

T.C
GAZİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
GÖĞÜS HASTALIKLARI ANABİLİM DALI

MEKANİK VENTİLATÖRDE İZLENEN HASTALARDA YATIŞ KAPNOGRAF
ÖLÇÜMLERİNİN EKSTÜBASYON BAŞARISINI DEĞERLENDİRMEDEKİ YERİ

YOĞUN BAKIM ÜST İHTİSASI UZMANLIK TEZİ

Dr. EZGİ ÖZYILMAZ

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. GÜL GÜRSEL

OCAK 2009

TEŞEKKÜR

*Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı Yoğun Bakım Ünitesindeki uzmanlık eğitimimde ve tez çalışmamda çok büyük katkıları olan hocam **Sn. Prof. Dr. Gül Gürsel'e,***

*Klinik tecrübelerinden faydalanma fırsatı bulduğum, benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen tüm saygıdeğer **Göğüs Hastalıkları AD Öğretim Üyesi hocalarıma,***

*Birlikte çalışmaktan büyük keyif aldığım can dostum **Sn. Yrd. Doç. Dr. Müge Aydoğdu'ya,***

*Özverili ve iyi niyetli çalışmaları nedeniyle **beraber çalıştığım tüm asistan arkadaşlarıma,***

Tüm Göğüs Hastalıkları Yoğun Bakım Ünitesi çalışanlarına ve;

*Sevgilerini ve sonsuz desteklerini hayatım boyunca benden esirgemeyen **biricik aileme en içten teşekkürlerimle...***

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

1. GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER.....	6
2. MATERYAL METOD.....	38
3. SONUÇLAR.....	41
4. TARTIŞMA.....	50
5. ÖZET.....	56
6. SUMMARY.....	57
7. KAYNAKLAR.....	58

KISALTMALAR

APACHE : Acute Physiology Assessment and Chronic Health Evaluation

ARDS : Akut solunum sıkıntısı sendromu

CO₂: Karbondioksit

ETCO₂: End tidal CO₂ düzeyi

FIO₂: Fraksiyone inspire oksijen düzeyi

HYSİ : Hızlı yuzeyel solunum indeksi

Hospitalizasyon süre: Hastanede yatış süresi

MV: Minute ventilasyon (dakika ventilasyonu)

MV Süre: Mekanik ventilasyonda kalma süresi

PaCO₂- PETCO₂: Arterial kanda CO₂ parsiyel basıncı ile end tidal soluktaki CO₂ parsiyel basınç farkı

PEEP: Pozitif end ekspiratuar pressure

PIP: Peak inspiratuar pressure

ROC : Receiver Operating Characteristics

SOFA: Sequential organ failure assessment skoru

Ti: İnspiryum zamanı

Te: Ekspiryum zamanı

VCO₂: Elimine edilen CO₂ oranı

Vd alveoler: Alveoler ölü boşluk

Vd fizyolojik: Fizyolojik ölü boşluk

Vd/Vt: Ölü boşluk değeri

V/Q : Ventilasyon perfuzyon oranı

Vti: İspiratuar tidal volüm

Vte: Ekspiratuar tidal volüm

Vt mekanik: Mekanik ventilatör tarafından verilen ideal kiloya göre ml cinsinden tidal volüm

YBÜ Süre: Yoğun bakımda yatış süresi

GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER:

Karbondioksit (CO_2) vücutta aerobik ve anerobik metabolizma sonucu oluşan ve kan düzeyi üretim ile eliminasyonu arasındaki denge ile belirlenen bir moleküldür. CO_2 mitokondride üretildikten sonra venöz kana verilir. Venöz kan, CO_2 'yi alveoler asinüslere taşır, buradan da CO_2 alveoler boşluğa difüze olur ve ventilasyon ile vücuttan uzaklaştırılır. Ekspiryum havasında ölçülen CO_2 değeri yani PETCO_2 , akciğerde değişik düzeylerdeki ventilasyon ve perfüzyon sonucu oluşturulan ortalama alveoler CO_2 düzeyidir (91).

Kandaki karbondioksitin ölçümünde altın standart yöntem arteriel kan gazı incelemesidir ancak bu yöntem gerek ciddi ağrı, tromboz gibi yan etkileri olan invaziv bir yöntem olması gerekse pahalı ve anlık değeri gösteren bir yöntem olması nedeniyle özellikle yoğun bakım hastalarında sürekli ölçüm yapan alternatif yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır (46).

Kapnograf ekspiryum havasındaki karbondioksit (CO_2) (PetCO_2) düzeyi, fizyolojik ölü boşluk (V_d/V_t) gibi pek çok fizyolojik parametreyi ölçen ve sonuçları zaman veya volüm bazlı dalga formları ile gösteren non-invaziv bir yöntemdir. Ekspiryum havasında CO_2 ölçümü ile ilgili ilk deneyimler 1859'da Tyndall tarafından geliştirilmiş olmasına rağmen klinikte kullanımı 1970'lerin sonuna dayanır. 1978'de ilk defa ABD'de Dünya Yoğun Bakım Kongresinde özel bir toplantıda tanıtılmasından sonra kullanımı yaygınlaşmıştır. İlk kullanılan cihazlar nisbeten pahalı, ağır ve tartışmalı sonuçlar veren infrared spektrofotometri cihazları iken teknolojik gelişmeler ile daha küçük, taşınabilir ve ucuz cihazlar geliştirilmiştir.

Ekspiryum havasında CO_2 ölçümü kalorimetre denilen kimyasal reaksiyonlarla veya doğrudan CO_2 moleküllerinin ölçülmesi ile yapılabilir. Oksijen ve nitrojen gibi elemental gazlar infrared absorpsiyon ile tesbit edilemezler çünkü diatomik olan bu gazlar infrared ışığın absorpsiyonu için gerekli vibrasyonel modlarda değildirler. Buna karşın bazı diğer

gazlar bu bölgede infrared ışığı absorbe edebilirler ve CO₂ ölçümü ile etkileşebilirler. Örneğin nitroz oksit, infrared ışığı 3.9 μ ve 4.35- 4.60 μ arasında absorbe eder. Bu da ölçüm esnasında etkileşmeyi önlemek için gazın filtrasyonunu gerekli kılar (24).

Şekil1: Kapnograf



Acil servisler ve yoğun bakımlardaki uygulamada CO₂ moleküllerinin doğrudan ölçümü daha doğru sonuçlar vermektedir. Ekspiryum havasında CO₂ ölçümü ve bu ölçümle çizdirilen dalga formları dört farklı metod ile uygulanabilir. Bu yöntemler infrared spektrofografi, raman spektrofografi, kütle spektrofografi ve akustik spektrofografi yöntemleridir. Bunların içinde en sık kullanılan yöntem infrared spektrofavidir. Bu yöntem 4.3 μ m dalga boyunda kızıl ötesi ışığın bir chamberdan geçirilmesi ve bu sırada ne kadar CO₂'nin absorbe edildiğinin hesaplanması mekanizmasına dayanır (24).

Bir kapnograf cihazının ana akım (mainstream) veya yan akım (sidestream) analizatörleri olmak üzere iki tip analizatörü olabilir. Ana akım analizatörlerinde ekspiryum havasındaki CO₂'yi ölçmek için ventilatör devresine bir örnekleme penceresi yerleştirilirken yan akım analizatörlerinde ventilatör devresinden geçen CO₂'nin ölçülmesi için ekspiryum gazı devreden aspire edilir ve devre dışında bir sistemden ölçüm yapılır (8). Her iki yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Ana akım analizatörlerinin avantajı ekspiryum havasındaki CO₂'yi total ekspire edilen gazdan anında ölçmesi ve anlık doğru

bilgiler vermesidir. Dezavantajı, endotrakeal tüpe yerleştirildiğinden dolayı hastadaki sekresyonlar, su buharı gibi CO₂ düzeyini etkileyebilecek faktörlerden daha fazla etkilenmesidir. Bu sensörlerin ekspirasyon havasındaki suyun yoğunlaşıp ölçümü yanlış etkilememesi için en az 40 dereceye kadar ısıtılmaları önerilmektedir. Bir diğer önemli dezavantajı ise devre üzerine yerleştirilen analizatörün ağırlığıdır. Bu özelliği hastaların konforunu bozabilir, bası nekrozuna, yanıklara ya da endotrakeal tüpte gerilmeye neden olabilir. Ayrıca ana akım analizatörleri yalnızca entübe hastalarda kullanılabilirler. Yine doğrudan hastanın sekresyonları ile temasta olan bu sensörlerin tekrar kullanımları için dezenfeksiyonları da problem olabilir.

Yan akım analizatörleri ise bir miktar gazı genellikle 100- 300 ml/dk hızla hava yolundan alıp bir örnekleme tüpü içinde ölçüm yaparlar. En önemli avantajları daha hafif olmaları, hem entübe hem de entübe olmayan hastalarda kullanılabilmeleri, tek kullanımlık olmaları nedeniyle enfeksiyon kontrolünün daha kolay olması ve ucuz olmalarıdır. Buna karşın bu yöntemle ölçüm gazın başka bir yere transfer edilmesi nedeniyle ana akım analizatörlerine göre bir miktar gecikme ile ölçülür. Bu gecikme örnekleme hızına, örnekleme kateterinin uzunluğuna göre değişirken 1-60 sn arasında sürebilir. Bir diğer dezavantajı örnekleme tüpünün iç çapının dar olması nedeniyle su ile tıkanma olasılığının fazla olmasıdır. Son yıllarda çeşitli teknolojik yeniliklerle özellikle su ile tıkanmaların önüne geçilmiştir. Kapnografi cihazlarında ana veya yan akım tekniğinin seçimi klinik deneyime göre yapılmalıdır (1,3,24).

Mekanik ventilatörde izlenen her hastada sürekli kapnografik ölçüm gerekli midir?
Mekanik ventilatöre bağlı her hastada sürekli kapnografik ölçüm yapmak gereksizdir.

Kapnografinin endikasyonları:

- 1- Ekspiryum havasındaki CO₂ düzeyinin ölçülmesi istenen hastalar,
- 2- Akciğer hastalığının ağırlığının ve tedavi yanıtının izlenmesi
- 3- Endotrakeal tüpün yerinin değerlendirilmesi
- 4- Ventilatör devresinin devamlılığının sürekli monitorizasyonu
- 5- Mekanik ventilasyon desteğinin etkinliğinin değerlendirilmesi
- 6- Pulmoner, sistemik ve koroner kan akımının monitorize edilmesi
- 7- Hasta ventilatör uyumunun grafikler ile değerlendirilmesi
- 8- Vücuttan atılan CO₂'nin miktarının ölçülmesi ile metabolik hız ve/veya alveoler ventilasyonun düzeyinin değerlendirilmesi (3).

