite ve komplikasyon oranlarının azalmasında insülin tedavisinin kendisinin mi, hipergliseminin azalmasının mı etkili olduğu konusunda hala tartışmalar vardır. Yüksek insülin konsantrasyonları, intraselüler glukoz ve potasyum transportunun stimülasyonu veya endotel seviyesinde meydana getirdiği değişikliklerle etkili olabilir. Aynı zamanda hipergliseminin hücrenin oksidatif hasarı ile ilişkisi olduğunu ve gliseminin düşürülmesi ile oksidatif stressin azaltılabildiğini gösteren güçlü deliller de mevcuttur. Yanık hasarı oluşturulan tavşanlarda yapılan önemli bir çalışmada insülinin etkileri ve azalmış glisemi seviyeleri eşzamanlı olarak myokard, karaciğer, böbrek endotellerinin monitörizasyonu ve lökosit fonksiyonları ile değerlendirilmiştir. Her iki faktörün de lökosit ve myokardiyal fonksiyonların iyileşmesinde etkin olduğu görülürken karaciğer, böbrek ve endotelial fonksiyonların düzelmesinde yüksek insülin seviyelerinden ziyade gliseminin azalmasının sorumlu olduğu gözlenmiştir. Glisemi ve komplikasyonlar arasındaki bu açık ilişki sebebiyle insülin tedavisinin yanında gliseminin azalmasına neden olabilen diğer farmakolojik yaklaşımlar da hastaların iyileşmesinde faydalı olabilir (24-26).

Yetersiz beslenme ise malnutrisyona; malnutrisyon, immun cevapta bozulma ve buna bağlı olarak enfeksiyon riskinin artmasına (5), yara iyileşmesinde gecikmeye, cerrahi insizyon, sütür ve anastomozlarda komplikasyonlara (11-13), solunum epitelinin rejenerasyonunda azalmaya (3), solunum kas güçsüzlüğüne, solunum fonksiyonlarında bozulma ve weaning güçlüğüne (11,14,15), hipoalbuminemi ve buna bağlı olarak kan onkotik basıncında azalma ile ödeme, gastrointestinal sistem bozukluklarına, kardiyak debi, myokardiyal kontraktilite ve kompliansın azalmasına, metabolik asidoza, iyileşme ve hastanede kalış süresinin uzamasına (11) ve mortalitede artışa (27) sebep olur.

Tüm bu nedenlerden dolayı beslenme desteği mümkün olan en kısa zamanda başlamalıdır. Günümüzde genel eğilim desteğin, ilk resüsitasyon girişimleri bitip hastaların genel durumlarının dengeli bir hale getirilmesinden hemen sonra başlanması yönündedir.

Beslenme desteğinde amaç, hastanın enerji ve tüm besin gereksinimlerinin sağlanmasıdır. Bu besin gereksinimleri 1) karbohidrat 2) protein; 3) yağlar 4) elektrolit ve mikrobeseinler ile sudur.

Karbohidrat ana enerji kaynağıdır. Beslenme desteğinde enerjinin % 50-70'i genelde karbohidratlardan karşılanır. Yoğun bakımlarda karbohidrat olarak yaygın şekilde glukoz kullanılır. Vücutta glukozun kullanım hızı 5 mg/kg/dakika' yı geçmemelidir. Daha yüksek hızlarda glukoz verilmesi, lipojenez ve hiperglisemi sonucu komplikasyonlara ve karbondioksit üretiminde artışa neden olacağından glukozun tek enerji kaynağı olarak

kullanılmasından kaçınılmalıdır.

Yağlar enerji açısından çok etkin bileşikler olmanın yanında, vücutta üretilmeyen esansiyel yağ asitlerinin sağlanması için de önemli bir kaynaktır. Bu nedenle hastaya verilecek enerjinin bir bölümü yağlardan karşılanmalıdır. Ancak, yağlar günde 2 g/kg'dan daha yüksek dozlarda kullanılmamalıdır. Parenteral yağ emülsiyonlarının bir kısmı soya yağından elde edilir ve çok miktarda esansiyel yağ asidi bulunur. Bu ürünlerin kullanımı ile immün sistemin baskılanması ve oksidatif stresin artması gibi sorunlar oluşabilir. Soya yağı yerine zeytinyağı veya balık yağı içeren yeni yağ emülsiyonlarının kullanılması ya da birlikte kullanımı ile immün sistem fonksiyonunun düzeltilebileceği, inflamatuvar cevabın düzenlenebileceği ve antioksidan etki sağlanabileceği ileri sürülmüştür (28,29).

Aminoasitler azot kaynağı olarak kullanılır. Aminoasit solüsyonları genellikle hem esansiyel hem de esansiyel olmayan aminoasitleri içeren dengeli solüsyonlardır. Kritik hastalarda günlük gereksinim 1.5-2 g/kg düzeyindedir. Başka bir deyişle bu hastalarda günlük kalori/azot oranı 150/1 olmalıdır. Koşullu esansiyel aminoasit olarak kabul edilen glutaminin enteral veya parenteral yoldan verilmesi ile yapılan çalışmalarda belirgin fizyolojik yararlar sağlanabildiği gösterilmiştir. ESPEN (European Society of Parenteral Enteral Nutrition) enteral beslenme rehberinde yanık ve travma hastalarında kullanılması A düzeyi kanıtlarla önerilmiş; ancak heterojen ve cerrahi kritik hastalarda kullanımı ile ilgili yeterli kanıt olmadığı bildirilmiştir (30).

Beslenme uygulamasında hastaların günlük gereksinimlerini karşılamak üzere, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve fosfor gibi elektrolitler, vitaminler ve çinko, selenyum, bakır gibi eser elementler de mutlaka sağlanmalıdır. Bu mikro besinlerin eksikliği, uzun süren TPN uygulamalarında karşılaşılabilecek bir sorundur ve TPN uygulamalarında bunların sağlanması unutulmamalıdır. Enteral beslenme solüsyonları ise içerik açısından TPN'ye oranla daha dengelidirler ve yeterli düzeyde beslenen hastalarda ek bir uygulama gerektirmezler.

Yoğun bakım hastalarında beslenme desteği için seçilecek yol, uzun yıllardır tartışılmaktadır. Nutrisyonel destek alan kritik hastalığı bulunan hastaların % 33 ile % 92'si de enteral nutrisyon, % 12 ile % 71'inde parenteral nutrisyon kullanılır (31). ESPEN enteral beslenme rehberinde, mevcut çalışmaların enteral beslenmenin parenteral beslenme ile karşılaştırıldığında maliyet düşüşü dışında belirgin bir avantajı olmadığını gösterdikleri bildirilmiştir (30).

Yoğun bakım hastalarında günlük kalori gereksinimi, değişik eşitliklerle veya vücut ağırlığına göre kalori belirlenmesi ile hesaplanabilir; ya da indirekt kalorimetre metodu ile ölçülebilir. Enerji alımı hesaplanırken proteinin de dahil edilip edilmemesi ise tartışmalıdır.

2. 2. İNDİREKT KALORİMETRE

İndirekt kalorimetre, inspire edilen ve ekspire edilen gaz akımları, volümleri ve konsantrasyonlarının ölçümlerini kullanarak oksijen tüketimi ve karbondioksit üretimini hesaplayan bir tekniktir. Oksijen tüketimi ve harcanan kalori, inhale ve ekshale edilen gazların direkt ölçümü ve bunların kompüterize metabolik bir kartla analiz edilmesi ile belirlenir. Enerji ihtiyacı ve respiratuar katsayı ölçülen değerlerden hesaplanır. Aksine direkt kalorimetre enerjii kişinin ısı üretiminden ölçer. Bu, kişinin ölçüm boyunca teknik olarak izole edilmesini gerektirdiğinden (19) yoğun bakım şartlarında uygulanması gerçekten zordur. Bu nedenle indirekt metod noninvaziv ve güvenilir bir metoddur ve yoğun bakımda enerji tüketiminin belirlenmesinde altın standart indirekt kalorimetre yöntemidir (32,33).

İndirekt kalorimetrenin yoğun bakımdaki primer rolü enerji tüketimi ve nutrisyon ihtiyacının belirlenmesidir. İndirekt kalorimetre aynı zamanda şokta O_2 tüketimini ölçmek için de kullanılır.

İndirekt kalorimetrenin doğruluğu vücut O_2 , CO_2 ve N_2 havuzlarının boyutlarına bağlıdır. Vücudun O_2 depoları kısıtlı olduğundan oksidatif metabolizmadaki değişiklikler ekshale edilen O_2 konsantrasyonlarına hızla yansır; bununla birlikte, CO_2 ve N_2 üretimindeki büyük ve akut değişiklikler tamponlanabilir ve yansması gecikebilir. Bu yüzden ölçümler, CO_2 için en az 30 dakika ve N_2 için 24 saat olmalıdır (17).

2.2.1. İndirekt Kalorimetrenin Teorik Temelleri

İndirekt kalorimetre sistemlerinin esası inhale ve ekshale edilen gazların akım, volüm ve O_2 , CO_2 konsantrasyonlarının ölçülmesine dayanır. İndirekt kalorimetre sistemleri açık-devre sistemler (inspire ve ekspire edilen gaz konsantrasyonları arasındaki farkı ölçer) ve kapalı-devre sistemler (sabit bir rezervuardaki gaz değişim miktarını ölçer) olarak sınıflandırılır. Yoğun bakımlarda en sık kullanılan open-circuit sistemleridir.

İnsan vücudu için yakıt olarak kullanılan kimyasal enerji doğrudan, karbohidrat, protein ve yağların oksidasyonu ile oluşan adenosin trifosfattan (ATP) sağlanır. Vücudun ATP depoları sınırlı, ancak üretim ve tüketimi sabit, yüksek miktarda ve dengelidir. İndirekt kalorimetre, karbohidrat, protein ve lipidlerin ATP üretimi için okside olması sırasında kullanılan O_2 (VO_2) ve üretilen CO_2 (VCO_2)' i ölçer. Bu nedenle üretilen kimyasal enerji, ölçülen gaz değişim parametreleri ile indirekt olarak ölçülür.

Çoğu indirekt kalorimetre sisteminde enerji tüketimi (ET) modifiye Weir eşitliği ile hesaplanır:

$$ET = 3.9 (VO_2) - 1.1 (VCO_2) - 217 (UNg / gün)$$

Weir eşitliği ölçümlerden değil, fizyolojik faktörlere dayandırılarak matematiksel olarak elde edilmiş bir eşitliktir:

- a- ET = Karbohidrat, yağ ve proteinlerin yakılması ile elde edilen enerjinin toplamıdır.
- b- 1 gr. glukozun metabolizması için 3.7 kcal, yağ için 9.5 kcal protein için 4.1 kcal enerji gerekir.
- c- Bu yakıtların hepsi için kullanılan O₂ ve üretilen CO₂ bilinmektedir.
- d- Bu nedenle ET eşitliği bu yakıtların stokiyometrisini tanımlayan eşitlikler sisteminin çözümlenmesi ile O₂ tüketimi ve CO₂ üretimi üzerinden belirlenir. Pratikte, idrar nitrojeni ölçümü uygun olmadığından ve ET' ne etkisi minimal olduğundan çoğu kez gözardı edilir.

2. 2. 2. Oksijen Tüketiminin Hesaplanması

İndirekt kalorimetrenin temel ölçümleri inspire edilen O₂ fraksiyonu (FIO₂), ekshale edilen O₂ fraksiyonu (FEO₂), inspire edilen CO₂ fraksiyonu (FICO₂) ve ekshale edilen CO₂ fraksiyonu (FECO₂) ile dakika ventilasyonudur. O₂ tüketimi ve CO₂ üretimi inspire (I) ve ekshale (E) edilen gazlar arasındaki fark ile benzer formüller üzerinden hesaplanabilir:

$$O_2 : VO_2 = VI (FIO_2) - VE (FE O_2)$$

$$CO_2 : VO_2 = VI (FEO_2) - Vi (FI CO_2)$$

İnspire ve ekshale edilen gaz konsantrasyonu ve volümlerinin ölçümüne ihtiyacı ortadan kaldırmak için sadece ekshale edilen gaz ölçümlerini yapan teknikler geliştirilmiştir. Bu şekilde çalışan sistemler sadece ekshale edilen volümleri ölçerek inhale volümleri matematiksel olarak hesaplarlar. VE ve VI arasındaki matematiksel ilişki Haldane transformasyonu ile açıklanır. Burada Nitrojen (N) inert gaz olarak kabul edilir.

$$VI \times FIN_2 = VE \times FEN_2$$

$$VI = VE \times FEN_2 / FIN_2$$

$$FIO_2 + FIN_2 = 1 \quad \text{ve} \quad FEO_2 + FECO_2 + FEN_2 = 1 \quad \text{olduğundan}$$

$$FIN_2 = 1 - FIO_2,$$

$$FEN_2 = 1 - FECO_2 - FEO_2$$

Baştaki eşitliğe döndüğümüzde

$$VI = VE \times \frac{(1 - FECO_2 - FEO_2)}{1 - FIO_2}$$

$$1 - FIO_2$$

İnspire edilen O₂ arttıkça, payda azalır ve inspire edilen ve ekshale edilen gaz volümleri arasındaki fark artar. Bu nedenle, Haldane eşitliği inspire edilen volümü ölçmeksizin VI'u hesaplamak için kullanılır. Dolayısıyla Haldane eşitliğinin doğruluğu, FIO₂ ve VE'nin doğru ölçülmesine bağlıdır.

Bunlarda oluşan herhangi bir hata enerji tüketiminin hesaplanmasına çok büyük farkla yansır. Bu yüzden analiz sisteminde kaçak olmamalı ve doğru sensörler kullanılmalıdır. Çoğu O₂ sensörünün doğruluğu yüksek FIO₂'lerde azaldığından indirekt kalorimetre çalışmaları genellikle % 60 veya daha az O₂ ile sınırlanmıştır. Bazı sistemler in vitro olarak yüksek O₂ seviyelerinde de güvenli bulunsa da; erişkin yoğun bakım hastalarında yapılan klinik araştırmalarda yüksek FIO₂ değerlerinde hiçbir sensörle doğru sonuç elde edilememiştir (34,35).