KAPNOGRAM:

Kapnografla çizdirilen ve hastanın ekspiryumunu sırasında ekspire ettiği havadaki CO₂ konsantrasyonunun zamana veya volüme karşı çizdirilen grafiğine kapnogram denir. Kapnogram bir inspirasyon ve üç ekspirasyon fazından oluşur. İlk faz (Faz I) ekspirasyonun başlangıcı ile başlar ve CO₂ tesbit edildiğinde sonlanır. Bu faz, iletilen hava yollarından gaz eliminasyonunu yani anatomik ölü boşluğu gösterir. Anatomik ölü boşluk üst solunum yolları ve bronşial ağacın yaklaşık ilk 16 dallanmasını içerir ve normal erişkinde 500 ml'lik tidal volümün 150- 180 ml'si bu bölgede yer alır. Kişinin boyu, kilosu, postürü, boynun ve çenenin pozisyonu, trakeostomi veya endotrakeal tüp varlığı anatomik ölü boşluğu etkiler. Akciğerlerin bu kısmı gaz alışverişine katılmadığından dolayı CO₂ tesbit edilemez.

Anatomik ölü boşluktaki gazın ekspirasyonundan sonra gelen faz II döneminde alveollerden gelen CO₂ anatomik ölü boşluktaki CO₂ ile karışır. Bu dönemde ekspiryum

havasında tesbit edilen CO₂ hızla artar. Faz II'nin yükseliş hızı ventilasyon/perfüzyon ile ilgili önemli bilgiler veren alveoler ölü boşluğu gösterir.

Kapnogram ile anatomik ölü boşluk grafiksel veya geometrik olarak hesaplanabilir. Grafik metodunda ölçüm için faz II yükselişinin X eksenine ile kesiştiği nokta bulunur. Bu nokta ekspire edilen volümü yani anatomik ölü boşluğu gösterir. Geometrik hesaplama yönteminde ise ölü boşluk elimine edilen CO₂'nin parsiyel basıncı veya ekspire edilen volümün yüzde konsantrasyonu üzerinden hesaplanır. Alveoler ölü boşluğun ani artışı ventilasyon perfüzyon bozukluğunu gösterir.

$$Vd_{\text{fizyolojik}} = Vd_{\text{anatomik}} + Vd_{\text{alveoler}}$$

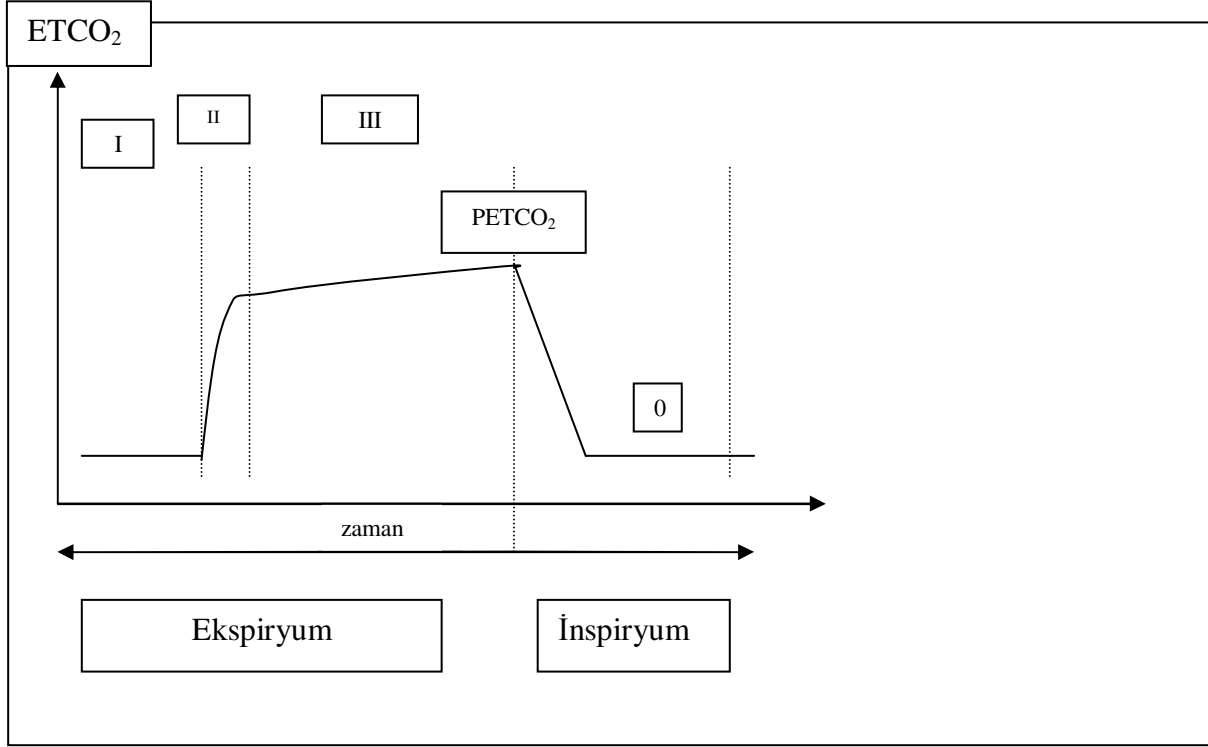
Faz II'den faz III'e geçiş yani alveoler gazın tesbit edildiği nokta "alfa açısı" olarak adlandırılır. Normalde bu açı 100- 110° civarındadır ve akciğerin ventilasyon/perfüzyonunun indirekt bir göstergesidir. Hava yolu obstrüksiyonu, kapnograf yanıt zamanı, yazdırma hızı ve respiratörün siklus zamanı açıda değişikliğe neden olur.

Faz III'te ise anatomik ölü boşluktaki hava tamamen boşalmıştır ve yalnızca alveollerden gelen hava mevcuttur. Faz III'teki CO₂ düzeyi genellikle hafif bir artışla karakterizedir, bazen bir plato şeklinde sabit de olabilir. Bu artışın nedenleri ekspirasyonun sonunda örneklenen alveoler gaz, CO₂ açısından ekspirasyonun başından daha zengindir çünkü pulmoner kapillerlerden alveol içine CO₂ atılımı ekspirasyon boyunca hemen hemen sabit düzeyde devam eder. Buna karşın ekspirasyonun sonunda atılan volum başına göre daha düşük olduğundan dolayı, CO₂ volüme göre daha konsantre olarak ölçülür. Faz III yani ekspirasyonun sonunda CO₂'nin en yüksek olarak ölçüldüğü nokta "end tidal CO₂ parsiyel basıncı" yani PETCO₂ olarak adlandırılır. Normalde PaCO₂- PETCO₂ arası farkın 5 mm Hg'dan daha az olması gerekir. Bu farkın azalması ölü boşluğun azaldığını gösterir.

Faz III ile inspiriyumun başladığı yani PCO₂'nin hızla azaldığı Faz 0 arasındaki yaklaşık 90°'lik açığa ise "beta açısı" denir. Beta açısı geri solumanın değerlendirilmesinde kullanılır. Hastada geri soluma olduğunda beta açısında artış izlenir. Bunun dışında kapnograf

yanıt zamanı, yazdırma hızı ve respiratörün siklus zamanı beta açısından değişikliğe neden olur.

Şekil 2: Normal kapnogram ve fazları



Kapnogramlar ve end tidal CO₂ düzeyindeki değişiklikler pek çok klinik sorun ile ilgili önemli ipuçları verir.

Kapnograf ve End tidal CO₂ düzeyinde değişikliğe neden olan durumlar:

A- Faz III Değişiklikleri:

1- Faz III eğiminde artış (Şekil 3):

- Akut bronkospazm
- Amfizem
- Astım

2- Faz III'te çentik (Şekil 4):

- Hastanın ekspirasyon sırasında spontan inspiryum çabası, hasta ventilatör uyumsuzluğu
- Mekanik ventilasyondaki kısmen paralize hastada diyafragmatik kontraksiyonlar

3- Yatay faz III ve PaCO₂-PETCO₂ farkında artış:

- Pulmoner Emboli
- Azalmış kardiyak output
- Hipovolemi

B- End tidal CO₂ düzeyinde değişiklikler:

1- End Tidal CO₂'in aniden sıfır olması:

- Özafagus entübasyonu
- Ekstübasyon
- Ventilatör devresinin dekonnekte olması
- Ventilatörün çalışmaması
- Total endotrakeal tüp obstrüksiyonu: Yüksek hava yolu basınçları ile birlikte

2- End Tidal CO₂'in aniden azalması ancak sıfır olmaması:

- Ventilatör devresinde veya endotrakeal tüpte kaçak (düşük hava yolu basınçları ile birlikte)
- Endotrakeal tüpün kısmen tıkanması (yüksek hava yolu basınçları ile birlikte)

3- End Tidal CO₂'nin kademeli olarak azalması:

- Kardiopulmoner olaylar: PaCO₂- PETCO₂ farkında artış ile birliktedir
- Ciddi hiperventilasyon

4- End Tidal CO₂'nin yavaş azalması:

- Hiperventilasyon
- Vücut ısısının düşmesi (Hipotermi)

- İnvasküler volümün giderek azalması (Hipovolemi)

5- End Tidal CO₂ düzeyinde aniden artış:

- Ateş
- Sodyum bikarbonat uygulaması
- Ekstremitelerde turnike bırakılması

6- End Tidal CO₂ düzeyinde yavaş artış:

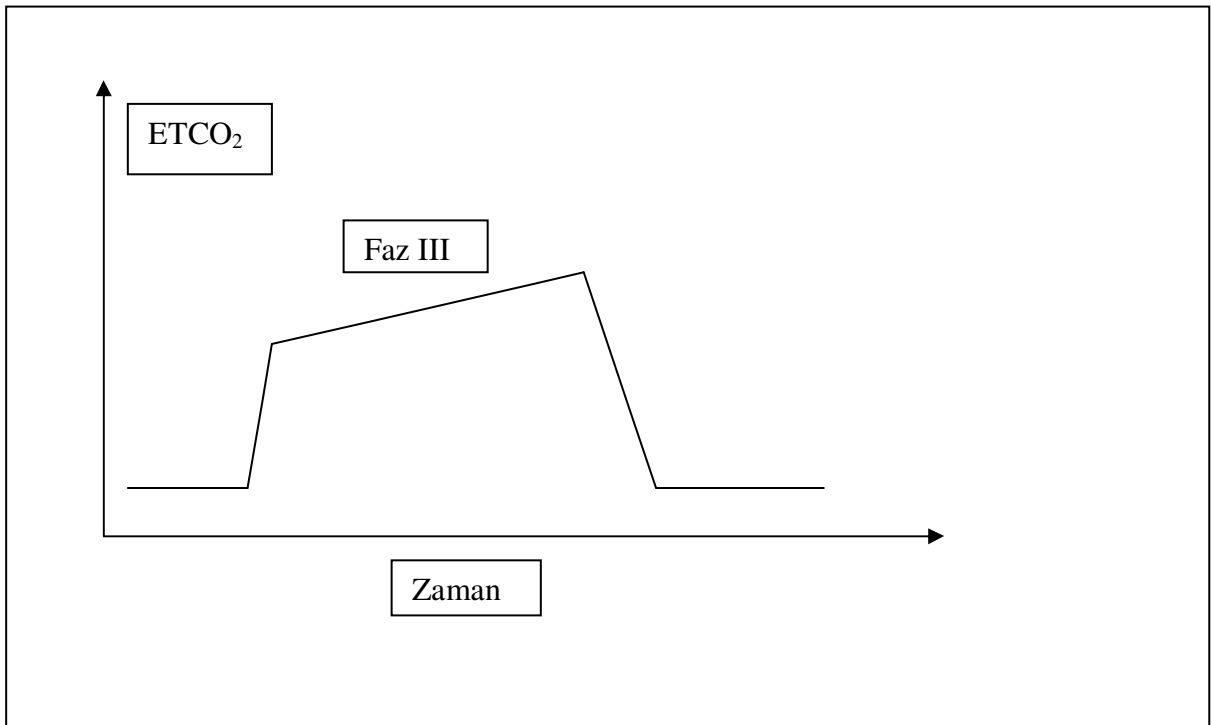
- Artmış vücut ısısı
- Hipoventilasyon

7- End Tidal CO₂ bazal düzeyinin artışı:

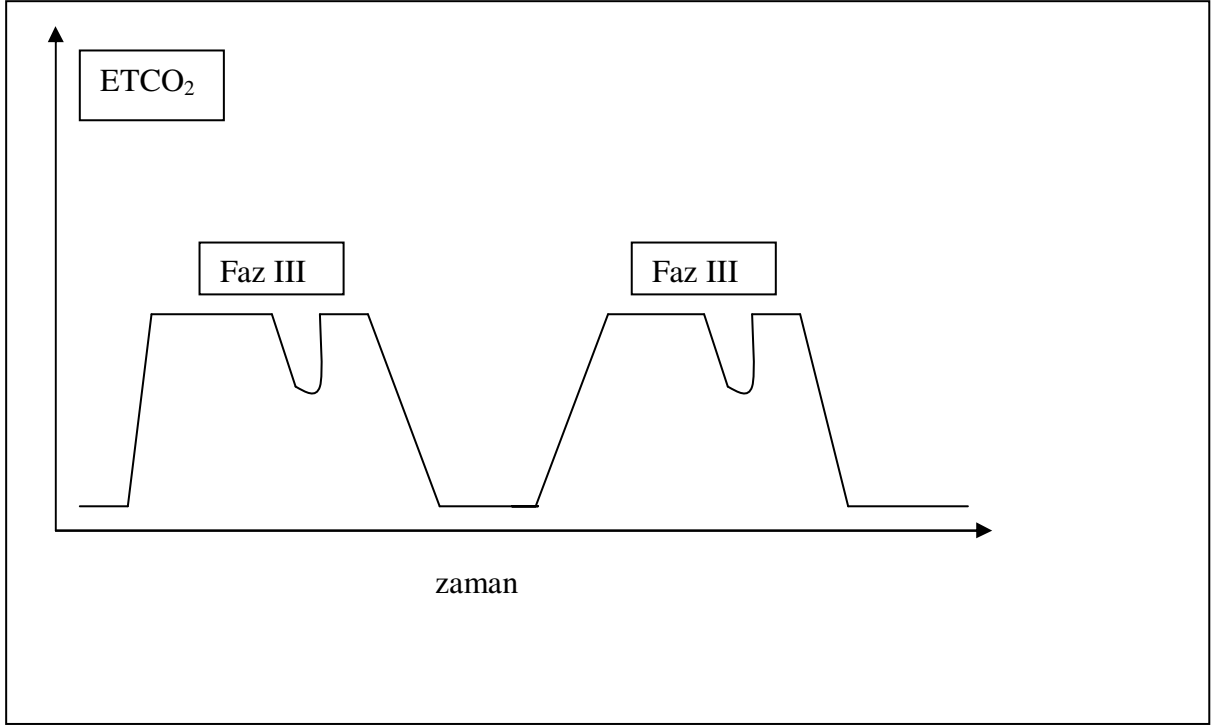
- Rebreathing
- CO₂ absorbanının eskimiş olması

Değişik patolojilerde izlenen kapnogramlar : (84)

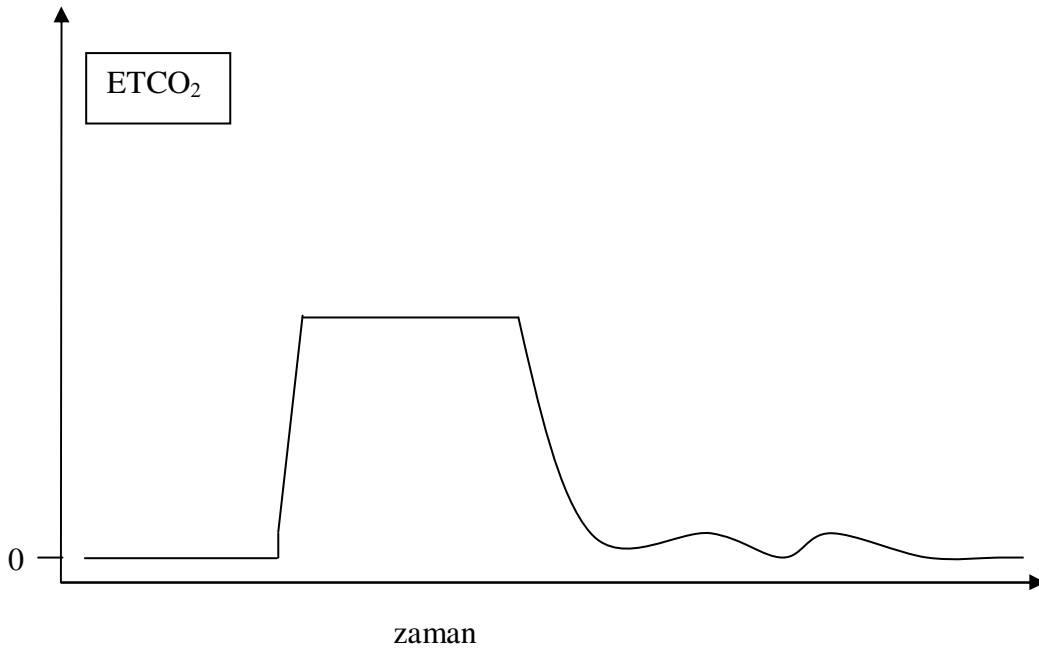
Şekil 3: Faz III çıkışında artma:



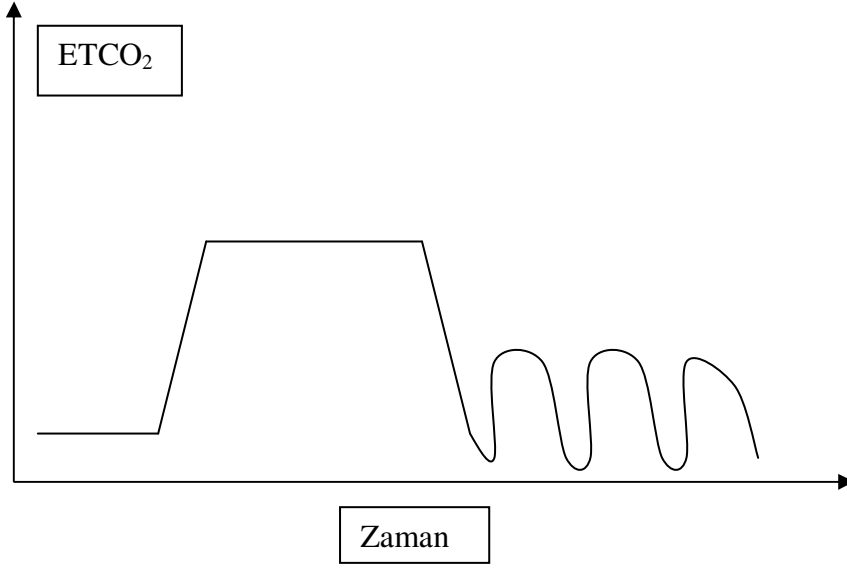
Şekil 4: Faz III'te çentik:



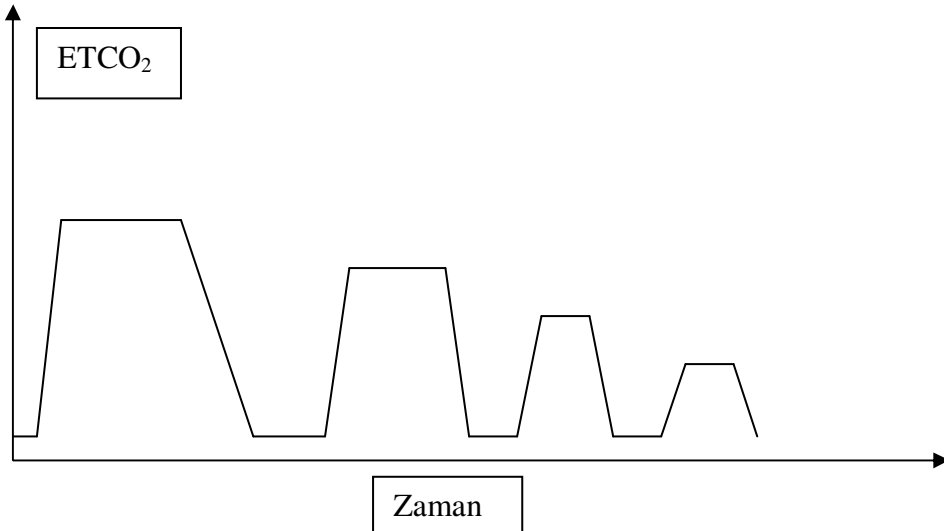
Şekil 5: PETCO₂'nin aniden azalması ve sıfıra yaklaşması