2. 2. 3. Substrat Kullanımının Hesaplanması

İndirekt kalorimerte, temel enerji kaynaklarının her biri için ne oranda enerji tüketildiğini hesaplamak amacıyla da kullanılır. CO₂ üretimi ve O₂ tüketimi hesaplandıktan sonra, bunların arasındaki ilişki ve protein metabolizmasının ölçümü, yağlardan ve karbohidratlardan elde edilen kaloringin yüzdesini matematiksel olarak hesaplamak için kullanılabilir. Bu hesaplamada kullanılan eşitlikler :

$$\text{Karbohidrat (g)} = 4.113 \text{ VCO}_2 - 2.907 \text{ VO}_2 - 2.544 \text{ UN (g/gün)}$$

$$\text{Yağ(g)} = 1.689 (\text{VCO}_2 - \text{VO}_2) - 1.943 \text{ UN (g/gün)}$$

$$\text{Protein (g)} = 6.25 (\text{UN} + 4) \text{ (g/gün) (36).}$$

2. 2. 4. Ekipman ve Teknik

Açık-devre indirekt kalorimetre sistemlerinin temel komponentleri bir O₂ analizörü, bir CO₂ analizörü ve bir flowmetredir.

Oksijen sensör sistemleri ya zirkonyum ya da diferansiyel paramagnetik sensörlerdir. Zirkonyum oksid sensörleri O₂ geçirgen bir madde ile kaplıdır. Yaklaşık 800° C' de O₂ bu tabakadan geçer ve parsiyel O₂ basıncı ile orantılı elektrik sinyalleri oluşturur (2,11). Diferansiyel paramagnetik analizörler ise inspiyum ve ekspiyum hatlarındaki gaz konsantrasyonları arasındaki farkı ölçerler. Bu analizörler % ± 0.02 doğruluğa sahiptir ve cevap süreleri 130 milisaniye veya daha azdır. CO₂ analizörleri ise infrared cihazlardır. İnfrared enerji yolundan geçen bir gaz örneği CO₂ konsantrasyonu ile orantılı bir elektrik sinyal değişikliği oluşturur. Bunların da doğruluğu % ± 0.02' dir ve cevap süreleri 110 msn'dir.

Volüm, flow ölçümünden belirlenirken, flow genellikle bir mass flow sensor veya enzimatik sensor ile ölçülür.

Gaz konsantrasyonu ise üç metoddan biri ile ölçülür: Karıştırıcı bölme, soluktan soluğa ve dilüsyon. Tüm bu teknikler için iyi bir kalibrasyon prosedürü gereklidir; bununla birlikte, yeni cihazların çoğunda bunlar otomatik olarak yapılır (17).

2. 2. 4. 1. Karıştırıcı Bölme Metodu:

Bu en iyi metodudur 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 örnekte gaz konsantrasyonu belirlenir ve örnek kutuya döner. İnspire edilen gaz konsantrasyonları ağız parçası veya ventilatörün inspiyum kısmından alınır. İnspire edilen volümler matematiksel olarak hesaplanır. Bilgisayar ile ekspiryum ve inspiyum konsantrasyonu karşılaştırılır ve volümle çarpılarak üretim veya tüketim hesaplanır. Sonuçlar belli bir zaman içinde karışmış gazların değerlerini yansıtır (17).

2. 2. 4. 2. Soluktan–Soluğa Metodu:

Bu metod karıştırıcı bölme metoduna benzer ancak her soluk analiz edilir. Her inspiyum ve ekspiryum ile elde edilen gaz örnekleri her soluğun flow'u ile eşlenerek VO_2 , VCO ve ETölçümü yapılır. Belirli aralıklarla yapılan bu ölçümlerin ortalamaları alınır. Bunların ölçüm değerleri VO_2 , VCO₂ için ml/dk, ET için kcal/gün'dür (17).

2. 2. 4. 3. Dilüsyon Metodu:

Hem entübe hem de entübe olmayan 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 (17).

2. 3. ENERJİ TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN FORMÜLLER

İndirekt kalorimetre cihazlarının klinik pratikte kullanımı, endotrakeal tüp veya bağlantı yerinde kaçak olabilmesi, örnekleme hatlarının ince olması nedeniyle hasta sekresyonlarıyla kolayca tıkanabilmesi, ölçümlerin standardize edilebilmesi için deneyimli personele ihtiyaç duyulması, pahalı olmaları, ölçümlerin zaman alması (17,18) gibi nedenlerle yaygın değildir. Bu nedenle, klinisyenler hastaların enerji tüketimlerini belirlemede bir takım formüllerden faydalanırlar. J. Arthur Harris ve Francis G. Benedict 1919'da 136 sağlıklı erkek ve 103 sağlıklı kadının 12 saatlik açlıktan sonra, bazal metabolizma hızlarını ölçmüşler ve verilerini regresyon analizi kullanarak değerlendirmişlerdir. Sonuçta her iki cinsiyet için vücut ağırlığı, yaş ve boyu içeren

bağımlı değişkenlere dayalı ilk ve bugün de en yaygın olarak kullanılan eşitlikleri oluşturmuşlardır (37) (Tablo I).

Bu tarihten sonra literatürde 40 farklı araştırmacının, 138 formülü yayınlanmıştır (38). Swinamer ve ark. (39), 52 tanesi travma hastası olmak üzere 112 hastaya yoğun bakıma kabullerinin birinci ve ikinci günlerinde 30 dakika süreyle indirekt kalorimetre ölçümü yapmışlar ve VYA, yaş, vücut ısısı, solunum hızı ve tidal volümün ölçülen enerji tüketimi (ÖET) ile sıkı bir korelasyonunun olduğunu bulmuşlardır (Tablo I).

1992’ de Ireton-Jones ve ark. (40) Haris ve Benedict’in kullandıklarına benzer istatistiksel yöntemler kullanarak ventilatör desteği alan hastalar için bir enerji tüketimi hesaplama formülü oluşturmuşlardır. 200 hasta üzerindeki çalışmalarını ile elde ettikleri formülü 100 hastalık benzer bir hasta grubunda da doğrulamışlardır.

Son yıllarda popülarite kazanan Schofield Eşitliği (41), Harris-Benedict Eşitliği de dahil olmak üzere enerji tüketimini hesaplamak için formüllerin geliştirildiği, toplam 4700 hastalık (3500 erkek, 1200 kadın), 100 çalışmanın metaanalizi sonucunda elde edilmiştir (Tablo I).

Tablo I. Enerji tüketiminin hesaplanmasında kullanılan formüller

(ET: enerji tüketimi [kcal], VA: vücut ağırlığı [kg], B: boy [m], Y: yaş [yıl], c: cinsiyet [erkek=1. kadın=0], t: travma [var= 1. yok= 0], y: yanık [var= 1. yok= 0], VYA: vücut yüzey alanı [m²], a: ateş [C°], SS: solunum sayısı [solunum/ dk] , V_t: tidal volüm [L/ dk])

Harris –Benedict Eşitliği:

$$\text{Erkek ET} = 66.4730 + 13.7516x(\text{VA}) + 5.0033x(\text{B}) - 6.7550x(\text{Y})$$

$$\text{Kadın ET} = 655.0955 + 9.5634x(\text{VA}) + 1.8496x(\text{B}) - 4.67561x(\text{Y})$$

Schofield Eşitliği:

ET=

YAŞ	ERKEK	KADIN
18-29	15.1 (VA) + 692	14.8 (VA) + 487
30-59	11.5 (VA) + 873	8.3 (VA) + 846
60-74	11.9 (VA) + 700	9.2 (VA) + 687
+ 75	8.4 (VA) + 820	9.8 (VA) + 624

Ireton – Jones Eşitliği:

$$\text{ET} = 5x(\text{VA}) - 10x(\text{Y}) + 281x(\text{c}) + 292x(\text{t}) + 851x(\text{y}) + 1925$$

Swinamer Eşitliği:

$$\text{ET} = 945x(\text{VYA}) - 6.4x(\text{Y}) + 108x(\text{a}) + 24.2x(\text{SS}) + 81.7x(\text{V}_t) - 4349$$

Enerji tüketiminin hesaplanmasında yaşanan en büyük sorun hastalığın patolojisi ve kliniğine göre ne oranda düzeltme yapılacağı konusudur. Çünkü değişik hastalık durumlarında enerji gereksiniminde ne kadar artış olacağı konusunda fikir birliği yoktur (11,32). Birçok faktör enerji tüketimini etkiler (Tablo II) (32).

Tablo II: Enerji tüketimini etkileyen faktörler (*ET: enerji tüketimi*)

ET' ni artıran sebepler	ET'ni azaltan sebepler
Ateş	Sedasyon
Hatanın durumu	Anestezi
Renal replasman tedavisi	Nöromusküler blok
Cerrahi	Hipotermi
Anormal kayıplar (fistül vs)	Açlık
Enfeksiyon	Hareket azlığı
Ağrı	İnotropik ajanlar

Hastalık durumlarında genel olarak enerji tüketimi % 20-50 oranında artar. Yoğun bakım hastaları için Harris-Benedict eşitliğine eklenen düzeltme çarpanları geniş bir spektruma sahiptir. Febril hastalıklarda her 1° C ısı artışı için enerji tüketiminde % 10-12. karaciğer hastalığı ve pankreatitte % 30-40 artış olur (11). Sepsisli hastalarda 1.8-1.9 oranında düzeltme çarpanı kullanılmıştır (42,43). Travma hastalarında ise 0.9, 1.2 ve 1.55 gibi farklı oranlar bildirilmiştir (44,45). Evre I ve II subaraknoid kanamalar için 1.36. daha ciddi subaraknoid kanamalarda ise 1.71 çarpanları kullanılmış; sedasyon ve nöromusküler blokaj olsa da enerji tüketiminin 1.3-1.35 arttığı bildirilmiştir (46,47). Aynı hastalık durumlarında farklı düzeltme faktörlerinin kullanılmasının sebebi hastalık tanımlaması ve hasta popülasyonundaki değişikliklere bağlanmıştır (32). Yapılan çalışmalarda, kritik hastalarda 1.1-1.6 oranında düzeltmelerin doğruluğu artırdığı bildirilmiştir (48-50).

Genel olarak, kritik hastalar için enerji tüketimi; bazal enerji tüketimine aktivite, hastalık stresi ve termal faktörlerin eklenmesiyle hesaplanır ve bu faktörler Long faktörleri olarak bilinir (42). Long faktörleri Tablo III' te özetlenmiştir.

Tablo III: Enerji tüketiminin hesaplanmasında kullanılan Long faktörleri

AF (Aktivite Faktörü)		SF (Stres Faktörü)	
Yatakta	1.1	Komplikasyonsuz hasta	1.0
Yatakta. fakat hareketli	1.2	Postoperatif dönem	1.1
Hareketli	1.3	Kırıklar	1.2
TF (Termal Faktör)		Sepsis	1.3
38°C	1.1	Peritonit	1.4
39°C	1.2	Multipl travma	1.5
40°C	1.3	Yanıklar % 30-50	1.6
41°C	1.4	Yanıklar % 50-70	1.7
		Yanıklar % 70-90	1.8

2. 4. BASİTLEŞTİRİLMİŞ AKUT FİZYOLOJİK SKORLAMA II (SAPS II)

SAPS II, daha önceleri kullanımda olan SAPS (Basitleştirilmiş Akut Fizyolojik Skorlama)' ın geliştirilmiş şeklidir (11). Oniki ülkede, 137 cerrahi ve medikal yoğun bakım ünitesinde yatan 13152 hastada yapılmış uluslararası bir çalışma sonucu elde edilen bir skorlama sistemidir. Yaş, yoğun bakıma kabul şekli (planlanmış cerrahi, planlanmamış cerrahi veya medikal), altta yatan üç hastalık değişkeni (edinilmiş immün yetmezlik, metastatik karsinom veya hematolojik malignite) ile major sistemlere ait 12 fizyolojik verinin puanlanması ile elde edilir (Tablo IV). Toplam puan 0-163 arasında değişir. Primer tanının ne olduğuna bakılmaksızın ölüm riskini belirlemeye olanak sağlar (52). Puan arttıkça hastanın durumu ciddileşir (11,52).

Tablo IV: Basitleştirilmiş Akut Fizyolojik Skorlama II (SAPS II)

Geliş Şekli				Yaş			Vücut Isısı		
Cerrahi planlanmamış	8	<40	0	70-74	15	<39°C (<102.2°F)	0		
Medikal	6	40-59	7	75-79	16	>=39°C (>=102.2°F)	3		
Cerrahi planlanmış	0	60-69	12	>=80	18				
Serum üresi veya BUN				Sodyum (mEq/L)			Kronik Hastalık		
Mmol/L	Mg/dL	Gr/L				Yok	0		
<10	<28	<0.6	0	>=145	1	Metastatik karsinom	9		
10-29.9	28-83	0.6-1.79	6	125-144	0	Hematolojik malignensi	10		
>=30	>=84	>=1.80	1	<125	5	AIDS	17		
0			0						
Sistolik Kan Basıncı (mmHg)				PaO2/FiO2(mmHg)			BK(hücre /mm ³)		
<70	13	<100			11	<1.000	12		
70-99	5	100-199			9	1.000-19.000	0		
100-199	0	>=200			6	>=20.000	3		
>=200	2								
HCO (mEq/L)				Glasgow Koma Skoru			Kalp Hızı (atım/dakika)		
<15	6	<6			26	<40	11		
15-19	3	6-8			13	40-69	2		
>=20	0	9-10			7	70-119	0		
		11-13			5	120-159	4		
		15			0	>=160	7		
İdrar çıkışı (L/24 saat)				Serum Potasyumu(mEq/L)			Serum Biluribini		
<0.5	11	<68.4	3		3	(µmol/L)	mg/dL		
0.0-99	4	68.4-102.5	3-4.9		0	<4	<4	0	
>=1	0	>102.6	>=5		3	68.4-102.5	4-5.9	4	
						>102.6	>=6	9	

2. 5. AKUT FİZYOLOJİK VE KRONİK SAĞLIK DEĞERLENDİRİLME SKORU II (APACHE II)

APACHE II, 13 hastaneden 5815 yoğun bakım hastasında tanısal değeri gösterilen bir hastalık şiddeti sınıflama sistemidir (53). Hastanın. genel durumu, yaşı ve 12 rutin fizyolojik ölçümünün. hastaneye kabulünü izleyen ilk 24 saat içindeki en kötü değerlerinin puanlanması ile elde edilir (Tablo V). Teorik olarak mümkün olan en yüksek APACHE II skoru 71 olmakla birlikte, 50' nin üzerinde pek görülmemektedir (11). Toplam skor mortalite ile paralellik gösterir (53).