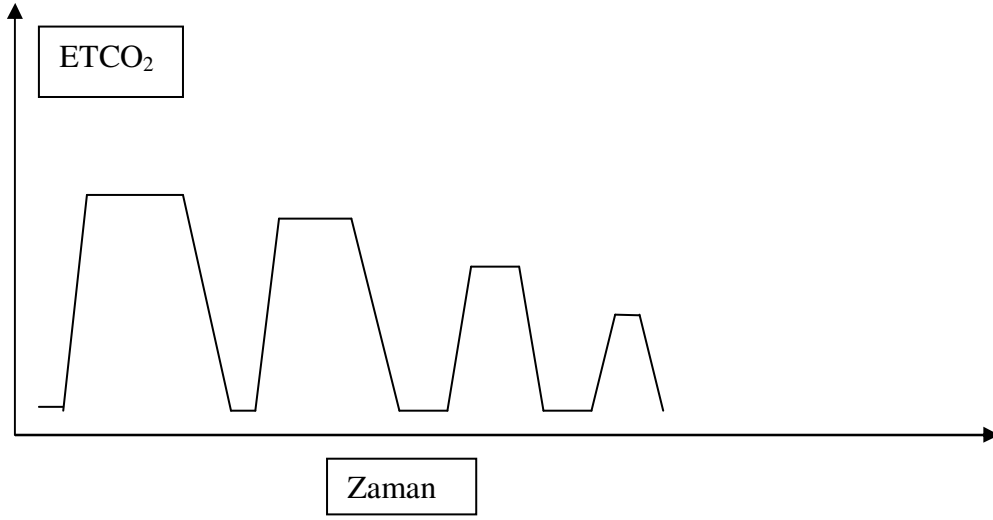
Şekil 6: PETCO₂'de ani azalma ve değerin sıfırın üzerinde seyretmesi



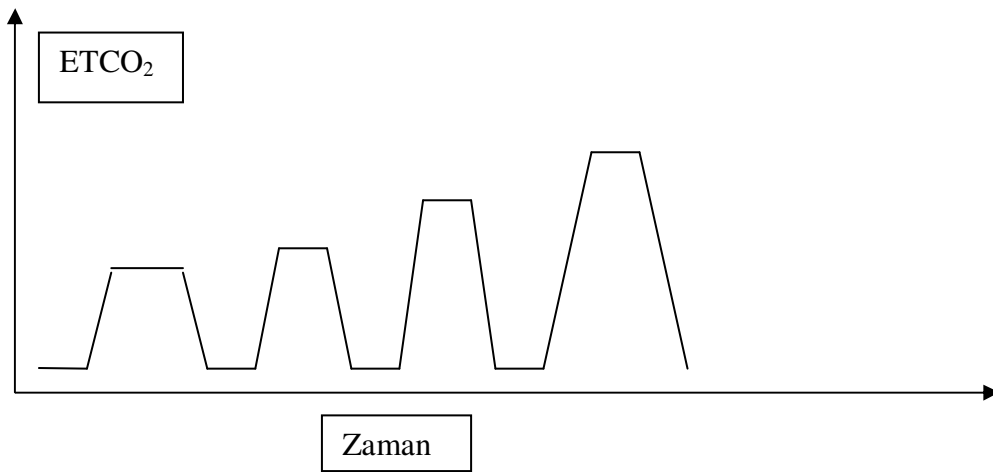
Şekil 7: PETCO₂'de kademeli olarak azalma: Traselerin şeklinde değişiklik yoktur ancak boyutunda giderek azalma söz konusudur.



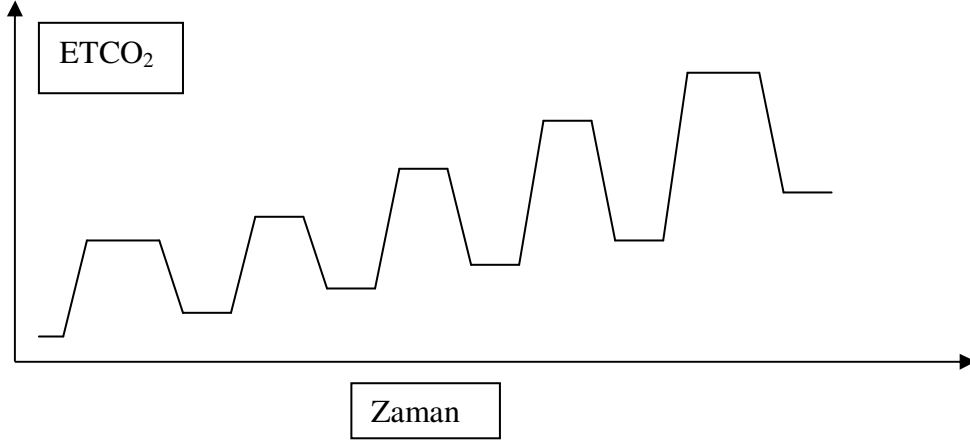
Şekil 8: ETCO_2 'de giderek (gradually) azalma, grafiklerin şeklinde bozulma yoktur. Bu durum hipotermi gibi metabolik hızın azaldığı durumlarda görülür.



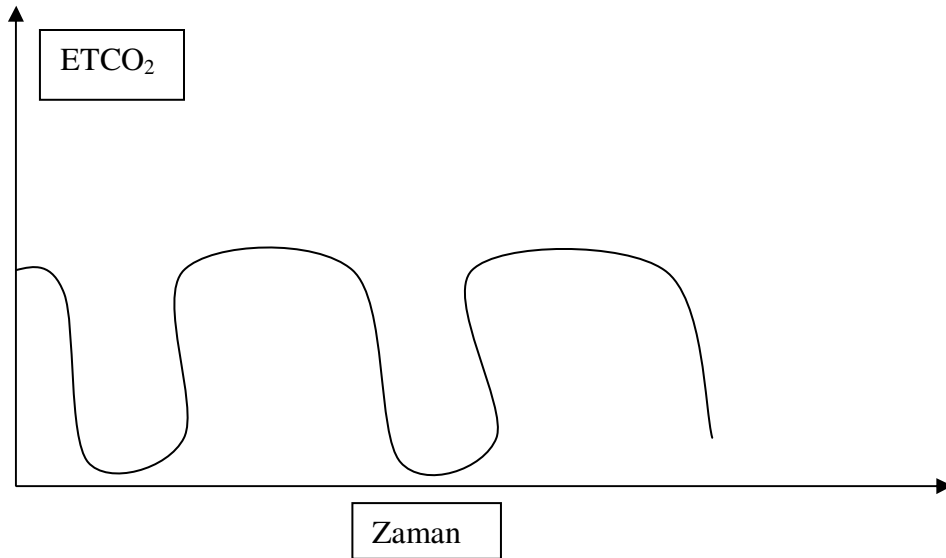
Şekil 9: Kapnogram trasesinde giderek artma, kapnogram şekilleri normaldir ancak PETCO_2 giderek artar. Bu durum özellikle metabolik hız artışında izlenir.



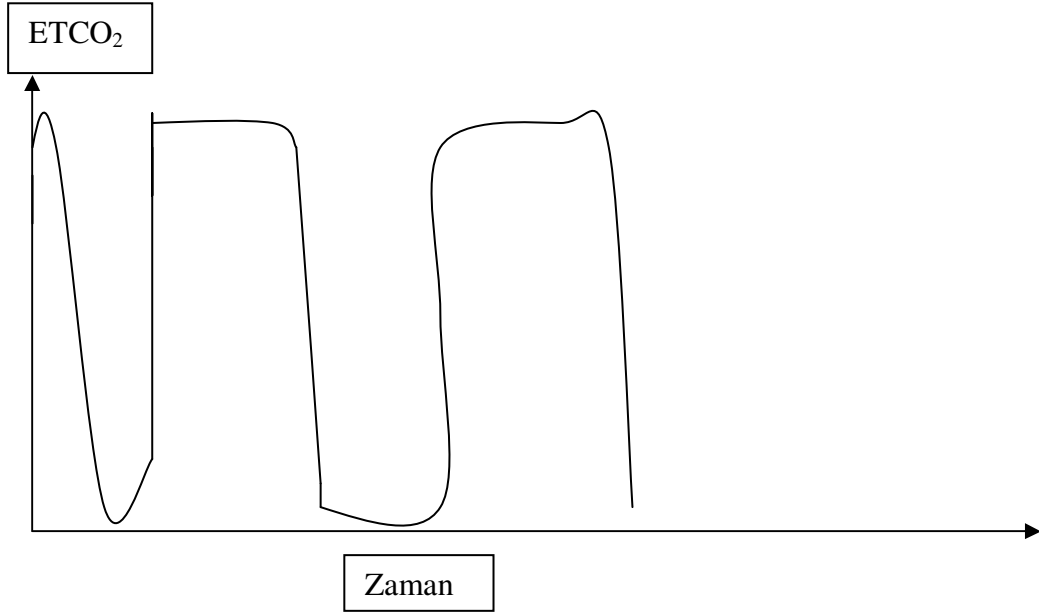
Şekil 10: Kapnogram trasesinde PETCO₂'de giderek arttığı bir patern izleniyor. En önemli nedeni exhale gazın rebreathing ile tekrar inspire edilmesidir. Bu nedenle inspiratuar fazda PCO₂ sıfıra dönmez.



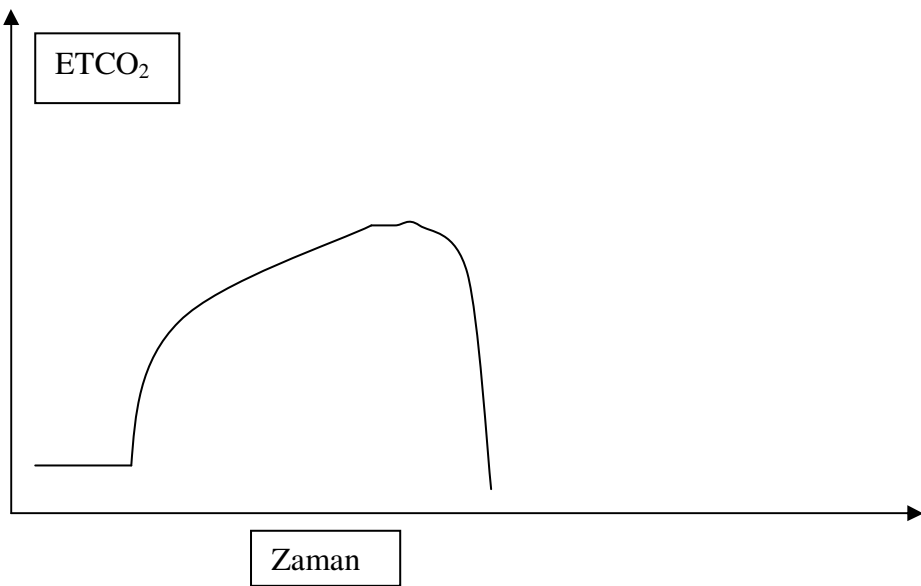
Şekil 11: Düşük end tidal CO₂ ile birlikte normal alveoler plato basıncı hiperventilasyon veya artmış ölü boşluk ventilasyonunda izlenir.



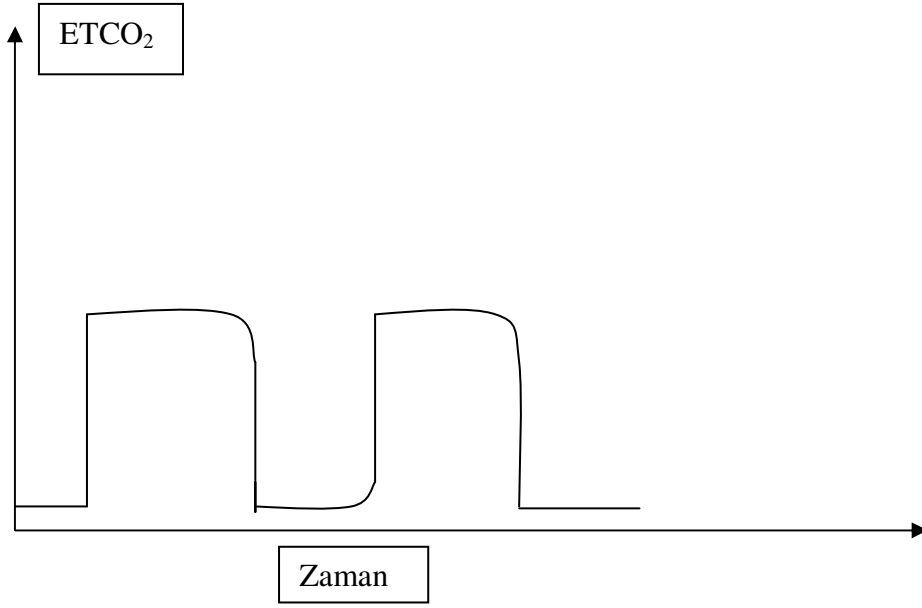
Şekil 12: End tidal CO_2 artışı ile birlikte normal alveoler plato basıncı hipoventilasyonu gösterir.



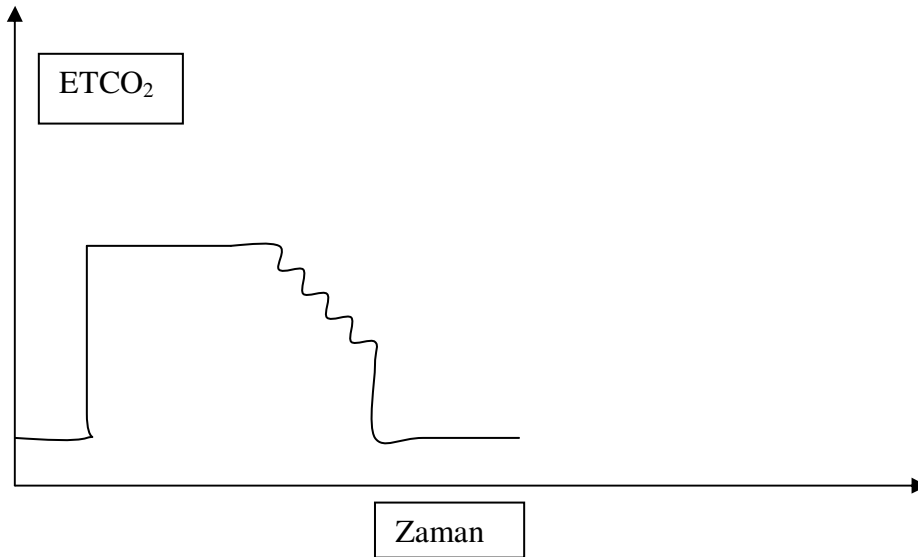
Şekil 13: Bronkodilatör tedavi öncesi bronkospazmda kapnograf trasesi



Şekil 14: Bronkodilatör tedavi sonrası kapnograf trasesi



Şekil 15: Kardiyojenik Osilasyonlar



İnspiratuar Faz (Faz 0) Anomalileri:

İnspiratuar fazda ossilasyon gösteren dalga formlarının izlenmesi kalp ve büyük damarların akciğer üzerine kontraksiyon ve relaksasyon ile basısı sonucu ortaya çıkabilir (42). Bu 'kardiojenik ossilasyonlar' kalp hızı ile uyum gösterir. Bu osilasyonların gelişiminde önemli faktörler intratorasik basınç, nabız, solunum sayısı, vital kapasite, inspiryum/ekspiryum oranı, tidal volüm ve kas relaksasyonlarıdır (67).

Pa CO₂- PETCO₂ Farkı:

Sağlıklı kişilerde PaCO₂ –PETCO₂ farkı genellikle 6 mm Hg'dan daha düşüktür. PET CO₂ düzeyi perfüze olan ve olmayan akciğer ünitelerini gösterir. Perfüze olmayan alveollerden daha düşük düzeyde bir PaCO₂ elde edilir. Dolayısıyla PaCO₂- PETCO₂ farkının açılması artmış alveoler ölü boşluğu gösterir. Kardiyak outputun azalması da pulmoner perfüzyonu azaltırken alveoler ölü boşluğun artmasına ve PaCO₂- PETCO₂ farkının artmasına neden olur (47).

Negatif PaCO₂- PETCO₂ farkı (PETCO₂> PaCO₂) oldukça nadirdir ancak genel anestezi altında yüksek tidal volüm ve düşük frekansla ventile edilen sağlıklı kişilerde görülebilir. Bu durumda iyi perfüze olan ve yavaş boşalan alveollerden çıkan yüksek düzeyde CO₂ ortalama arteriel CO₂'yi geçebilir (40). Yine gebelikte de azalmış fonksiyonel reziduel kapasite (FRK) ve komplians nedeniyle negatif PaCO₂- PETCO₂ gradienti bildirilmiştir. Azalmış FRK nedeniyle hava yolu direnci artar ve düşük kompliansla birleşince fazla miktarda alveolün yavaş boşalmasına neden olur. Bu alveollerden çıkan PCO₂ ortalamadan daha yüksek olur (12). Benzer bir durum kardiopulmoner bypass sonrası da izlenir. By-pass sonrası ventilasyon perfüzyon uyumsuzluğu ve azalmış fonksiyonel reziduel kapasite negatif PaCO₂- PETCO₂ gradientine neden olabilir (41).

Kapnograf ile ölçülen bir diğer değerli parametre ise ölü boşluk ventilasyonunu gösteren Vd/Vt değeridir. Ventilasyon ve perfüzyonun uyumu normal gaz değişimi için

gereklidir. Ölü boşluk ventile olan ancak perfüze olmayan akciğer alanlarını tanımlar. Total fizyolojik ölü boşluk üç komponentten oluşur:

- 1- Anatomik ölü boşluk: Burun farinks ve iletili hava yollarında gaz değişimine katılmayan ünitelerdir. Diğer adı Vd airway'dir.
- 2- Alveoler ölü boşluk: Ventilasyonu iyi ancak perfüzyonu kötü alveolleri tanımlar. West zon 1 olarak tanımlanan bölgedir.
- 3- Mekanik ölü boşluk: Mekanik ventilatör devreleri, ısı-nem değiştiriciler, nebulizatör veya inhaler için kullanılan hazneler mekanik ölü boşluğu oluşturur. Bazı kaynaklarda anatomik ölü boşluğun bir parçası olarak gösterilmektedir.

Normal kişide alveoler ölü boşluk yok denecek kadar az olduğundan dolayı fizyolojik ölü boşluk değeri anatomik ölü boşluğa yakındır. Fizyolojik ölü boşluğun tidal volüme oranı ise ölü boşluk ventilasyonunu gösterir (Vd/Vt). Ölü boşluk ventilasyonunun formülü şu şekildedir:

$$Vd / Vt = (PaCO_2 - PETCO_2) / PaCO_2$$

Bu oran Vt yani toplam tidal volümün alveollere ulaşmayan miktarının oranı (Vd) olarak tanımlanır. Vd/Vt'nin normali % 30- 50 arasında olmalıdır (92). Vd/Vt'yi etkileyen faktörler:

- 1- Rebreathing neden olan tüp ve valvler,
- 2- Hava yolu (Anatomik ölü boşluk)
- 3- Perfüze olmayan ancak ventile olan alveoller: Örneğin pulmoner emboli (alveoler ölü boşluk)
- 4- Perfüzyon ile karşılaştırıldığında alveolün aşırı ventilasyonu: Örneğin KOAH (alveoler ölü boşluğun bir başka formudur)
- 5- Şant ölü boşluk: Akciğerde sağdan sola şant olması ve yüksek CO₂ konsantrasyonu içeren venöz kanın arterial kana karışarak PaCO₂- PETCO₂ farkına neden olmasıdır. Bunlardan 3- 5. maddeler fizyolojik ölü boşluğu göstermektedir (50).

Vd/Vt değerini etkilemesi muhtemel bir diğer faktör de devredeki nemlendiricilerdir. Ancak kliniğinimizden daha önce yapılan bir çalışmada ısıtıcılı nemlendirici ve HME Booster (Heat moisture exchanger, ısı nem değiştirici) arasında ölü boşluk değerleri açısından anlamlı farklılık saptanmamıştır (48).