Tablo V. Akut Fizyolojik ve Kronik Sağlık Değerlendirme Skoru II (*APACHE II*)

Vücut Isısı (°C)		Solunum Hızı (Soluk/dk)		AKG veya Serum HCO ₃ -(mmol/L)		Serum Potasyumu				
<=29.9	4	<=5	4	>=52-4	4	>=7-4	4			
30-31.9	3	6-9	2	41-51.9	3	6-6.9	3			
32-33.9	2	10-11	1	32-40.9	1	5.5-5.9	1			
34-35.9	1	12-24	0	22-31.9	0	3.5-5.4	0			
36-38.4	0	25-34	1	18-21.9	2	3-3.4	1			
38.5-38.9	1	35-49	3	15-17.9	3	2.5-2.9	2			
39-40.9	3	>=50	4	<15	4	>2.5-4	4			
>=41	4									
Hematokrit (%)		Yaş(yıl)		Ortalama Arter Basıncı (mmHg)		Arter PH'sı				
<20	4	<=44	0	<=49	4	>=7.7	4			
20-29.9	2	45-54	2	50-69	2	7.60-7.69	3			
30-45.9	0	55-64	3	70-109	0	7.50-7.59	1			
46-49.9	1	65-74	5	110-129	2	7.33-7.49	0			
50-59.9	2	>=75	6	130-159	3	7.25-73.2	2			
>60	4			>=160	4	7.15-7.24	3			
						<7.15	4			
FIO ₂ >=0.5:A-a D O ₂		WBC (x/10 ³ /mm ³)		Serum Kreatinini ABY		Serum Kreatinini ABY Olmaksızın				
(mmHg)	(kPa)	<1	4	(mg/dL)	(µml/L)	(mg/dL)	(µml/L)			
<200	<26.6	0	1-2.9	2	<0.6	<54	4	<0.6	<54	2
200-349	26.6-46.4	2	3-14.9	0	0.6-1.4	54-129	0	0.6-1.4	54-129	0
350-499	46.5-66.3	3	15-19.9	1	1.5-1.9	130-169	4	1.5-1.9	130-169	2
>=500	>=66.4	4	20-39.9	2	2-3.4	170-304	6	2-3.4	170-304	3
			>=40	4	>=3.5	>=305	8	>=3.5	>=305	4
Kalp Hızı		FIO ₂ <0.5:PaO ₂		Serum Na (mmol/L)		GKS				
<=39	4	(mmHg)	(kPa)	>=180	4	15	0	9	6	
40-54	3	<55	<7.3	4	160-179	3	14	1	8	7
55-69	2	55-60	7.3-8	3	155-169	2	13	2	7	8
70-109	0	61-70	8.1-9.3	1	150-157	1	12	3	6	9
110-139	2	>70	>9.3	0	130-149	0	11	4	5	10
140-179	3				120-129	2	10	5	4	11
>=180	4				111-119	3		3		12
					<=110	4				

2. 6. KATEKOLAMİNLERİN METABOLİZMA ÜZERİNE ETKİLERİ

Katekolaminlerin karbohidrat metabolizması üzerine etkileri esasen β_2 adrenoseptörler aracılığı ile olur (54-56). Etki güçleri ise direkt olarak β_2 adrenoseptör spesifiteleri ile ilişkilidir (57). Epinefrin ve isoproterenol en potent β_2 agonistlerdir. Dopamin, dobutamin ve dopeksamin zayıf β_2 adrenerjik stimülasyon özelliğine sahiptirler. Norepinefrin ise, yüksek plazma konsantrasyonlarında bile orta derecede bir potens gösterir (57).

Katekolaminler fizyolojik şartlarda, aerobik glikolizi ve hem glikojenoliz hem de glukoneogenez ile glukoz salınımını artırırken, insülin aracılı glikojenezi inhibe ederler (58). Tüm bu fenomenin sonucunda hiperglisemi oluşur (55). Oluşan hiperglisemik cevabın yanı sıra, katekolaminlerin kalorijenik etkileri olduğu da gösterilmiştir (58). Metabolik hızdaki artış, glukoz oksidasyon hızındaki artışa bağlı olarak (54) ortaya çıkan oksijen tüketimindeki artışa bağlıdır (59).

Ancak, yoğun bakım hastalarında, altta yatan metabolik stres, intravenöz katekolamin infüzyonuna cevabı belirgin olarak değiştirir. Patofizyolojik şartlarda, hem hastalığın hem de tedavinin etkisi altında olan major glukoneojenik organların metabolik kapasiteleri kadar, reseptör afinitesi ve yoğunluğu ile ilaç kinetiklerindeki değişiklikler nedeniyle de katekolamin stimülasyonuna metabolik cevabı tahmin etmek güçtür (58).

3. MATERYAL VE METOD

Bu prospektif çalışma, Selçuk Üniversitesi, Meram Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı, Reanimasyon Ünitesinde 2006-2007 yılları arasında gerçekleştirildi. Lokal etik kurul izni alındıktan sonra çalışmaya 18 yaş üzeri, mekanik ventilatör ihtiyacı olan, değişik patolojilere sahip 57 yoğun bakım hastası dahil edildi. $FI O_2 > 0.6$ ve $PEEP \geq 20$ cm H₂O olacak şekilde ventilatör desteği gerektiren, toraks tüpü olan, lobektomi veya pnömonektomi geçirmiş ve ampute ekstremitesi bulunan hastalar çalışma dışı bırakıldı. İndirekt kalorimetre ölçümü esnasında, $FI O_2 > 0.6$ veya $PEEP \geq 20$ cm H₂O'ya gereksinimi olan, ekstubasyon veya eksitus nedeniyle 24 saatlik ölçüm süresinin tamamlanamadığı ve RQ oranının fizyolojik sınırlar dışında ölçüldüğü hastalar çalışmadan çıkarıldı.

Reanimasyon ünitemize kabul edilip endotrakeal entübasyon uygulanan ve en az 24 saat mekanik ventilasyon gereksinimi olduğu düşünülen hastalarda hemodinamik stabilite sağlandıktan sonra, indirekt kalorimetre ölçümleri başlatıldı. Hastalar solunum yetmezliğinin sebebine uygun olarak asiste-kontrollü bir modda basınç veya volüm kontrollü olarak solutuldu. İndirekt kalorimetre ölçümleri yoğun bakıma kabülden sonraki ilk 24-48 saat içinde, kesintisiz 24 saat süre ile Datex Ohmeda S/5 hemodinamik monitörüne takılan M-CAiOVX modülü (Datex- Ohmeda, Finland) ile gerçekleştirildi (Şekil 1,2). Ölçümlerin 24 saat ortalamaları kaydedildi. Bütün hastaların ölçümleri ve kalibrasyon işlemi aynı araştırmacı tarafından üretici firma önerisine göre çalışmanın başlangıcında ve bundan sonra da altı aylık aralıklarla yapıldı. Ölçüm esnasında örnekleme tüpünde tıkanıklık ve kısa süreli trakeal aspirasyon girişimleri dışında devrelerden hava kaçağı yoktu.

M-CAiOVX modülü ile indirekt kalorimetre ölçümü için şekil x de gösterildiği gibi üretici firmanın önerisi doğrultusunda devamlı gaz örneği sağlayan D-parçası ve akım sensör ile bunları modüle bağlayan hatlar kullanıldı. Ölçümlerin doğru olması, artefakların önlenmesi ve geçiş zamanının standardize edilmesi için D-parçası endotrakeal tüpe en yakın mesafeye yerleştirildi (Şekil 3,4). Gaz örnekleme hattının uzunluğu 2 metre idi. Bu modül (M-CAiOVX) her solukta solunumsal gaz değişiminin ölçümünü doğru olarak yapabilmek için her soluk almada gerçekleşen akım ve volümler kadar “side stream” gaz konsantrasyonlarını da (CO₂ ve O₂) algoritmik olarak bütünleştirmektedir. Akım ve volümler D-parçası ve akım sensörleri tarafından belirlenirken CO₂ kızılötesi ışınla, oksijen ise hızlı bir paramanyetik sensör aracılığı ile ölçülmekteydi. Bu nedenle bu modülle yapılan ölçüm akım ve konsantrasyonun senkronize edilmesi ve gaz volümlerinin

hesaplanması sebebiyle üç aşamalı bir teknik olarak düşünülmektedir. Oksijen tüketimi (VO_2) ve CO_2 üretimi (VCO_2) başlangıçta inhale edilen miktardan ekshale edilen gaz miktarının çıkarılmasıyla hesaplanır. Bu da her volüm parçasının kendisine karşılık gelen gaz konsantrasyonu ile çarpılması sonucu elde edilir (Şekil 5):

$$VO_2 = \int FIO_2 dv - \int FEO_2 dv$$

$$VCO_2 = \int FICO_2 dv - \int FECO_2 dv$$

Volüm ölçüm sonuçlarını garantilemek için burada da Haldane transformasyonu uygulanır.

Solunum katsayısı (RQ). VO_2 / VCO_2 olarak belirlenir. Enerji tüketimi modifiye bir Haris- Benedict eşitliği ile hesaplanır: $EE = (5.5 \times VCO_2) + (1.76 \times VO_2) + (1.99 \times UN)$ kcal/gün (üre nitrojen ekskresyonunun erişkinler için 13g/gün olduğu kabulüyle) (60,61).



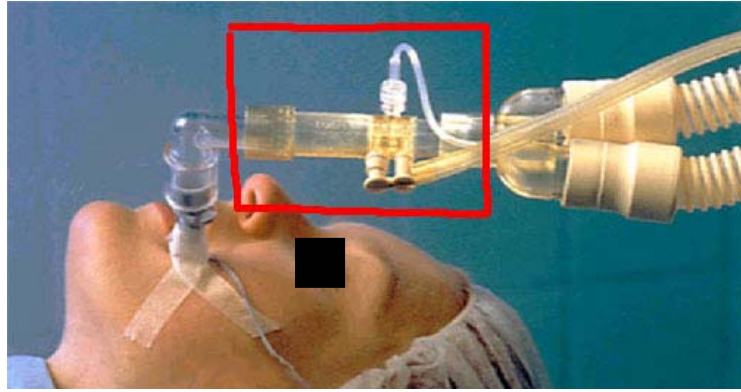
Şekil 1: Datex-Ohmeda monitöre entegre edilmiş M-CAiOVX modülü



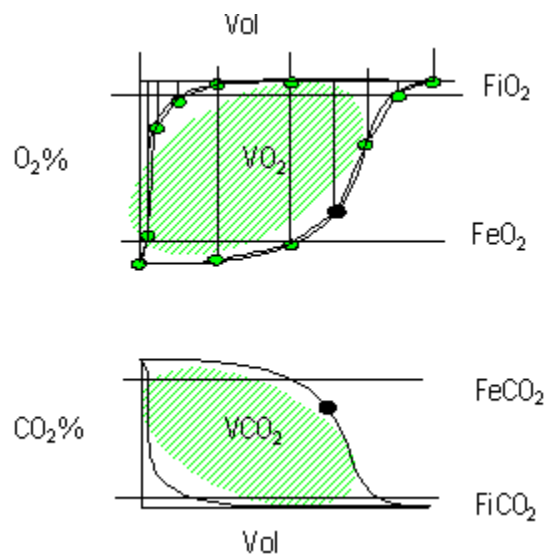
Şekil 2: M-CAiOVX modülü



Şekil 3: D-parçası, flow sensor ve gaz örnekleme hatları



Şekil 4: D- parçası ve flow sensorun örnekleme hatları ile hastaya bağlanması



Şekil 5: Volüme göre konsantrasyon hesaplanması

Hastalara yoğun bakım genel tedavi prensiplerine uygun olarak günlük vücut bakımları, pozisyon değişiklikleri gibi rutin hemşirelik bakımları yapıldı. Hastaların yaş, boy, vücut ağırlığı, vücut ısıları, tidal volüm, solunum frekansı ve ölçüm yapılan 24 saat için APACHE II ve SAPS II skorları (Tablo IV,V) ile bu süre içinde kullanılan toplam dopamin, dobutamin ve noradrenalin miktarları kaydedildi.

Bütün hastalara ventilatöre uyum sağlamak için Ramsey sedasyon skoru 3 olacak şekilde fentanil-dormicum ile sedasyon uygulandı. Hastalara ESPEN yoğun bakım beslenme klavuzu esas alınarak hedeflenen kalori miktarına üç günde çıkacak şekilde nutrisyonel destek sağlandı (30). Total parenteral nutrisyon bir santral kateter aracılığı ile hazır ticari ürünler ya da hasta ihtiyacına göre karıştırıcı ile hazırlanan solüsyonlarla yapılırken enteral beslenme için nazogastrik veya nazojejunal tüpler aracılığı ile verilen hazır standart ticari ürünler (1mL/1kcal) kullanıldı.

Boy ölçümü, hastalar supin pozisyonda iken yapıldı. Vücut ağırlıkları ağırlık ölçeği yataklar kullanılarak darası alındıktan ve kalibrasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra ölçülerek kaydedildi. Hastalar BMI'lerine göre zayıf (BMI <19), normal kilolu (BMI= 19 -24.9), kilolu (BMI 25 – 29.9) ve obez (BMI ≥ 30) olarak sınıflandırıldı. Obez ve zayıf hastalar için düzeltilmiş vücut ağırlıkları hesaplandı (51). Düzeltilmiş vücut ağırlığı için;

$$\text{İdeal vücut ağırlığı} \quad \rightarrow \mathbf{İVA = 22 \times \text{boy (m}^2\text{)} \quad (62)}$$

Kilolu ve obez hastalarda düzeltilmiş vücut ağırlığı

$$\rightarrow \mathbf{DVA = İVA + (\text{aktüel VA} - \text{İVA}) / 2}$$

Zayıf hastalarda düzeltilmiş vücut ağırlığı

$$\rightarrow \mathbf{DVA = (\text{İVA} + \text{aktüel VA}) / 2}$$

Hastaların vücut yüzey alanları(Du Bois formülü)

$$\rightarrow \mathbf{VYA = (\text{ağırlık}^{0.425} \times \text{boy}^{0.725}) \times 0.007184 \quad (51)}$$

formülleri kullanıldı.

Tüm parametreler elde edildikten sonra, Haris-Benedict (37) ve Schofield (41). Ireton-Jones(40) ve Swinamer (39) eşitlikleri ile enerji tüketimi hesaplandı (HET) (Tablo I). Harris- Benedict ve Schofield eşitliklerinden elde edilen HET değerleri, her hasta için sırasıyla 1.3. 1.6 oranında düzeltme faktörü ve ayrıca Long faktörlerinin eklenmesi ile yeniden hesaplandı. Swinamer eşitliği dışındaki formüllerde hem aktüel vücut ağırlıkları hem de kilolu ve obez hastalarla zayıf hastalar için düzeltilmiş vücut ağırlıkları kullanıldı. Swinamer Eşitliği'nde VYA, aktüel kilolarla hesaplandı.