Normal kişilerde pulmoner kapiller kan ve alveoler gaz arasında CO₂ farkı çok az olduğundan dolayı end tidal PCO₂ alveoler ve arterial PCO₂'ye oldukça yakın bir değerdir. Normal kardiyorespiratuar fonksiyonları olan bir kişide fizyolojik ölü boşluk PaCO₂-PETCO₂ farkının en önemli belirleyicisidir. Kardiyopulmoner hastalığı olan kişilerde ise ventilasyon/perfüzyon oranı azalır, Vd'de anomaliler ve intrapulmoner şant meydana gelir ve tüm bunlar PaCO₂-PETCO₂ farkını etkiler. Yani PaCO₂-PETCO₂ farkının 5-6 mmHg'dan daha büyük olması ölü boşluk ventilasyonunu ve/veya venöz kanın akciğerlerden oksijenize olmadan geçişini gösterir. Normal kişilerde ise genel anestezi uygulandığında Vd/Vt'nin artışının nedeni kas paralizisine bağlı fonksiyonel reziduel kapasitede azalma olması ve buna bağlı olarak ventilasyon/perfüzyon dengesinin bozulmasıdır. Hava yolu obstrüksiyonu olan kişilerde ventilasyondaki heterojeniteler ölü boşluk ventilasyonunun nedenidir. Vd alveollerin arttığı durumlar ise çok, ciddi hipotansiyon, masif pulmoner emboli ve düşük kardiyak outputa neden olan durumlardır. Vd airway akciğer overdistansiyonu olduğunda ve uzun ventilatör devresi ile artar. Endotrakeal tüpte tıkaç olması, tüp çapının küçük olması, ısı nem değiştiriciler ve diğer temel konektörler de ölü boşluğu arttırabilir ve düşük tidal volüm veya düşük dakika ventilasyonu sonucu hiperkapniye neden olabilir. Anatomik ölü boşluk nisbeten sabit olduğundan tidal volümün azalması Vd/Vt oranının artışı ile ilişkilidir (63).

KAPNOGRAFINİN KLİNİKTE KULLANIMI:

Kapnografi bugün için acil servisler, yoğun bakım üniteleri ve uzun süreli bakım ünitelerinde yaygın şekilde kullanılan bir cihazdır. Temel kullanım alanları:

- 1- Solunumun değerlendirilmesi,
 - 2- Dolaşımın değerlendirilmesi,
 - 3- Metabolizma hızının değerlendirilmesi,
 - 4- Weaning ve ekstübasyon başarısının değerlendirilmesi,
 - 5- Diğer
- olarak beş ana başlıkta sınıflandırılabilir.

Solunumun Değerlendirilmesinde Kapnografi:

Mekanik ventilatöre bağlı hastanın entübasyondan itibaren kapnograf ile monitorizasyonunun solunumun değerlendirilmesinde çok çeşitli avantajları mevcuttur. Klinik pratikte en yaygın kullanım alanı endotrakeal tüp yerinin değerlendirilmesidir ve bugün için kapnograf, endotrakeal tüp yerinin değerlendirilmesinde standart bir yöntem olarak kabul edilmektedir (23, 90). Özafagus veya mide entübasyonu uygulanmış kişilerde üst gastrointestinal sistemden CO₂ üretimi olmadığından dolayı exhale havada CO₂ tesbit edilemez. Nadiren de olsa yakın zamanda gazlı içecekler içmiş kişilerde, entübasyondan önce uzun süre maske ile ventilasyon uygulanmış kişilerde ve endotrakeal tüp farinkse yerleştirildiğinde ekspiryum havasında bir miktar CO₂ tesbit edilse bile kapnografte düzenli dalga formları izlenemez (3, 23). Yapılan bir çalışmada Roberts ve arkadaşları neonatal bir hasta popülasyonunda kapnografin endotrakeal tüpün yerini % 98 doğrulukla ve 1.6 ± 2.4 saniye hızla tesbit ettiği bildirilmiştir (76). Bir başka araştırmada Birmingham ve arkadaşları tek başına klinik değerlendirmenin endotrakeal tüpün yerinin değerlendirilmesinde yeterince güvenilir olmadığı gösterilmiştir (13). Yine Kannan ve arkadaşları, kapnografinin yoğun

bakım ünitesinde hasta güvenliğini arttırmak için trakeal entübasyonun monitorizasyonunda kesin gerekli bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir (57). Bugün için Amerikan Kardiyoloji Derneği (AHA) infant ve çocuklarda endotrakeal tüp yerinin değerlendirilmesinde kapnografiyi kuvvetle önermektedir (6). Bunun yanı sıra perfüzyonun olmadığı kardiyak arrest, ciddi hava yolu obstrüksiyonu ve masif pulmoner emboli durumlarında endotrakeal tüp olması gereken lokalizasyonda olmasına rağmen ETCO₂ tesbit edilemeyeceğinden dolayı tüp yerinin direkt laringoskop ile konfirme edilmesi önerilmektedir (23).

Endotrakeal entübasyon konfirme edildikten sonra pek çok yazar sürekli kapnografi monitorizasyonunun yapay hava yolu bütünlüğünün değerlendirilmesinde faydalı olduğu görüşünü savunmaktadır (32, 68, 83). Sürekli PETCO₂ monitorizasyonu akut hava yolu obstrüksiyonu, ventilatör devresinin dekonneksiyonu ve self ekstübasyonun erken tanısında ventilatör alarmları ile birlikte önemli rol oynar (3), ETCO₂'in aniden sıfırlandığı bir anda unutulmadan ilk bakılması gerekenlerden biri de kapnografin ventilatör devresinden ayrılması olmalıdır. 2002 yılında bildirilen Joint Commission Sentinel Event Alert raporunda 19 ventilatörle ilişkili ölüm ve 4 kalıcı nörolojik hasarın % 65'inden yetersiz alarmlar, % 52'sinden endotrakeal tüp veya ventilatör devresinin dekonnekte olması ve % 26'sından da endotrakeal tüp dislokasyonunun sorumlu olduğunu, bunun yanı sıra bu komplikasyonların hiçbirinden ventilatör bozukluğunun sorumlu olmadığını bildirilmiştir (83). Yine AHA, entübe hastalarda hava yolu bütünlüğünün güvenli bir şekilde değerlendirilmesi için hastane içi ve dışı hasta transportunda kapnografinin kullanılmasını önermektedir (6).

Oksijen kullanımı gibi CO₂ üretimi de devam eden bir süreçtir. Kapnografi akciğerlerden birim zamanda elimine edilen CO₂ (VCO₂)'yi monitorize etmek için de kullanılabilir (ml/dakika). VCO₂, ventilasyon, perfüzyon ve çok az da olsa difüzyondan etkilendiğinden dolayı mekanik ventilatördeki hastada kardiyorespiratuar durumun değerlendirilmesinde faydalı bilgiler sağlayabilir. VCO₂, ventilasyon ve perfüzyondaki anlık değişiklikleri göstermede kullanılabilir (23).

Mekanik ventilatördeki hastanın en uygun şekilde desteklenmesi için gereken optimum PEEP değerinun uygulanması gereklidir. İdeal PEEP değeri optimal akciğer volümünü, en düşük FIO₂ ile en iyi oksijenizasyonu, en iyi pulmoner kompliansı ve en yüksek kardiak outputu sağlayan değerdir. Her hastada tüm bu bileşenleri en uygun şekilde sağlayan PEEP değeri bulunamasa bile klinisyenin rolü bu hedeflere en yakın değerleri elde etmektir. Mekanik ventilatörde izlenen hastada optimal PEEP değeri volümetrik kapnograf ile ölçülen VCO₂ değerinun yardımıyla bulunabilir. Akciğer volümündeki değişiklikler ve bunun pulmoner kan akımı üzerine olan etkileri CO₂ eliminasyonunu olumsuz yönde etkileyebilir. Teorik olarak optimal akciğer volümü CO₂ eliminasyonunda geçici artış yapan değerdir. Bu nedenle VCO₂, optimal PEEP değerinun belirlenmesinde PETCO₂'den daha faydalı bilgiler verebilir (18, 53). Bunun dışında yüksek PEEP uygulandığında anatomik ölü boşluk artar. Anatomik ölü boşluğun artışı kapnogramın faz 1 aşamasında izlenebilir ve bu durumda PEEP'in azaltılması alveoler dakika ventilasyonunu iyileştirebilir. Yine azalmış VCO₂ ile birlikte kapnograf dalga formunun faz 2 çıkışının azalması da aşırı PEEP'in göstergesidir (26, 31, 69). Aşırı PEEP'e sekonder gelişen intratorasik basınç artışı ve azalmış pulmoner perfüzyon, sistemik venöz dönüşün azalmasına ve pulmoner vasküler direncin artışına neden olur. Azalmış pulmoner kan akımı da CO₂ eliminasyonunu azaltır (22). Kapnograf dalga formunun faz 3 dönemi alveoler düzeyde gaz dağılımının göstergesidir. Faz 3 çıkışında artış gaz dağılımının bozuk olduğunu yani gerekenden daha düşük bir PEEP değeri ayarlandığının göstergesidir (23). Bu konuda Suter ve arkadaşlarının yaptıkları ilk çalışmada VCO₂, ETICO₂ gibi kapnografik verilerin ARDS'li hastalarda optimum PEEP düzeyinin belirlenmesi amacıyla kullanılabileceği düşünülmüştür (81). Daha sonra Blanch ve arkadaşları çeşitli nedenlere bağlı akut solunum yetmezliği olan 13 erişkin hastada PaCO₂- PETICO₂ gradientinin optimum PEEP düzeyinin belirlenmesinde kullanılabileceğini göstermiştir (14). Aynı grubun daha sonra 9 ALI, 9 ARDS ve 8 normal kişide yaptıkları çalışmalarında ise volümetrik kapnograf ile ölçülen değişkenlerin akciğer hasarının derecesi ile korele olduğu

ancak PEEP düzeyinden etkilenmediği gösterilmiştir. Beydon ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada solunumsal mekanik ölçüm değerlerinin optimum PEEP düzeyini belirlemede faydalı olmadığı gösterilmiştir (11). Yeni yayınlanan Maisch ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma ile V_d/V_t oranının optimum PEEP değerinin belirlenmesindeki yeri tekrar desteklenmiştir (64).

Dakika volümü (MV) mekanik ventilatörde izlenen hastanın akciğerlerine bir dakikada verilen gazın miktarını gösterir. Teorik olarak tidal volüm ve solunum sayısının çarpımına eşittir. MV değeri hastaya 1 dakikada verilen volüm miktarı olmasına rağmen bu değer alveoler düzeyde gaz değişiminin tam doğru bir göstergesi değildir çünkü MV değeri aynı zamanda ölü boşluk ventilasyonunu da içerir. Volümetrik kapnograf ile alveoler MV takip edilebilir (23).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda kapnografta aynı zamanda akut solunum sıkıntısı sendromu (ARDS) olan hastalarda prognozda yararlı bir göstergesi olabileceği bildirilmiştir. Nuckton ve arkadaşlarının çalışmalarında ARDS'li hastalarda 1. günde ölçülen artmış fizyolojik ölü boşluk solunumunun hastalık ağırlığı ve akciğer kompliansından bağımsız olarak mortalitede anlamlı düzeyde artmayla seyrettiği bildirilmiştir (70). Bir takip çalışmasında Kallet ve arkadaşları ARDS'li hastalarda ilk 6 günde V_d/V_t oranının > 0.55 olmasının mortalitenin bağımsız bir göstergesi olduğu bildirilmiştir (56). Gursel ve arkadaşları ise ARDS'li hastalarda recruitment manevrasının V_d/V_t üzerinde anlamlı değişikliğe yol açmadığını göstermişlerdir (49). Yeni yayınlanan bir araştırmada Avrupa-Amerika konsensus kriterlerine göre akut akciğer hasarı (ALI) olan hastalarda artmış pulmoner ölü boşluk fraksiyonu artmış mortalite ve daha az ventilatörden ayrı gün ile korele, PaO_2/FIO_2 oranı ile ters korele olarak bulunmuştur (Eksitus V_d/V_t : 0.61 ± 0.08 vs Taburcu V_d/V_t : 0.52 ± 0.11 , $p = 0.008$). Bu çalışmanın ilginç bir başka sonucu ise sistolik pulmoner arter basıncı ile V_d/V_t arasında zayıf bir korelasyon bulunmasıdır (21).

Dolaşımın Değerlendirilmesinde Kapnograf:

Normal ventilasyon ve perfüzyonu olan kişilerde PETCO₂ alveoler ve arterial CO₂'nin belirlenmesinde güvenilir ve non invaziv bir yöntemdir. Alveoler ventilasyon sabit kaldığında perfüzyon azalmasından da etkilendiğinden dolayı kapnografi sistemik kan akımı ile ilgili de faydalı bilgiler verir. Sistemik kan akımının azaldığı durumlarda pulmoner kan akımı da azaldığından dolayı alveoler ventilasyon değişmese bile exhale edilen CO₂ miktarı (PETCO₂) azalır. Kardiyak arrest durumunda dolaşım olmadığından dolayı PETCO₂ ya hiğ ölçülemez ya da çok düşük düzeylerde ölçülür. Kardiyak arrest olmadan sistemik kan akımını düşüren ciddi hipotansiyonda da benzer mekanizma ile PETCO₂ azalır (3).

Yapılan çeşitli araştırmalarda kapnograf ile ölçülen PETCO₂ ve VCO₂ değerleri kardiyak arrest durumunda CPR'ın etkinliği ve spontan dolaşımın geri gelmesinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek faydalı yöntemler olarak bulunmuştur (9, 19, 44, 61).

Kalenda ve arkadaşları PETCO₂ düzeyinin göğüs kompresyonlarının etkinliği ile korele olduğunu göstermişlerdir (55). PETCO₂ aynı zamanda kardiopulmoner resusitasyonun prognozunu değerlendirmede de kullanılmış ve CPR'ın 20. dakikasından sonra PETCO₂ değeri < 10 olan hastalarda mortalitenin % 100 olduğu gösterilmiştir (61). Daha sonra Moon ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada da kardiyak arrestten sonraki erken dönemde PaCO₂-PETCO₂ farkının yüksek olması, yüksek Vd/Vt ile birlikte mortalitenin bağımsız bir göstergesi olarak bulunmuştur (66). CPR esnasında ETCO₂ değerlendirilirken unutulmaması gereken bir nokta ise yüksek doz epinefrin ve sodyum bikarbonat kullanıldığında ETCO₂ değerinde yükselme izlenebileceğidir. Epinefrine bağlı ETCO₂ yükselmesinin muhtemel nedeninin kardiyak output artışı olduğu düşünölmektedir (30, 39).

Kapnograf ile yapılan ölçümler alveoler ventilasyon devam ederken pulmoner kan akımı ile ilgili faydalı bilgiler verdiğinden dolayı pulmoner emboli gibi kan akımını etkileyen durumlarda da gerek tanıda gerekse tedavi başarısının değerlendirilmesinde başarılı bir

şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir (25, 87, 88). Pulmoner embolide ventilasyonu devam eden akciğer ünitelerinde perfüzyon bozulduğundan dolayı PETCO₂ değeri azalır ve PaCO₂-PETCO₂ farkında artış izlenir. Chopin ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada KOAH'a bağlı akut solunum yetmezliği olan hastalarda PaCO₂- PETCO₂ farkının 12 ± 6.9 mm Hg olmasının pulmoner anjiyografiye göre pulmoner emboli tanısındaki sensitivitesinin % 74 olduğu gösterilmiştir. Aynı çalışmada PaCO₂- PETCO₂ farkının 1 ± 2.4 mm Hg olmasının pulmoner emboli tanısındaki spesifitesi % 100 olarak bulunmuştur (25) Yapılan bir başka çalışmada volümetrik kapnograf ile ölçülen geç ölü boşluk değeri, pulmoner emboli tanısında PaCO₂- PETCO₂ değerinden daha değerli bulunmuştur (88). Hogg ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmaya acil servise plöretik göğüs ağrısı şikayeti ile başvuran 425 hasta alınmış ve her hastada pulmoner ölü boşluk değeri üç bağımsız metod ile hesaplanmıştır. Daha sonra hastalara pulmoner emboli tanısı için gerekli tetkikler yapılmış ve tedavi başladıktan sonra da tüm hastalar üç ay boyunca takip edilmişleridir. Sonuç olarak her üç formülün de (Bohr, Enghoff ve kapiller Enghoff) sensitivitesi yüksek ancak spesifitesi oldukça düşük bulunmuştur (51). Daha sonra Sanchez ve arkadaşlarının 270 pulmoner tromboemboli şüpheli hastada yaptıkları çalışmalarında tüm grup için kapnografi ile ölçülen ölü boşluk değerinin pulmoner emboli tanısında sensitivitesi % 68.5, spesifitesi % 81.5 olarak bulunmuştur. Tüm grubun % 16.6'sında düşük klinik olasılık ve normal kapnografi ($V_d/V_t < 0.15$) ve % 12.6'sında ise yüksek klinik olasılık ve anormal kapnografi ($V_d/V_t > 0.15$) sonuçları bulunmuştur. Tartışmada kapnografik ölçümlerin tek başına pulmoner emboliyi dışlamada yetersiz olduğu ancak klinik olasılık ile birlikte değerlendirildiğinde % 30 hastada ileri incelemelere gerek kalmadan tanıyı koyduğunu göstermiştir (78).

Bunların dışında kan basıncında santral venöz basınçta ve kalp hızında anlamlı değişiklik olmadan PETCO₂ değerinin ani ve hızla azalmasının hava embolisini de işaret edebileceği bildirilmektedir (30)

Kapnografi ile ölçülen fizyolojik ölü boşluğun arttığı bir diğer durum kardiyak outputta azalma ve ventilasyonda artış ile kendini gösteren ileri dönem kalp yetmezliğidir. Tanabe ve arkadaşlarının bu konuda yaptıkları araştırmalarında ileri dönem kalp yemezlilikli hastalarda egzersiz esnasında ventilasyon perfüzyon dengesizliğine bağlı olarak azalmış ETCO_2 değerinin egzersize yanıt olarak kardiyak outputtaki azalmayı yansıttığı gösterilmiştir. Sonuç olarak egzersiz esnasında ölçülen ETCO_2 değerinin kronik kalp yetmezlikli hastalarda fonksiyonel kapasitenin değerlendirilmesinde kullanılabileceği bildirilmiştir (82). Daha sonra yapılan bir başka çalışma da bu sonucu destekler nitelikte sonuçlanmıştır (89).

Metabolik Hızın Değerlendirilmesinde Kapnograf:

Yoğun bakımda yatan hastada günlük kalori ihtiyacının kesin olarak belirlenmesi oldukça zordur çünkü istirahatteki enerji gereksinimi, motor aktivite, ağrı, ateş, kullanılan ilaçlar ve akut hastalık gibi pek çok faktör enerji ihtiyacını etkiler. Hastaya gerekenden daha az kalori verilmesi enfeksiyonlara duyarlılığın artmasına, yara iyileşmesinin gecikmesine ve artmış katabolik duruma neden olurken aşırı kalori verilmesi ise CO_2 üretiminde artışa, yağ sentezine, birikimine ve hiperglisemiye neden olur. İndirekt kalorimetri yoğun bakımda yatan hastada kalori ihtiyacını belirlemede faydalı bir yöntemdir. Enerji harcanması doğrudan dokuların oksijen tüketimi ve CO_2 üretimine bağlı olduğundan dolayı kapnografi CO_2 üretiminin belirlenmesinde (VCO_2) kullanılabilir ve bu değer Wier eşitliğine göre günlük kalori ihtiyacının doğru şekilde belirlenmesini sağlayabilir (24). Ancak kapnografin bu amaçla kullanımı özellikle pulmoner sorunlar nedeniyle yoğun bakıma yatırılan hastalar için uygulaması tartışmalı bir yöntem olabilir. Nitekim, pulmoner problem nedeniyle yoğun bakım ünitesine yatırılan hastalarda VCO_2 akciğer mekanikleri veya kardiyovasküler sistem ile ilgili pek çok faktörden etkilenir. Bu nedenle VCO_2 artışının metabolik ihtiyacın artmasının doğrudan bir göstergesi olmayabileceği hatırlanmalıdır. Yine istirahatte enerji tüketimi

denilen resting energy expenditure (REE) hesabı için VO_2 de gereklidir ancak kapnograf bu parametreyi ölçemez.

Weaning ve ekstübasyon başarısının değerlendirilmesinde kapnograf:

Mekanik ventilasyon süresinin kısaltılması yoğun bakım hastasında gerek mortaliteyi gerekse hastanede yatış süresi, yoğun bakımda yatış süresi ve maliyeti azaltan en önemli yaklaşımlardan biridir. Başarılı ekstübasyon hasta ile ilgili tüm parametreleri olumlu yönde etkilerken ekstübasyonun başarısız olması ve reentübasyon gerek mortaliteyi gerekse morbiditeyi oldukça olumsuz yönde etkiler. Tüm bu nedenlerden dolayı hangi hastanın ne zaman mekanik ventilatörden ayrılabilceğinin tahmin edilmesi için klinik değişkenlere ek olarak pek çok fizyolojik parametre geliştirilmiştir. (15).

Kapnografi ile yatakbaşı noninvaziv olarak hızlı bir şekilde ölçülebilen fizyolojik ölü boşluk (V_d/V_t) solunumunun ekstübasyon başarısını tahmin edebileceğini gösteren çalışmalar da vardır. Hubble ve arkadaşlarının çalışmalarında V_d/V_t 'nin ≤ 0.50 olması % 96 hastada başarılı ekstübasyonu işaret ettiği bulunmuş (52). Yine Bousso ve arkadaşlarının 86 çocukta ekstübasyon başarısızlığının tahmininde V_d/V_t 'nin değerini inceledikleri çalışmalarında V_d/V_t 'nin < 0.65 olmasının ekstübasyon başarısının tahmininde başarılı olduğu bulunmuştur (17). V_d/V_t 'nin weaning ve ekstübasyon başarısını tahmin etmedeki yerini araştıran çalışmaların sayısı çok fazla olmayıp bunların çoğu da pediatrik hasta gruplarında yapılmıştır.