Eşitliklerle elde edilen tüm değerlerin indirekt kalorimetre ile ölçülen ÖET ile uyumu Bland-Altman analizi ile değerlendirildi. Ayrıca, literatürde hedeflenen enerji miktarının <%80'i ile beslenme “yetersiz beslenme” ve > %110 ile beslenme “aşırı beslenme” olarak tanımlandığından, hesaplanan tüm HET değerleri için, %80 > ÖET > %110 aralığındaki hasta frekasları belirlendi.

Çalışmanın bir diğer hedefi hastalık şiddeti ile enerji tüketimi arasında ilişki olup olmadığını değerlendirmektir. APACHE II, SAPS II skorları ve kullanılan dopamin, dobutamin ve noradrenalin dozları ile MEE arasındaki korelasyon araştırıldı.

İstatistiksel analizler SPSS (versiyon 12.0.2003. SPSS Inc. Chicago.IL) ve MedCalc Software (Mariakerke. Belgium) kullanılarak yapıldı. İndirekt kalorimetre ile ölçülen enerji tüketimi (ÖET) değerleri ile eşitliklerle hesaplanan enerji tüketimi (HET) değerleri, kullanılan dopamin, dobutamin ve noradrenalin miktarları ve APACHE II ve SAPS II skorları arasındaki korelasyonlar Pearson Korelasyon Testi ile belirlendi. ÖET ile tüm eşitliklerle elde edilen HET değerlerinin uyumu Bland-Altman analizi (63) ile değerlendirildi. Pearson Korelasyon Testi için anlamlılık $p < 0.05$. Bland-Altman analizi için $p < 0.0001$ olarak kabul edildi. HET değerlerinden ÖET değerlerine göre < % 80. % 80-110. > % 110 olanların frekansı belirlendi. Tüm istatistik sonuçları ortalama \pm standart deviasyon (SD) şeklinde ifade edildi.

4. BULGULAR

Çalışmaya 57 hasta dahil edildi. Yedi hasta RQ oranının fizyolojik sınırlar dışında olması (<0.7 ya da > 1.3). 5 hasta ekstübasyon, 3 hasta exitus ve 2 hasta ölçüm sırasında $FIO_2 > 0.6$ olarak ayarlanması nedeniyle çalışma dışı bırakıldı. Sonuçta çalışma 40 hasta ile gerçekleştirildi. Bu hastaların demografik özellikleri Tablo VI'da özetlenmiştir.

Tablo VI: Hastaların demografik özellikleri

Özellik	Hasta sayısı	Ortalama \pm SD
Cinsiyet K	16	
E	24	
Yaş (yıl)	40	45.8 \pm 18.9
Boy (cm)	40	166.5 \pm 10.2
Vücut ağırlığı (kg)	40	73.9 \pm 15.6
BMI (kg/m ²)	40	26.7 \pm 5.7
VYA (m ²)	40	1.8 \pm 0.2
APACHE II	40	20.6 \pm 8.8
SAPS II	40	47.9 \pm 19.9
ÖET (kcal/gün)	40	2697.9 \pm 606.0
Dopamin (mcg/gün)	6	1089.0 \pm 276.9
Dobutamin (mcg/gün)	13	260.0 \pm 483.8
Noradrenalin (mcg/gün)	9	11.7 \pm 23.5

Bu hastaların;

- % 7.5 ($n=3$)'inin VKİ' i 20 kg/m²'nin altında,
- % 72.5 ($n=29$)'inin VKİ' i 20-30 kg/m² arasında,
- % 20 ($n=8$)'inin VKİ' i 30 kg/m²'nin üstünde idi,

VKI' i 20 kg/m²'nin altında ve 30 kg/m²'nin üstünde olan toplam onbir hasta için düzeltilmiş vücut ağırlıkları hesaplandı.

Hastaların primer tanıları göz önüne alındığında;

- % 30 ($n=12$)'u sepsis,
- % 20 ($n=8$)'si çoklu travma,
- % 17.5 ($n=7$)'i intrakranial kanama,
- % 12.5 ($n=5$)'i Gullian Barre Sendromu,
- % 10 ($n=4$)'u HELLP Sendromu,
- % 5 ($n=2$)'i Akut Myokard İnfarktüsü,
- % 2.5 ($n=1$)'i Hipertrofik kardiyomyopati,
- % 2.5 ($n=1$)'i Primer ARDS tanıları ile yoğun bakıma kabul edilmişlerdi.

Ayrıca sepsisli hastaların % 33.3 ($n=4$)' ü, intrakranial kanamalı hastaların % 28.5 ($n=2$)' i, multitravmalı hastaların % 25 ($n=2$)' i ve HELLP Sendromlu hastaların tamamı ($n=4$) postoperatif dönemdeydiler.

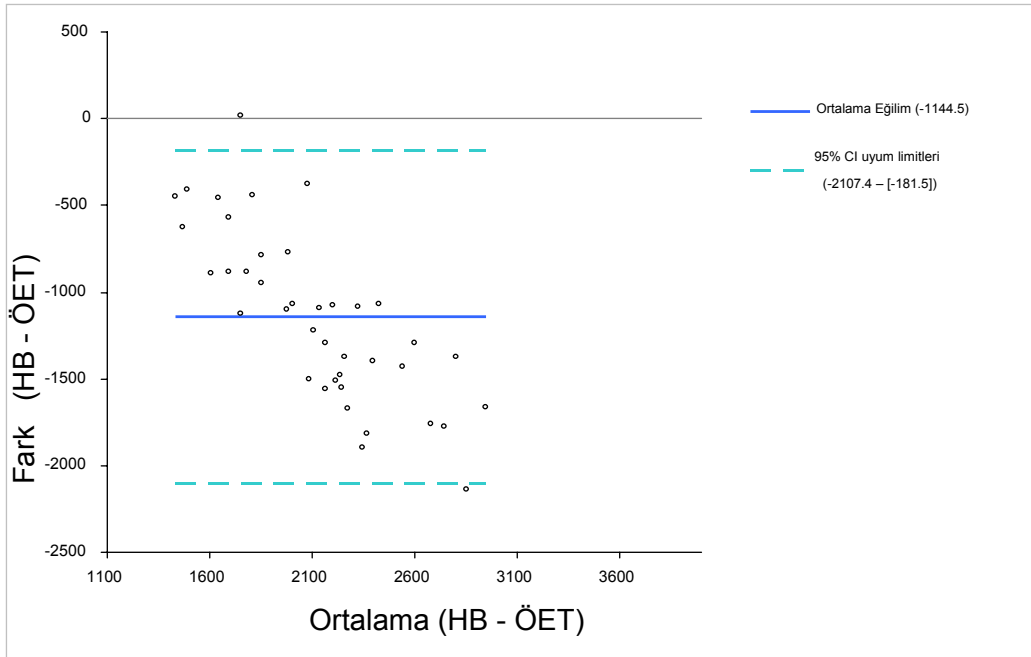
Hastaların % 60 ($n=24$)' na total paranteral, % 30 ($n=12$)' una enteral, % 10 ($n=4$)' una kombine nutrisyonel destek sağlanıyordu.

Tüm hastalarda, indirekt kalorimetre metodu ile ölçülen enerji tüketiminin (ÖET) ortalaması 2698 ± 606 kcal/gün olarak bulundu.

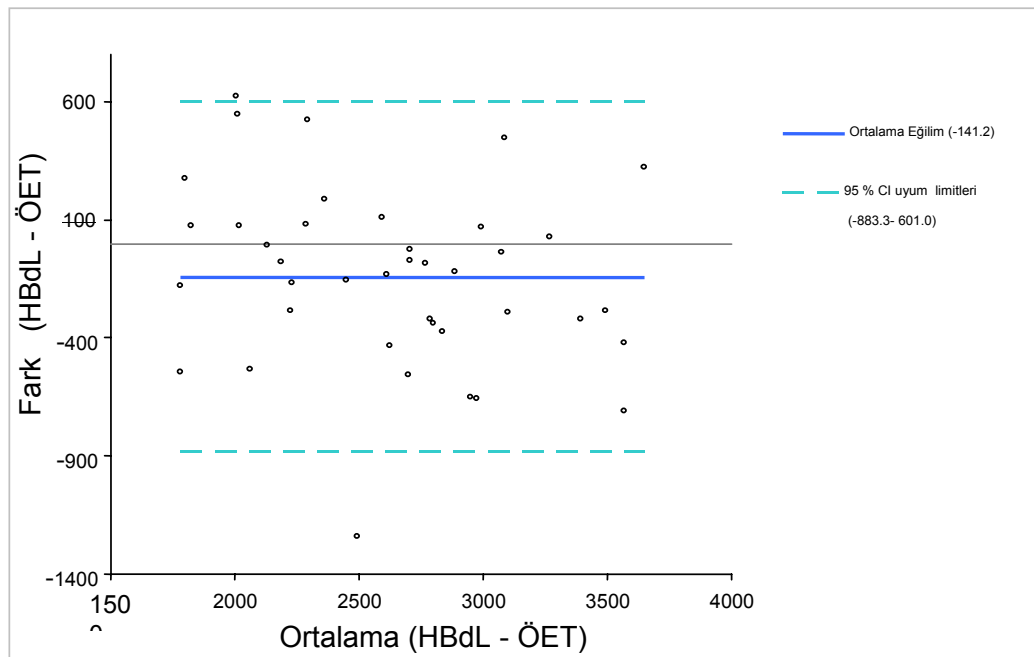
Tüm eşitlikler özellikle düzeltilmiş vücut ağırlıkları ile hesaplama yapıldığında ÖET ile korele idi. Korelasyon katsayıları: Harris-Benedict Eşitliği (HB) için = 0.62, düzeltilmiş kilolarla Harris-Benedict Eşitliği (HBd) için = 0.87, Schofield eşitliği (SCH) için = 0.55, düzeltilmiş kilolarla Schofield Eşitliği (SCHd) için = 0.82, Ireton-Jones Eşitliği (I-J) için = 0.52, düzeltilmiş kilolarla Ireton-Jones Eşitliği (I-Jd) için = 0.85, Swinamer Eşitliği (SW) için = 0.57 olarak hesaplandı ($p < 0.05$).

İki metod arasındaki korelasyonun iyi olması, uyumlarının da iyi olduğu anlamına gelmez. Bu nedenle ölçülen enerji tüketimi (ÖET) ile hesaplanan enerji tüketimi (HET) değerleri arasındaki uyum Bland-Altman metodu ile analiz edildi (63). Bland-Altman analizi, ÖET ile HB Eşitliği'nden elde edilen HET' nin ortalama eğiliminin -1145 ± 77.7 , alt ve üst uyum limitlerinin ise sırasıyla, -2107 ve -182 olduğunu gösterdi (Grafik 1). ÖET ile düzeltilmiş kilolarla hesaplanan ve Long faktörlerinin eklenmesiyle HB Eşitliği'nden elde edilen HET (HBdL)' in ortalama eğilimi -141 ± 59.9 , alt ve üst limitler sırasıyla, -883 ve 601 olarak bulundu (Grafik 2). ÖET ile SCH Eşitliği değerlendirildiğinde ortalama eğilimin -999 ± 88.5 , alt ve üst uyum limitlerinin ise sırasıyla, -2096 ve 99 olduğu görüldü (Grafik 3). ÖET ile düzeltilmiş kilolarla hesaplanan ve Long faktörlerinin eklenmesiyle SCH Eşitliği'nden elde edilen HET (SCHdL)' in ortalama eğilimi -45 ± 63.3 , alt ve üst limitleri sırasıyla, -831 ve 739 idi (Grafik 4). Diğer stres faktörlerin eklenmesi ile elde edilen HET değerleri için bulunan ortalama eğilim ve uyum limitleri Tablo VII' de gösterilmiştir. ÖET ile I-J uyumuna bakıldığında ortalama eğilimin -590 ± 83.8 , alt ve üst uyum limitleri sırasıyla, -1628 ve 448 olarak bulundu (Grafik 5). ÖET ile düzeltilmiş kilolarla hesaplanan I-J Eşitliği (I-Jd) için ortalama eğilim -657 ± 82.4 , alt ve üst uyum limitleri sırasıyla, -1678 ve 364 idi (Tablo VII). ÖET ile SW Eşitliği değerlendirildiğinde ortalama eğilim -1115 ± 83.7 , alt ve üst uyum limitler de sırasıyla. -2133 ve -77 olarak bulundu (Grafik 6).

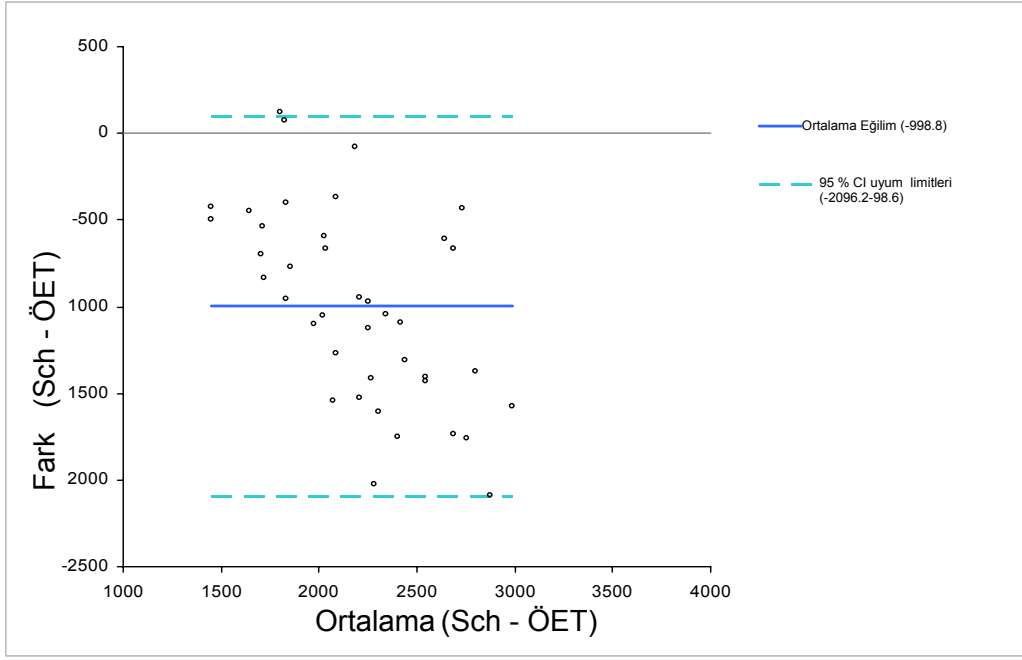
Eşitliklerin her biri için uyum limitlerinin geniş aralıklar oluşturması, bu eşitlikler kullanıldığında her vakada potansiyel bir yetersiz ve aşırı beslenme ihtimalinin olduğunu gösterir.



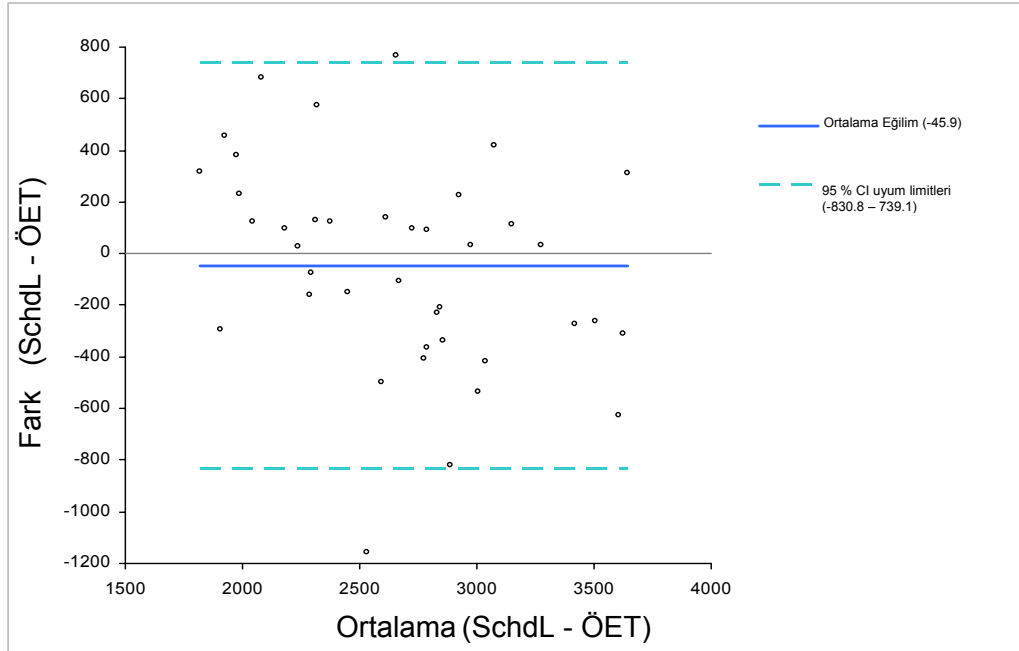
Grafik 1: Aktüel kilolara göre hesaplanan Harris-Benedict Eşitliği ile indirekt kalorimetre arasındaki uyumun Bland-Altman analizi ile değerlendirilmesi.



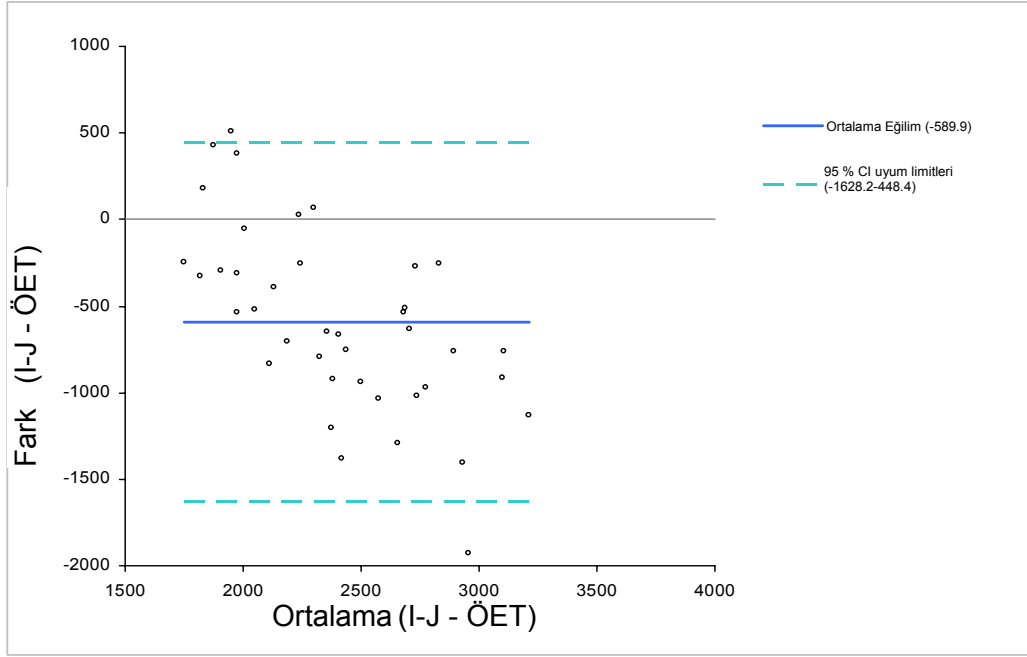
Grafik 2: Düzeltilmiş kilolara göre ve Long faktörleri eklenerek hesaplanan Harris-Benedict Eşitliği ile indirekt kalorimetre arasındaki uyumun Bland-Altman analizi ile değerlendirilmesi



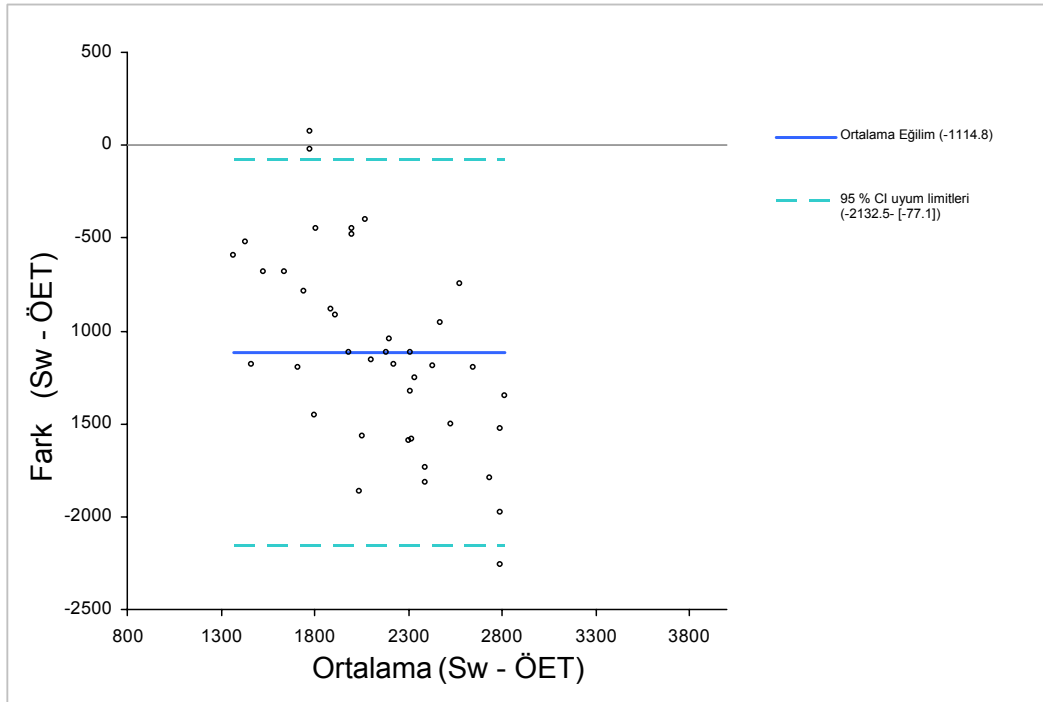
Grafik 3: Aktüel kilolara göre hesaplanan Schofield Eşitliği ile indirekt kalorimetre arasındaki uyumun Bland-Altman analizi ile değerlendirilmesi



Grafik 4: Düzeltilmiş kilolara göre ve Long faktörleri eklenerek hesaplanan Schofield Eşitliği ile indirekt kalorimetre arasındaki uyumun Bland-Altman analizi ile değerlendirilmesi



Grafik 5: Aktüel kilolara göre hesaplanan Ireton- Jones Eşitliği ile indirekt kalorimetre arasındaki uyumun Bland-Altman analizi ile değerlendirilmesi



Grafik 6 : Swinamer Eşitliği ile indirekt kalorimetre arasındaki uyumun Bland-Altman analizi ile değerlendirilmesi

Tablo VII: İndirekt kalrimetre ile ölçülen ve eşitliklerle hesaplanan enerji tüketimleri arasındaki ortalama eğilim ve alt ve üst uyum limitleri (*SE: standart hata, HB: Haris-Benedict, SCH: Schofield, I-J: Ireton-Jones, SW: Swinamer, d: düzeltilmiş kilo, L: Long faktörleri*)

Eşitlik	Ortalama eğilim ± SE(% 95 CI)	Alt uyum limiti (% 95 CI)	Üst uyum limiti (% 95 CI)	r (p değeri)
HB	-1145 ± 77.7 (-1301 ile -987)	-2107 (-2378 ile -1837)	-182 (-452 ile 89)	0.80 (p < 0.0001)*
HB x 1.3	-678 ± 75.5 (-831 ile -525)	-1614 (-1877 ile -1351)	259 (-5 ile 522)	0.71 (p < 0.0001)*
HB x 1.6	-272 ± 78.3 (-430 ile -113)	-1242 (-1515 ile -969)	699 (426 ile 971)	0.10 (p = 0.0013)
HB x L	-91 ± 62.5 (-217 ile 36)	-865 (-1082 ile -647)	684 (466 ile 901)	-007 (p > 0.0001)
HBd	-1071 ± 88.3 (-1250 ile -893)	-2165 (-2473 ile 1858)	23 (-285 ile 331)	0.58 (p < 0.0001)*
HBd x 1.3	-768 ± 80.1 (-930 ile -606)	-1761 (-2040 ile -1482)	225 (-54 ile 504)	0.54 (p < 0.0001)*
HBd x 1.6	-319 ± 76.8 (-474 ile -163)	-1271 (-1539 ile -1003)	634 (366 ile 902)	0.22 (p = 0.0002)
HBd x L	-141 ± 59.9 (-262 ile -20)	-883 (-1092 ile -675)	601 (392 ile 810)	0.08 (p = 0.0235)
SCH	-999 ± 88.5 (-1178 ile 820)	-2096 (-2405 ile 1788)	99 (-210 ile 407)	0.62 (p < 0.0001)*
SCH x 1.3	-670 ± 85.7 (-844 ile -497)	-1733 (-2032 ile -1434)	393 (94 ile 691)	0.53 (p < 0.0001)*
SCH x 1.6	-192 ± 86.0 (-367 ile -18)	-1258 (-1558 ile 958)	875 (575 ile 1174)	0.08 (p = 0.0310)
SCH x L	0.1 ± 65.8 (-133 ile 133)	-815 (-1045 ile -586)	816 (587 ile 1046)	-0.15 (p > 0.0001)
SCHd	-1019 ± 92.8 (-1207 ile -831)	-2170 (-2493 ile -1846)	132 (-192 ile 456)	0.58 (p < 0.0001)*
SCHd x 1.3	-705 ± 85.1 (-877 ile -583)	-1760 (-257 ile 1463)	350 (54 ile 647)	0.52 (p < 0.0001)*
SCHd x 1.6	-234 ± 84.9 (-406 ile -62)	-1288 (-1584 ile -991)	819 (523 ile 1116)	0.16 (p = 0.0080)
SCHd x L	-45 ± 63.3 (-174 ile 82)	-831 (-1052 ile -610)	739 (518 ile 960)	0.06 (p > 0.0001)
I-J	-590 ± 83.8 (-759 ile -421)	-1628 (-1920 ile 1336)	448 (156 ile 740)	0.60 (p < 0.0001)*
I-Jd	-657 ± 82.4 (-823 ile -490)	-1678 (-1965 ile -1391)	364 (77 ile 652)	0.64 (p < 0.0001)*
SW	-1115 ± 83.7 (-1284 ile 946)	-2133 (-2444 ile -1861)	-77 (-369 ile 215)	0.62 (p < 0.0001)*

Ayrıca, literatürde (51) hedeflenen enerji miktarının $< \% 80$ 'i ile beslenme “yetersiz beslenme” ve $> \% 110$ ile beslenme “aşırı beslenme” olarak tanımlandığından, yeterli kabul edilen HET tahminlerini belirlemek için tüm eşitliklerle hesaplanan HET değerleri ÖET’ ye göre buldukları yüzde aralığı hesaplanarak yeterli, yetersiz ve yüksek HET oranları belirlendi. HET’ nin yeterli, yetersiz ve yüksek hesaplandığı HET oranları Tablo VIII’ de gösterilmiştir.

Harris-Benedict ve Schofield Eşitlikleri, Long faktörleri ile düzeltme yapıldığında, HET’ nin yeterlilik aralığında olduğu hasta frekansı yüksekti (HB x L: $\% 72.5$. SCH x L: $\% 70$). Aktüel kilolar yerine düzeltilmiş kilolar kullanıldığında enerji tüketiminin yeterli hesaplanma ihtimalinin arttığı (HBd x L: $\%80$. SCHd x L: $\% 75$) görüldü. Ireton - Jones ve Swinamer Eşitlikleri ise sırasıyla $\% 65$ ve $\% 95$ 'lik yetersiz oranları oluşturdu (Tablo VIII).

Tablo VIII: Eşitlikler kullanıldığında, yeterli ($\% 80- 110$), yetersiz ($<\% 80$) ve aşırı beslenme ($> \% 110$) sınırlarına giren HET oranları (ÖET : ölçülen enerji tüketimi, HB: Haris –Benedict Eşitliği, SCH: Schofield Eşitliği, I-J: Ireton –Jones Eşitliği, SW: Swinamer Eşitliği, d: düzeltilmiş kilo, L: Long faktörleri).

Eşitlik	Ortalama±SD	Yetersiz HET oranları (%)	Yeterli HET oranları (%)	Yüksek HET oranları (%)
ÖET	2698 ± 606			
HB	1553 ± 250	95.0	5.0	0.0
HB x 1.3	2020 ± 326	70.0	27.5	25.0
HB x 1.6	2478 ± 397	20.0	62.5	17.5
HB x L	2067 ± 547	10.0	72.5	17.5
HBd	1524 ± 242	95.0	5.0	0.0
HBd x 1.3	1982 ± 315	72.5	25.0	2.5
HBd x 1.6	2431 ± 383	25.0	60.0	15.0
HBd x L	2556 ± 523	7.5	80	12.5
SCH	1599 ± 244	92.5	7.5	0.0
SCH x 1.3	2083 ± 318	57.5	40.0	2.5
SCH x 1.6	2559 ± 391	20.0	55.0	25.0
SCH x L	2698 ± 501	5.0	70.0	25.0
SCHd	1573 ± 237	20.0	55.0	25.0
SCHd x 1.3	2049 ± 309	60.0	37.5	2.5
SCHd x 1.6	2517 ± 380	22.5	55.0	22.5
SCHd x L	2652 ± 476	5.0	75.0	20.0
I-J	2055 ± 306	65.0	27.5	7.5
I-Jd	2041 ± 311	65.0	27.5	7.5
SW	1515 ± 316	95.0	5.0	0.0

İndirekt kalorimetre metoduyla ölçülen enerji tüketimi, hastalık şiddetinin göstergesi olarak düşündüğümüz APACHE II ve SAPS II skorları ile karşılaştırıldığında, her iki skora ile aralarında bir korelasyon bulunamadı ($p>0.05$).

Yine, ÖET ile kullanılan dopamin, dobutamin ve noradrenalin miktarları arasında da korelasyon yoktu ($p>0.05$).

5.TARTIŞMA

Mekanik ventilasyon gereksinimi olan yoğun bakım hastalarında yaptığımız bu çalışmada indirekt kalorimetre metodu ile ilk 24-48 saat içinde ölçülen enerji tüketimi ortalama 2697.9 ± 606 kcal olarak tespit edildi. 1980'lerde yoğun bakım hastalarında yapılan çalışmalarda enerji tüketimi yaklaşık 2200 kcal/gün olarak bildirilmiştir (64,65). Bu çalışmada ortalama enerji tüketiminin yüksek bulunması hasta grubumuzda çoklu travma, sepsis, ARDS ve geçirilmiş majör cerrahi nedeniyle takip edilen hastaların oranının yüksek olması ve ölçümlerin hastalığın akut döneminde yapılmasına bağlanabilir.

Mekanik ventilatöre bağlı yoğun bakım hastalarında enerji tüketiminin 24 saat süreyle sürekli ölçüldüğü az sayıda çalışma mevcuttur (51,64,65). Son yıllarda yapılan bir çalışmada 24 saat. sürekli indirekt kalorimetre ölçümü yapılmış ve ortalama enerji tüketimi 2053 ± 445 kcal/ gün bulunmuştur (51). Ancak bu çalışmada her hastaya beş gün boyunca ölçüm yapılmış ve tüm ölçümlerin ortalaması hesaplanmıştır. Bizim çalışmamızda ise ölçümler ilk 24-48 saatte yapıldığından akut döneme ait metabolik değişiklikler değerlendirildi. Mekanik ventilatöre bağlı 43 çocuk hastada, travmanın ilk altı saati içinde başlanarak 24 saat, sürekli indirekt kalorimetre ölçümünün yapıldığı bir çalışmada travmanın erken döneminde enerji tüketiminin yüksek olduğu görülmüştür (66).

Bu çalışmada ortalama ölçülen enerji tüketimi (ÖET) değeri kısa süreli veya aralıklı ölçüm yapılan çalışmalara göre de yüksektir. Ajitasyonun enerji tüketimini % 18 artırdığı ve bunun günlük enerji tüketiminde % 13 artışa sebep olduğu, rutin bakım işlemlerinin ise % 10-30 oranında bir artışla günlük enerji tüketimine % 7 oranında yansıdığı bildirilmiştir (64). Çalışmamızda ölçümler 24 saat boyunca aralıksız yapıldığından aspirasyon, solunum fizyoterapisi, pozisyon değiştirme, vücut bakımı gibi müdahalelerin yapıldığı, hastaların ajite oldukları dönemlerde de ölçümler devam etmiştir. Bu da, ortalama ölçülen enerji tüketimi (ÖET) değerlerimizin yüksek olmasının bir diğer sebebi olabilir.

Harris-Benedict ve Schofield eşitlikleri sağlıklı insanların bazal metabolizma hızlarından elde edildiklerinden klinikte düzeltme faktörleri eklenerek kullanılırlar. Yoğun bakım hastalarında sıklıkla % 10-60 oranında düzeltmeler yapılmaktadır (48,49,50); ancak, bu düzeltmelerin ne oranda olacağı konusunda açıklayıcı bir kılavuz yoktur. Örneğin Elia normogramı, mekanik ventilatöre bağlı sepsis hastalarında % 20-50 oranında artışı öngörmektedir ki; bu aralıktaki seçim klinisyenin kararına bırakılmıştır ve subjektiftir (32). Long ve ark. (42) sepsisli hastada enerji tüketiminin 1.8, Frankenfield ve ark. (43) ise 1.9 oranında arttığını bildirmişlerdir. Çoklu travma geçiren hastalarda da durum farklı değildir. Düzeltme için önerilen oranlar 0.8- 1.85 arasında değişmektedir (67-70). Alexandr ve ark.

(71). yoğun bakım hastalarının enerji tüketimini belirlemede. H-B x1.2 formülünün yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Ancak bu çalışmada ölçümler kısa süreli ve hastalar hareketsiz ve nötral ısıdayken yapılmıştır. Kasuya ve ark. (47), subaraknoid kanamaların ciddiyetine göre enerji tüketiminin % 36-71 oranında arttığını bildirmişlerdir. Long ve ark. (42). hastalık stresi, aktivite ve vücut ısısına göre enerji tüketimini artışları hesaplayarak Long faktörleri olarak bilinen düzeltme çarpanlarını belirlemişlerdir. Biz bu çalışmada Harris-Benedict ve Schofield eşitliklerine 1.3, 1.6 oranında ve Long faktörlerine göre düzeltme uygulayarak indirek kalorimetre metoduyla karşılaştırdık.

Çalışmada kullandığımız tüm eşitlikler, önceki çalışmalara benzer olarak ÖET ile koreleydi (49,51,71,72). Ancak, iki metod arasındaki korelasyonun iyi olması uyumlarının da iyi olduğu anlamına gelmez. İki metod arasındaki uyumu değerlendirmede Bland-Altman Analizi (63) kullanılır. Uyum limitleri arasındaki farkın geniş olması, eşitlikler kullanılarak enerji tüketiminin hesaplanması ile yetersiz ve aşırı beslenme ihtimalinin yüksek olduğunu gösterir. Faisy ve ark. (73) Harris-Benedict eşitliği ve ÖET arasındaki uyumu analiz ettiklerinde, ortalama eğilimin -932 ± 503 kcal/gün ve uyum limitlerinin -932 ve 1078 kcal/gün olduğunu bulmuşlardır. Reid ve ark. (51) da 27 hastada, 5 gün ve üzerinde 24 saat süreyle indirek kalorimetre ölçümü yaparak günden güne oluşan enerji tüketimi değişikliklerini ve Harris-Benedict, Schofield ve ACCP eşitlikleri ile ÖET arasındaki uyumu araştırmışlar ve tüm eşitlikler için geniş bir uyum limitli aralığı bulmuşlardır.

Bu çalışmada kullanılan Harris-Benedict, Schofield, Ireton-Jones ve Swinamer eşitliklerin her biri, düzeltme faktörleri uygulandığında dahi ÖET ile karşılaştırıldığında geniş uyum limiti aralıkları gösterdi. Örneğin Schofield eşitliğine 1.3 düzeltme faktörü uygulandığında ortalama eğilim -670 ± 85.7 ve üst alt uyum limitler sırası ile -1733 ve 393 bulundu. Bu, Schofield eşitliği ile hesaplanan değer indirek kalorimetre ile ÖET' ne göre -1733 kcal daha düşük veya 393 kcal daha yüksek olabileceği anlamına gelir ki; bu da klinik olarak belirgin bir yetersiz veya aşırı beslenmeye neden olur. Yani, kullandığımız ampirik formüllerin hepsi Bland-Altman Analizi ile değerlendirildiğinde değişik düzeltme oranlarında bile indirek kalorimetre metodu ile ölçülen gerçek enerji tüketimini tahmin ederken yetersiz kalmakta ve mekanik ventilasyon uygulanan yoğun bakım hastalarında enerji tüketiminin belirlenmesinde çok da güvenilir görünmemektedir.

Bland-Altman Analizi ile, indirek kalorimetre metodu yerine eşitliklerin kullanımı sonucu oluşacak yetersiz ve aşırı beslenme seviyesi gösterilse de, HET, ÖET'ne yüzde olarak oranlandığında, % 80-110 arasında kalanların doğru, < % 80 olanların düşük ve >

%110 olanların yüksek tahmin olduğu kabul edilerek ölçülen ve hesaplanan enerji tüketimleri karşılaştırılabilir (51). Bu şekilde bakıldığında çalışmamızda; Harris-Benedict eşitliğinde bazal enerji tüketimi ile hastaların sadece % 5'inde yeterli beslenme elde edilebilirken (Schofield eşitliğinde % 7.5), 1.3 düzeltme faktörü eklendiğinde % 30 (Schofield eşitliğinde % 42.5), 1.6 düzeltme faktörü eklendiğinde % 80 (Schofield eşitliğinde de % 80) ve Long faktörleri ile düzeltme yapıldığında % 90 (Schofield eşitliğinde % 95) oranında yeterli HET tahmini olduğu görüldü. Long faktörleri kullanıldığında Harris-Benedict ve Schofield eşitliklerinde diğer düzeltme faktörlerine göre daha iyi sonuç alındı. Bu nedenle sabit bir düzeltme faktörü yerine özellikle heterojen hasta gruplarında Long faktörlerinin kullanılmasının doğruluğu artırdığını düşünmekteyiz.

Enerji tüketiminin hesaplanmasında düzeltilmiş vücut ağırlıklarının kullanılması konusu hala tartışmalı olmakla birlikte (74), çalışmamızda obez-kilolu ve zayıf hastalar için düzeltilmiş vücut ağırlıklarının kullanılması ile bütün düzeltme faktörlerinde gerek Harris-Benedict gerekse Schofield eşitliğinde daha az yüksek oranda beslenme tahmini ile daha çok yeterli beslenme tahmini olduğu görüldü. Harris-Benedict eşitliğinde hastaların enerji tüketiminin hesaplanmasında Long faktörlerinin kullanılması ile % 17.5' luk (Schofield eşitliğinde % 25) aşırı beslenme tahmini elde edilirken, düzeltilmiş vücut ağırlığı kullanıldığında % 12.5'luk (Schofield eşitliğinde % 20) değer tespit edildi. Ireton-Jones eşitliğinde ise düzeltilmiş vücut ağırlıklarının kullanılmasının tahmin oranlarını değiştirmediği görüldü. Bilindiği üzere, Swinamer eşitliğinde vücut ağırlığı enerji tüketiminin hesaplanmasında bir parametre değildir.

Mac Donald ve Hildebrandt (49) da benzer bir yaklaşımla enerji tüketimini hesaplamada kullanılan beş eşitliğin doğruluğunu araştırdıkları çalışmalarında hastaların % 80'inin \pm % 20' lik sınırlar içerisinde olduklarını göstermişlerdir. Reid ve ark. (51)'nin çalışmalarında ise Harris-Benedict, Schofield ve ACCP eşitlikleri değerlendirilmiş ve % 30 düzeltme faktörü kullanıldığında % 80-110 arasındaki değerlerin oranları % 52-66 arasında bulunmuştur. Bizim çalışmamızda 1.3 düzeltme faktörü kullanıldığında Harris-Benedict eşitliği ile % 70. Schofield eşitliği ile de % 57.5 oranında hastanın yetersiz besleneceği görülmüştür. Ancak bu çalışmada ölçümler en az 5 gün süreyle tekrarlandığından, bizim çalışmamızdaki gibi stres cevabın çok yüksek olduğu erken dönemi yansıtmamaktadır.

Yoğun bakım hastaları için kullanılan eşitlikler kısa süreli indirek kalorimetre ölçümleri ile geliştirilmiştir. Harris-Benedict eşitliği (37) gibi, Ireton Jones (40) ve Swinamer (39) eşitlikleri sadece 30 dakikalık ölçümlere dayalıdır. Brandi ve ark. (45) ise 12 saatlik sürekli ölçüm yapmışlardır. Bazı çalışmalar, kısa süreli indirekt kalorimetre ölçümlerinin doğru

zamanda yapıldığında (saat 11 ile 15 arası) klinik olarak stabil hastalarda 24 saatlik toplam enerji tüketimini yansıttığını göstermiştir (75-77). Ancak yoğun bakım ünitelerinde çok az hasta, yatışlarının ilk günlerinde bu kısa süreli ölçümlerde toplam enerji tüketimini yansıtacak stabiliteye ulaşabilir (77).

Literatürde yaklaşık 138 farklı eşitlik mevcuttur (38) ve bunlar üç ana kategoride incelenebilir:

1. Sağlıklı insanların bazal metabolizma hızlarından elde edilen ve genellikle klinikte bir düzeltme faktörünün ilave edildiği eşitlikler.
2. Sağlıklı insanların bazal metabolizma hızlarına hipermetabolizmanın derecesi ile ilişkili klinik değişkenlerin (vücut ısısı, dakika ventilasyonun) eklendiği multivariate regresyon eşitlikleri
3. Kalorinin kilo başına hesaplandığı eşitlikler.

Çok değişkenli regresyon eşitliklerinin enerji tüketimini hesaplamada daha doğru sonuçlar verdiğine dair çalışmalar olmasına rağmen (71,72,78), çalışmamızda stres cevabın yüksek olduğu erken dönemde Ireton- Jones ve Swinamer eşitlikleri ile hesaplanan enerji tüketimi ile indirekt kalorimetre metoduna göre ölçülen enerji tüketimi arasında korelasyon tespit edilmesine rağmen Bland-Altman Analizi ile iyi bir uyum gösterilemedi ve söz konusu eşitliklerin yüksek oranda yetersiz ve aşırı beslenme ihtimaline neden olabileceği görüldü. Yeteli beslenen (% 80-110 arasında kalan) hasta frekanslarına bakıldığında Ireton-Jones eşitliği ile % 27.5 Swinamer eşitliği ile % 5 hastanın bu aralığa girdiği görüldü. Ireton-Jones eşitliğinde enerji tüketimi, travma ve yanık olup olmasına dayalıdır. Ancak sepsis, ARDS, MODS gibi metabolik stres oluşturan durumlar göz ardı edilmiş ve travma ve yanığın derecesine göre bir hesaplama yapılmamıştır.

Swinamer eşitliğinde, solunum sayısı ve tidal volüm önemli değişkenlerdir. Orijinal çalışmada (39) hastalar assiste- kontrollü modda ventile edilmişler ve nutrisyonel destek almamışlardı. Bu çalışmada ise hastaların kliniklerine göre değişik ventilatör modları kullanıldı ve hastaların hepsi hedeflenen kalori alımının en az 1/3'ü kadarını alıyorlardı. Besinlerin termojenik etkisinin toplam enerji tüketimine % 10 oranında yansıdığı bildirilmiştir. Ancak bazı çalışmalarda sürekli infüzyon ile enteral beslenmenin enerji tüketimini artırmadığı, termojenik etkinin bolus beslenme ile olduğu bildirilmiştir (11). Bu çalışmada enteral veya parenteral beslenme 24 saatlik infüzyon şeklinde uygulandı.

Çalışmamızın handikaplarından biri çalışmanın heterojen bir hasta grubu üzerinde yapılmış olmasıdır. Hastaları tanılarına, VKİ'lerine ve beslenme yollarına göre gruplandırdığımızda, bu alt gruplardaki hasta sayısı, alt grup analizi yapmak için

yetersizdi. Bir diğ er handicap ise, literatürde çok sayıda eş itlik olasına rağmen (38), çalış mada bunlardan sadece dördünün kullanılmış olmasıdır.

Bu çalış mada ayrıca, hastalık ş iddeti ile enerji tüketimi arasında bir iliş ki olup olmadığı da araştırıldı. Hastalık ş iddeti APACHE II ve SAPS II skorlamaları ile tespit edildi (11,52,53). Gerek skorlamaları gerekse indirekt kalorimetre ölçümleri hastanın yoğun bakıma kabulünden sonraki stres cevabın çok yüksek olduğu ilk 24-48 saatte yapıldı. APACHE II ve SAPS II skorları ile indirekt kalorimetre metoduyla ölçülen enerji tüketimi arasında herhangi bir iliş ki bulunamadı.

Yoğun bakım hastalarında, Injury severity score (ISS) ve APACHE II skorlamaları ile enerji tüketimi arasında korelasyon olduğunu gösteren iki çalış ma mevcuttur (69,79). Flancbaum ve ark. (33) bazal enerji tüketimindeki kişiler arası farkın hastalık ş iddetine bağı lı olabileceğini bildirmişlerdir. Ancak Weissman ve ark (80)'nın çalışmaları gibi bir çok çalış ma (64,81) indirekt kalorimetre metoduyla ölçülen enerji tüketimi ile hastalık ş iddeti skorları arasında zayıf bir korelasyonun olduğunu göstermiştir. Brandi ve ark. (45), ISS, APACHEE II, SAPS II, RTS ve GCS ile bazal enerji tüketimi ve indirekt kalorimetre ile ölçülen enerji tüketimi arasındaki iliş kiyi araştırdıkları çalış malarında pozitif bir korelasyon gösterememişler ve çoklu travmada hasar ve hastalık ş iddetinin enerji metabolizması ile ilişk ili olmadığını; metabolik cevabın bir “ya hep ya hiç” fenomeni olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalış mada ayrıca, indirekt kalorimetre ölçümlerinin yapıldığı gün içerisinde kullanılan toplam dopamin, dobutamin ve noradrenalin miktarları ile enerji tüketimi arasında da bir iliş ki bulunamadı. Sempatomimetik aminler metabolik hızı etkileyebilir. Katekolaminlerin O₂ tüketimini % 25-32 oranında artırdığı gösterilmiştir (82,83). Frankenfield ve ark. (43), bir grup travma hastasında dopamin ve dobutamin infüzyon hızlarının enerji tüketimi ile korele olduğunu göstermişlerdir. Ancak, patofizyolojik şartlarda, hem hastalığın hem de tedavinin etkisi altında olan majör glukoneojenik organların metabolik kapasiteleri kadar değil, reseptör afinitesi ve yoğunluğu ile ilaç kinetiklerindeki değişiklikler nedeniyle de katekolamin stimülasyonuna metabolik cevabı tahmin etmek güçtür (58). Bu nedenle bu korelasyonu gerçekçi olarak göstermek çok daha yüksek hasta sayılarını gerektirir.

Bu çalış mada, sadece ampirik formüllerin enerji tüketimini belirlemedeki doğruluğu araştırılmıştır; ancak unutmamak gerekir ki “enerji gereksinimi” ve “enerji tüketimi” terimleri farklı kavramları işaret etmektedir. Klinik pratikte ise çoğu kez yanlışlıkla birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Enerji tüketimi indirekt kalorimetre ile ölçülebilir

veya ampirik formüllerden hesaplanabilir. Fakat enerji gereksinimi klinik olarak belirlenmelidir. Yoğun bakım hastalarının enerji tüketiminin bire bir veya fazlası ile karşılanması her zaman pozitif azot dengesi, kilo artışı ve visseral protein artışı sağlanması anlamına gelmez, aksine zararlı olabilir. Enerji tüketiminin ölçülmesi veya hesaplanması klinisyen için yol gösterici olmakla birlikte, klinisyen nasıl bir nutrisyonel destek vereceği konusunda gerçekçi olmalı ve klinik kararlarını uygulamalıdır. Deneyimli bir klinisyen bile hastanın hipermetabolik bir fazda olup olmadığını tam olarak değerlendiremeyebilir.

Henüz randomize kontrollü çalışmalar ile kanıtlanmamış olmakla birlikte, kritik hastalarda hiperkalimantasyondan, yani gerçekte harcanandan daha fazla enerji verilmesinden kaçınılması gerektiği yönünde görüş birliği vardır. Genel kabul gören ve ESPEN' inde yoğun bakım beslenme rehberlerinde önerdiği erkekte 25-30 kcal/kgVA/gün. kadında 20-25 kcal/kgVA/gün dozları bile kritik hastalığın ilk 72-96 saatlik döneminde çok fazla olabilir (30). Yoğun bakımda 96 saatten uzun yatan hastalar üzerinde yapılan prospektif gözlemsel bir çalışmada (84) hedeflenen enerji miktarının % 33-66'sını alan hastaların hastaneden sağ olarak taburcu edilme ihtimalinin % 66-100'nü alanlardan daha fazla olduğu gösterilmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma;

- 1) Mekanik ventilasyon gereksinimi olan kritik hastalığı bulunan hastalarda erken dönemde enerji tüketiminin yüksek olduğunu,
- 2) Enerji tüketiminin tahmininde kullanılan tüm eşitliklerden elde edilen değerler ile indirekt kalorimetre metodu ile ölçtüğümüz enerji tüketimi arasında korelasyon olduğunu,
- 3) Kullanılan ampirik formüllerin hepsinin Bland-Altman Analizi ile değerlendirildiğinde değişik düzeltme faktörleri kullanıldığında bile indirekt kalorimetre metodu ile ölçülen gerçek enerji tüketimini tahmin etmede yetersiz kaldığını ve mekanik ventilasyon uygulanan erken dönem yoğun bakım hastalarında enerji tüketiminin belirlenmesinde güvenilir olmadığını,
- 4) Enerji tüketimi, Harris-Benedict ve Schofield eşitliği ile düzeltilmiş vücut ağırlıkları ve Long faktörlerine göre düzeltmeler yapılarak hesaplanırsa enerji tüketiminin daha doğru şekilde tahmin edilebileceğini,
- 5) Ireton Jones ve Swinamer eşitlikleri ile hesaplanan enerji tüketiminin yüksek oranda yetersiz beslenme tahminine neden olabileceğini,
- 6) APACHE II ve SAPS II skorları ile belirlenen hastalık şiddeti ile ölçülen enerji tüketimi arasında herhangi bir ilişki bulunmadığını,
- 7) İndirekt kalorimetre ölçümlerinin yapıldığı gün içerisinde kullanılan toplam dopamin, dobutamin ve noradrenalin miktarları ile enerji tüketimi arasında bir ilişki bulunmadığını göstermiştir.

Sonuç olarak çalışmamız; mekanik ventilasyon ihtiyacı olan yoğun bakım hastalarında erken dönemde enerji tüketiminin yüksek olduğunu; bu dönemde, karşılaştırılan eşitliklerden Harris-Benedict ve Schofield eşitliklerinde düzeltilmiş vücut ağırlıkları kullanılır ve Long faktörleri ile düzeltme yapılırsa, enerji tüketiminin daha doğru şekilde tahmin edilebileceğini ve hastalık şiddeti ile enerji tüketimi arasında bir korelasyon olmadığını göstermiştir.

7. ÖZET

Nutrisyonel destek alan yoğun bakım hastalarında enerji tüketiminin doğru belirlenmesi, metabolik ihtiyaçların karşılanmasında önemlidir. İndirekt kalorimetre metodu yoğun bakım hastalarının enerji tüketiminin belirlenmesinde “altın standart” olarak kabul edilir. Ancak, indirekt kalorimetre cihazlarının pahalı olması, uygulanmasında deneyimli personele ihtiyaç duyulması ve ölçümlerin zaman alması gibi nedenlerle, enerji tüketiminin belirlenmesinde ampirik formüller hala yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, mekanik ventilasyon uygulanan yoğun bakım hastalarında, indirekt kalorimetre ile ölçülen ve dört ampirik formülle hesaplanan enerji tüketimi değerlerini karşılaştırmak ve aynı zamanda ölçülen enerji tüketimi ile hastalık şiddeti arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemektir.

Çalışma 40 hasta üzerinde gerçekleştirildi. İndirekt kalorimetre ölçümleri hastaların yoğun bakıma alınmasından sonraki ilk 24-48 saat içinde yapıldı. Ölçümlerin yapıldığı 24 saat için APACHE II ve SAPS II skorları belirlendi.

Enerji tüketimi, Harris- Benedict, Schofield, Ireton-Jones ve Swinamer eşitlikleriyle, vücut ağırlığının eşitliğin bir değişkeni olduğu durumlarda, hem aktüel hem de düzeltilmiş vücut ağırlıkları kullanılarak hesaplandı. Harris- Benedict ve Schofield eşitliklerinden elde edilen değerlere üç farklı düzeltme faktörü uygulandı.

Ölçülen enerji tüketimlerinin ortalaması 2698 ± 606 kcal/gün olarak bulundu. Tüm eşitlikler indirekt kalorimetre ile korele olmasına rağmen, Blant-Altman analizi ile geniş uyum limitleri tespit edildi.

Hesaplanan enerji tüketimi değerleri, ölçülen enerji tüketimine yüzde olarak oranlandığında, % 80-110 arasında kalanların doğru tahmin olduğu kabul edildi. Long faktörlerinin eklenmesiyle Harris-Benedict ve Schofield Eşitlikleri kullanıldığında % 80-110 aralığına giren hasta sayısı daha fazla idi.

Sonuç olarak, bizim çalışmamız, mekanik ventilasyon uygulanan hastalarda enerji tüketiminin yüksek olduğunu; Harris-Benedict ve Schofield Eşitliklerinde düzeltilmiş vücut ağırlıkları kullanılır ve Long faktörleri ile düzeltme yapılırsa, enerji tüketiminin daha doğru şekilde tahmin edilebileceğini ve hastalık şiddeti ile enerji tüketimi arasında bir korelasyon olmadığını göstermiştir.

8. SUMMARY

Comparison of indirect calorimetry and empiric equations in determining the energy expenditure of mechanically ventilated, critically ill patients

Accurate determination of energy expenditure is essential in critically ill patients receiving nutritional support to meet metabolic needs. Indirect calorimetry is often cited as “gold Standard” for determining energy expenditure in critically ill patients, However, the cost of calorimeter devices and trained personnel and the long time period needed to perform indirect calorimetry measurement has led to the widespread use of predictive equations.

The purpose of this study was to compare the energy expenditure measured by indirect calorimetry with calculated energy expenditure by four empiric equations, in mechanically ventilated patients and also to investigate the correlation between measured energy expenditure and severity of illness.

Fourty patients were enrolled the study. Indirect calorimetry measurements were performed in the first 24-48 hours of admission. APACHE II and SAPS II scores were also recorded.

Harris- Benedict, Schofield, Ireton-Jones and Swinamer equations were used to estimate energy expenditure both with actual and adjusted body weight, when body weight is a determinant of equation. Then, three different correction factors were applied to the values derived from Harris-Benedict and Schofield equations.

Mean measured energy expenditure value was 2698 ± 606 kcal/day. Although all equations were correlated with indirect calorimetry, Bland-Altman plots show wide agreement limits.

Calculated energy expenditure values were compared on a percentage basis with the measured value of energy expenditure. Calculated values within % 80 and % 110 were considered accurate. Harris-Benedict and Schofield Equations provide more estimates when adjusted body weight used and Long factors applied within % 80 and % 110 of measured values.

In conclusion, our study demonstrated high energy expenditure in mechanically ventilated patients; Harris-Benedict and Schofield Equations provide more accurate estimates when adjusted body weight used and Long factors applied and there was not any correlation between severity of illness and energy expenditure.

KAYNAKLAR

- 1- Covelli HD, Black JW, Olsen MS, Beekman JF. Respiratory failure predicted by high carbohydrate loads. *Ann Intern Med* 1981; 95: 579-81.
- 2- Dark DS, Pingleton SK, Kerby GR. Hypercapnia during weaning: a comparison of nutritional support. *Chest* 1985; 88: 141-3.
- 3- Askanazi J, Rosenbaum SH, Hyman AI, et al. Respiratory changes induced by the large glucose loads of total parnteral nutrition. *JAMA* 1980; 243: 1444-7.
- 4- Gieske T, Gurushanthaiah G, Glauser FL. Effects of carbohydrates on carbondioxide excretion in patients with airway disease. *Chest* 1977;71:55-9.
- 5- Briassoulis G, Zavras N, Hatzis T. Malnutrition, nutritional indices, and early enteral feding in critically ill children *Nutrition* 2001; 17: 548-57.
- 6- Barton RG. Nutrition support in critical illness. *Nutr Clin Pract.* 1994;9:127-39.
- 7- Batrtlett RH, Dechart RE, Mault JR. Measurement of metabolism in multipl organ failure. *Surgery* 1982; 92: 771-9.
- 8- Kresowick TK, Dechart RE, Mault JR, et al. Does nutritional support affect survival in critically ill surgical patient? *Surg Forum* 1985; 36: 59-61.
- 9- Lowry SF, Brennan MF. Abnormal liver function during parenteral nutrition: relation to infusion excess. *J Surg Res* 1979; 26: 300-7.
- 10- Buzby GP, Mullen JL, Stein TP, Rosato EF. Manuplation of TPN caloric substrate and fatty infiltration of the liver. *J Surg Res* 1981; 31: 46-54.
- 11- Şahinoğlu H. Yoğun Bakım Sorunları ve Tedavileri. *Türkiye Klinikleri* 2003; 2.baskı: 251-9.
- 12- Aora NS, Rochester DF. Respiratory muscle strength and maximal voluntary ventilation in undernourished patients. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126: 5.
- 13- Kahan BD. Nutrition and host defense mechanisms. *Surg Clin North Am* 1981; 61: 557-8.
- 14- Christman JW, McCain RW. A sensible apporach to the nutritional support of mchanically ventilated critically ill patients. *Intensive Care Med* 1993; 19: 129-36.
- 15- Rochester DF, Esau SA. Malnutrition and respiratory system. *Chest* 1984; 85: 411-4.
- 16- McClave SA, Lowen CC, Kleber MJ, et al. Are patients fed appropriately according to their caloric requirements? *J Parenter EnteralNutr* 1998; 22: 375-81.
- 17- Ferrannini E. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism.* 1988; 37: 287-301.
- 18- Frankenfield D, Roth-Yousey L, Compher C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc.* 2005; 105: 775-89.
- 19- McManus C, Newhouse H, Seitz S, et al. Human gradient-layer calorimeter: development of an accurate and practical instrument for clinical studies. *JPEN* 1984; 8: 317-9.

- 20- Cuthbertson DP. The physiology of convalescence after injury. *Br Med Bull* 1945; 3: 96-102.
- 21- Plank LD, Hill GL. Sequential metabolic changes following induction of systemic inflammatory response in patients with severe sepsis or major blunt trauma. *World J Surg* 2000; 24: 630-638.
- 22- Schilichtig R, Sargent SC. Nutritional support of mechanically ventilated patients. *Crit Care Clin* 1990; 6: 767-84.
- 23- Barton RG. Nutrition support in critical illness. *Nurt Clin Pract* 1994; 9: 127-139.
- 24- McMahon MM and Miles JM. Glycemic control and nutrition in intensive care unit. *Curr Opin Nutr Metab Care* 2006; 9: 120-123.
- 25- Braunschweig C, Jensen GL. Hyperglycemia, Nutrition Support, and Acute Illness. *JPEN* 2006; 30: 175-6.
- 26- Preiser JC, Devos P and Van der Berghe G. Tight control of glycaemia in critically ill patients. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2002; 5:533-37.
- 27- Apeltgreen KN, Rombeau JL, Twomey P, et al. Comparison of nutritional indices and outcome in critically ill patients. *Crit Care Med* 1982 ; 10: 305-7.
- 28- Calder PC, Yaqoob P, Thies F, et al. Fatty acids and lymphocyte functions. *Br J Nutr.* 2002 ; 87: 31-48.
- 29- Moreno JJ, Carbonell T, Sánchez T, et al. Olive oil decreases both oxidative stress and the production of arachidonic acid metabolites by the prostaglandin G/H synthase pathway in rat macrophages. *J Nutr* 2001; 131: 2145-9.
- 30- Kreymann KG, Berger MM, Deutz NE, et al. ESPEN Guidelines on Enteral Nutrition: Intensive care. *Clin Nutr.* 2006 ; 25: 210-23.
- 31- Gramlich L, Kichian K, Pinilla J, et al. Does enteral nutrition compared to parenteral nutrition result in better outcomes in critically ill adult patients? A systematic review of the literature. *Nutrition* 2004; 20: 843-848.
- 32- Reid CL. Nutritional requirements of surgical and critically-ill patients: do we really know what they need? *Proc Nutr Soc.* 2004 ; 63: 467-72.
- 33- Flancbaum L, Choban PS, Sambucco S, et al. 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.
- 34- Takala J, Keinanen O, Vaisanen P, et al. Measurement of gase Exchange in intensive care: laboratory and clinical validation of a new device. *Crit Care Med* 1989; 17: 1041-7.
- 35- Weissman C, Sardar A, Kemper M. An in vitro evaluation of an instrument designed to measure oxygen consumption and carbon dioxide production during mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1994; 22: 1995-2000.
- 36- Molina P, Burzstein S, Abumrad NN. Theories and assumptions on energy expenditure. Determinations in the clinical setting. *Crit Care Clin.* 1995; 11: 587-601.

- 37- Haris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Washington, DC: Carnegie Institute of Washington, Publ. 279; 1919.
- 38- Eduardo E, Moreira da Rocha, Valéria Girard F, et al. Can measured resting energy expenditure be estimated by formulae in daily clinical nutrition practice? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2005; 8: 319-328.
- 39- Swinamer D, Grace M, Hamilton S, et al. Predictive equation for assessing energy expenditure in mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care Med* 1990; 18: 657-9.
- 40- Ireton- Jones C, Turner W, Liepa G, et al. Equations for the estimation of energy expenditure in patients with burns with special reference to ventilatory status. *J Burn Care*. 1992; 18: 657-61.
- 41- Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr* 1985;39: 5-41.
- 42- Long CL, Schaffel N, Geiger JW, et al. Metabolic response to injury and illness: Estimation of energy and protein needs from indirect calorimetry and nitrogen balance. *J Parenter Enteral Nutr* 1979; 3: 452-456.
- 43- Frankenfield DC, Wiles CE, Bagley S, Siegel JH. Relationships between resting and total energy expenditure in injured and septic patients. *Crit Care Med* 1994; 22: 1766-1804.
- 44- Carlson M, Nordenstrom J, Hedenstierna. Clinical implications of continuous measurement of energy expenditure in mechanically ventilated patients. *Clin Nutr* 1984; 3: 103-110.
- 45- Brandi LS, Santini L, Bertolini R, et al. Energy expenditure and severity of injury and illness indices in multiple trauma patients. *Crit Care Med* 1999; 27: 2684-2689.
- 46- Weeks E, Elia M. Observations on the patterns of 24- hour energy expenditure changes in body composition and gastric emptying in head-injured patients receiving nasogastric tube feeding. *J Parenter Enteral Nutr* 1996; 20: 31-37.
- 47- Bruder N, Raynal M, Pellissier D, et al. Influence of body temperature, with or without sedation, on energy expenditure in severe head-injured patients. *Crit Care Med* 1998; 26; 568-572.
- 48- Boullata J, Williams J, Cottrell F, et al. Accurate determination of energy needs in hospitalized patients. *J Am Diet Assoc* 2007; 107: 393-401.
- 49- Macdonald A, Hildebrandt L. Comparison of formulaic equations to determine energy expenditure in the critically ill patient. *Nutrition* 2003; 19: 233-239.
- 50- Barak N, Wall-Alonso E, Sitrin MD. Evaluation of stress factors and body weight adjustments currently used to estimate energy expenditure in hospitalized patients. *J Parenter Enteral Nutr* 2002; 26: 231-238.
- 51- 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.
- 52- Le Gall JR, Lemeshow S, Saulnier F. A new simplified acute physiology score (SAPS II) based on a European/ North American multicenter study. *JAMA* 1993; 270: 2957-2963.

- 53- Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, et al. APACHE II: A severity of disease classification system. *Crit Care Med* 1985; 13: 818-829.
- 54- Wolfe RR, Shaw JH. Effect of epinephrine infusion and adrenergic blockade on glucose oxidation in conscious dogs. *Metabolism* 1986; 35: 673-678.
- 55- Träger K, DeBacker D, Radermacher P. Metabolic alterations in sepsis and vasoactive drug-related metabolic effects. *Current Opin Crit Care* 2003; 9: 271-278.
- 56- Gore DC, Wolfe RR. Hemodynamic and metabolic effects of selective beta 1 adrenergic blockade during sepsis. *Surgery* 2006; 139: 686-694.
- 57- MacGregor DA, Prielipp RC, Butterworth JF 4th, et al. Relative efficacy and potency of beta-adrenoceptor agonists for generating cAMP in human lymphocytes. *Chest* 1996; 109: 194-200.
- 58- Eberhard B, Gerd A, Katja B, et al. Glucose metabolism and catecholamines. *Crit Care Med* 2007; 9: 508-518.
- 59- Watt MJ, Howlett KF, Febbraio MA, et al. Adrenalin increases skeletal muscle glycogenolysis, pyruvate dehydrogenase activation and carbohydrate oxidation during moderate exercise in humans. *J Physiol* 2001; 534: 269-278.
- 60- www.clinicalwindow.net/cw issue 04 article7.
- 61- www.clinicalwindow.net/cw issue 04 article10.
- 62- Lemmens HJ, Brodsky JB, Bernstein DP. Estimating ideal body weight-a new Formula. *Obes Surg.* 2005 ;15: 1082-3.
- 63- Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* 1999; 8: 135-160.
- 64- Swinamer DL, Phang PT, Jones RL, et al. Twenty-four hour energy expenditure in critically ill patients. *Crit Care Med* 1987; 15: 637-43.
- 65- van Lanschot JJ, Feenstra BW, Vermeij CG, et al. Calculation versus measurement of total energy expenditure. *Crit Care Med* 1986; 14: 981-5.
- 66- Martinez JLV, Martinez-Romillo PD, Sebastian JD, et al. Predicted versus Measured energy expenditure by continuous, online indirect calorimetry in ventilated, critically ill children during the early postinjury period. *Pediatr Crit Care Med* 2004; 5: 19-27.
- 67- Boulanger BR, Nayman R, McLean RF, et al. What are the clinical determinants of early energy expenditure in critically ill injured adults? *J Trauma* 1994; 37: 969-974.
- 68- Hwang TL, Huang SL, Chen MF. The use of indirect calorimetry in critically ill patients. The relationship of measured energy expenditure to injury severity score, septic severity score, and APACHE II score. *J Trauma* 1993; 34: 247-251.
- 69- Frankenfield DC, Omert LA, Badellino MM, et al. Correlation between measured energy expenditure and clinically obtained variables in trauma and sepsis patients. *JPEN J Parent Enteral Nutr* 1994; 18: 398-403.

- 70- Rodriguez DJ, Sandoval W, Clevenger FW. Is measured energy expenditure correlated to injury severity score in major trauma patients? *J Surg Res* 1995; 59: 455-459.
- 71- Alexander E, Susla GM, Burstein AH, et al. Restrospective evaluation of commonly used equations to predict energy expenditure in mechanically ventilated, critically ill patients. *Pharmacother* 2004; 24: 1659-1667.
- 72- Barak N. Assesment of resting energy expenditure in mechanically ventilated patients. *Am J Clin Nutr* 2004; 79: 341-2.
- 73- Faisy C, Guerot E, Diehl JL, et al. Assesment of resting energy expenditure in mechanically ventilated patients. *Am J Clin Nutr* 2003; 78: 241-9.
- 74- Ireton Jones C, Adjusted body weight, con: Why adjusted body weight in energy-expenditure Calculations. *Nutr Clin Prac* 2005; 20: 474-79.
- 75- Smyrnios NA, Curley FJ, Shaker KG. Accuracy of 30-min indirect calorimetry studies in predicting 24-hour energy expenditure in mechanically ventilated, critically ill patients. *J Parenter Enteral Nutr* 1997; 21: 168-74.
- 76- Frankenfield DC, Sarson GY, Blosser SA, et al. Validation of a 5- min steady state indirect calorimetry protocol for resting energy expenditure in critically ill patients. *J am Coll Nutr* 1996; 15: 397-402.
- 77- McClave SA, Spain DA, Skolnick JL. Achievement of steady state optimizes results when performing indirect calorimetry. *J Parenter Enteral Nutr* 2003; 27: 16-20.
- 78- Frankenfield D, Smith JS, Cooney RN. Validation of 2 approaches to predicting resting metabolic rate in critically ill patients. *J Parenter Eernal Nutr* 2004; 28: 259-64.
- 79- Shaw JHF, Wolfe RR: An integrated analysis of glucose, fat and protein metabolism in severely traumatized patients: studies in the basal state and the response to intravenous nutrition. *Ann Surg* 1998; 207: 63-72.
- 80- Cheng C.-H, Chen C.-H, Wong Y, et al. Measured versus estimated energy expenditure in mechanically ventilated critically ill patients. *Clin Nutr* 2002; 21: 165-172.
- 81- Vicari J, Watson P, Fagan D, et al. Measured resting energy expenditure: relationship to APACHE II score and obesity. *Nutr Res* 1995; 15: 777-784.
- 82- Chioloro RL, Revelly JP, Jequier E. Effects of catecholamines on oxigen consumption and oxigen delivery in critically ill patients. *Chest* 1991; 100: 1676-1684.
- 83- Esinger H, Weichel T, Linder KH, et al. Effects of norepinephrine, epinephrine and dopamine infusions on oxigen consumption in volunters. *Crit Care Med* 1993; 21: 1502-8.
- 84- Krishnan JA, Parce PB, Martinez A, et al. Caloric intake in medical ICU patients: Consistency of Care with guidelines and relationship to clinical outcomes. *Chest* 2003; 124: 297-305.

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince bilgi ve tecrübeleri ile eğitimime olan katkılarından dolayı hocalarım. Prof. Dr. Şeref OTELCİOĞLU. Prof. Dr. Semlin ÖKESLİ. Doç. Dr. Sema TUNCER. Doç. Dr. Cemile ÖZTİN ÖĞÜN. Doç. Dr. Jale Bengi ÇELİK. Doç. Dr. Ruhiye REİSLİ. Doç. Dr. Ateş DUMAN. Doç. Dr. Aybars TAVLAN. Yrd. Doç. Dr. Atilla EROL. Yrd. Doç. Dr. Ahmet TOPAL. Yrd. Doç. Dr. Gamze SARKILAR. Yrd. Doç. Dr. Hale ÇÖLLÜ BORAZAN. Yrd. Doç. Dr. Tuba Bera ERDEM'e; bilimsel birikimi ve öngörüsü ile yol gösterici olan tez danışmanım. hocam. ağabeyim Doç. Dr. Alper YOSUNKAYA'ya; bu çalışmanın yürütülmesi sırasındaki sabır ve içtenlikleri için tüm Reanimasyon Kliniği çalışanlarına; çalışmalarımın her aşamasında yanımda ve yardımımda olan arkadaşım Ayşe Mine BÜYÜKAVCI' ya ve dualarını esirgemeyen annem Melahat DAYIOĞLU' na teşekkürü borç bilirim.

Dr. Mürüvvet DAYIOĞLU