Yoğun Bakımda Kapnografi Ölçümlerinin Diğer Katkıları:

Yoğun bakım ünitelerinde kapnografi sadece endotrakeal tüpün değil aynı zamanda gastrik veya duodenal beslenme sondalarının yerinin değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Beslenme sondalarının yerinin değerlendirilmesinde en sık kullanılan yöntem olan oskültasyon ile duyulan ses ana bronşa yerleşmiş bir tüpten çıkan sese çok benzer. Bu nedenle

kapnograf ile ETCO_2 'nin ölçülemeyecek kadar düşük düzeyde saptanması ile gastrik tüpün yeri kesinleştirilebilir. Böylece hastada aspirasyon gibi ciddi komplikasyonlar önlenmiş olur.

Kapnografinin Kontrendikasyonları:

Mekanik ventilatöre bağlı bir hastada kapnografin bildirilen herhangi bir kontrendikasyonu yoktur (1).

Kapnografinin Komplikasyonları:

Kapnograf güvenilir ve non invaziv bir testtir. Oluşabilecek komplikasyonlar ana akım kapnograflarında büyük örnekleme penceresi kullanılırsa oluşabilecek büyük ölü boşluk, cihazın devre üzerine ağırlığı ve hastadan hastaya kontaminasyonu önlemek için sensör ve monitör kullanıcının önerileri doğrultusunda uygun şekilde temizlenmesidir (1).

Limitasyonları:

- 1- Kullanılan solunum gaz karışımlarına ve teknolojik yönetime göre kapnogram sonuçları etkilenebilir,
- 2- Solunumun sayısının yüksek ayarlanması kapnografi sonuçlarını etkileyebilir.
- 3- Ölçülü doz inhalerlerde kullanılan Freon gazı, kapnograf ile ölçülen ETCO_2 değerinin yüksek ölçülmesine neden olabilir
- 4- Örnekleme sistemi veya monitörün sekresyonlar veya ventilatör devresinde biriken kondensat ile kontaminasyonu sonuçları yanlış yönde etkileyebilir
- 5- Hasta ile örnekleme sistemi arasında filtre bulunması PETCO_2 sonuçlarının düşük ölçülmesine neden olabilir
- 6- Düşük kardiyak output olması, endotrakeal tüp normal yerinde olsa bile ETCO_2 değerlerinin çok düşük veya sıfır ölçülmesine neden olabilir. Yine endotrakeal tüpün farinkste yerleşimi ve midede antiasit veya gazlı içeceklerin bulunması da kapnografi sonuçlarının yanlışlıkla yüksek ölçümüne neden olabilir.

7- Ventilatör devresinden veya endotrakeal tüp cuff'ından kaçak olması yanlış sonuçlara neden olabilir (1).

Sonuç olarak kapnografi acil ve yoğun bakım hastalarında pek çok faydalı bilgiler sağlayan kolay, ucuz ve noninvaziv bir tanı yöntemidir. Bir bağka önemli özelliği ise ölçümler tekrar edildiğinde benzer sonuçlar vermesi yani tekrar edilebilir olmasıdır (75). Kapnografi Amerikan Anestezi Derneği tarafından akut solunum yetmezliği nedeniyle mekanik ventilatöre bağlı izlenen hastalarda Amerikan Acil Servis Uzmanları Derneği ve Acil Kardiovasküler Bakım Kılavuzu tarafından endotrakeal tüp yerinin konfirme edilmesinde diğer yöntemlere ek olarak önerilmektedir. (5, 7, 45). Bu durumların dığında kullanım klinisyenin g r ğ ne bırakılmığtır.

MEKANİK VENTİLASYONUN SONLANDIRILMASI (WEANING):

Mekanik ventilasyon desteği hastanın solunum kapasitesinin solunum ve gaz değişimi fonksiyonlarını yerine getiremediği durumlarda kullanılan bir destek tedavisidir. Solunum yetmezliğinin nedeni akciğerlerden veya akciğer dışı organlardan kaynaklanabilir. Mekanik ventilasyon doğru endikasyonda hayat kurtaran bir yaklaşım olmasına rağmen aynı zamanda mümkün olan en kısa zamanda en uygun şekilde sonlandırılması gereken bir tedavi yöntemidir. Çünkü yoğun bakım hastasında mekanik ventilasyon süresinin kısaltılması gerek hastanede yatış süresi, yoğun bakımda yatış süresi ve maliyeti gerekse mortaliteyi azaltır. Başarılı ekstübasyon hasta ile ilgili tüm parametreleri olumlu yönden etkilerken ekstübasyonun başarısız olması ve reentübasyon gerek mortaliteyi gerekse morbiditeyi oldukça olumsuz yönde etkiler (15). Mekanik ventilasyonun sonlandırılması yani weaning sürecinin amacı başarılı ekstübasyon uygulaması ve daha sonra reentübasyon ve/veya mortalite ile sonuçlanmadan hastanın en kısa sürede taburcu edilebilmesidir.

2007 yılında yayınlanan 6. Uluslararası Yoğun Bakım Konferansı Weaning Raporuna göre yoğun bakıma kabul edilen bir hastada weaning süreci 6 alt başlıkta incelenebilir:

- 1- Akut solunum yetmezliği nedeninin tedavi edilmesi
- 2- Weaninge başlanabileceğinin düşünülmesi
- 3- Weaninge uygunluk açısından değerlendirilmesi
- 4- Spontan solunum denemesi
- 5- Ekstübasyon
- 6- Reentübasyon veya taburculuktur.

Mekanik ventilasyon tedavisinin sonlandırılması için gereken ilk koşul altta yatan ve solunum yetmezliğine neden olan durumun düzelmekte olmasıdır.

Yapılan çeşitli çalışmalarda weaning sürecinin tüm mekanik ventilasyon süresinin % 40-50'sini oluşturduğu bildirilmektedir (33, 38, 59). Bu aşamalardan weaning gecikmesinin en önemli nedeninin hastanın weaninge uygun olup olmadığının değerlendirilmesi aşamasında olduğu bildirilmektedir (15). Yapılan bir çalışmada Vallverdu ve arkadaşları weaning başarısızlığının KOAH'lı hastaların % 61'i, nörolojik hastaların % 41'i ve hipoksemik hastaların da % 38'inde görüldüğü bildirilmiştir (86). Weaning başarısızlığının en önemli nedenlerinden biri artmış solunum iş yüküdür. Solunum iş yükü akciğerin komplians ve rezistansı ile belirlenir. Normalde solunum sisteminin rezistansı $< 5 \text{ cm H}_2\text{O/L/sn}$ 'dir. Normal solunum sistemi statik kompliansı ise 0.06- 0.1 L/cm H_2O düzeyindedir. Yapılan bir araştırmada statik akciğer kompliansının iyileşmesi bilgisayar destekli bir modelde weaninge başlanabileceğini göstermiştir (16). İnspiratuar kas gücünü gösteren ve 1 saniyelik reziduel volüme kadar kuvvetli ekspirasyon sonrası veya bir ekspiryum valvi ile ölçülen maksimum inspiratuar basınç (MIP)'in ≤ -20 - (-25) cm H_2O olması başarılı weaningin yararlı bir diğer göstergesi olarak bildirilmektedir (20). Solunum iş yükünün aşırı artışı uygunsuz ventilatör ayarları sonucu hasta ventilatör uyumsuzluğuna bağlı gelişebilir (60). Azalmış pulmoner komplians pnömoni, kardiojenik ve nonkardiojenik pulmoner ödem, pulmoner fibrozis, pulmoner hemoraji veya diffüz pulmoner infiltrat yapan diğer nedenlere bağlı gelişebilir. Weaning sürecinin kendisi de spontan solunum denemesi sırasında endotrakeal tüp nedeniyle veya ekstübasyon sonrası glottis ödemi ve sekresyonlar nedeniyle solunum kasları üzerine artmış rezistif yüke neden olabilir (36, 77).

Solunumsal yük dışında artmış kardiak yük de weaning zorluğunun önemli nedenlerinden biridir. Pozitif basınçtan spontan solunuma geçiş artmış venöz dönüş ve negatif intratorasik basınç nedeniyle sol ventrikül önyükü ve myokardın oksijen kullanımında artışa neden olabilir. Bu nedenle altta yatan ancak klinik bulgu vermeyen bir myokardial disfonksiyon weaning sırasında belirgin hale gelebilir, bu da sol ventrikül kompliansında azalma ve pulmoner ödem sonucu solunum iş yükünün daha da artmasına neden olabilir (74).

Weaning sırasında kalbin iş yükünün artmasının pek çok nedeni olabilir. Bunlardan ilki weaning sırasında artmış metabolik ihtiyaç nedeniyle pulmoner vasküler rezistansta artma, sağ ventrikül dolumunda azalma ve kardiak outputta azalmaya yol açan dinamik hiperinflasyon yani oto PEEP'tir (15). Weaning sırasında artmış metabolik ihtiyacın göstergesi serum laktat konsantrasyonunda artma ve mixed venöz oksijen satürasyonunda azalmadır. Yapılan iki ayrı çalışmada weaning başarısızlığının mixed venöz oksijen satürasyonu ve gastrik mukozal ph ölçümü ile tahmin edilebileceği bildirilmiştir (54, 65).

Weaning zorluğunun bir diğer nedeni ise nöromusküler fonksiyon bozukluğudur. Mekanik ventilatörden ayrılabilme solunum çabasını başlatabilecek ve devam ettirebilecek normal çalışan bir nöromusküler sistem varlığında mümkündür. Bunun için santral sinir sistemine gerekli uyarı gitmeli, buradan uygun şekilde spinal motor nöronlara, solunum kaslarına ve nöromusküler kavşağa ulaşmalıdır. Bu basamakların herhangi bir yerinde aksama olması mekanik ventilatörden ayrılamama ile sonuçlanır. Yoğun bakımda yatan hastalarda weaning başarısızlığının sık rastlanan bir diğer nedeni ise kritik hastalık nöromyopatisidir (CINM). CINM sıklıkla proksimal kaslarda belirgin bilateral ve simetrik kas zayıflığı ve elektronöromyografik incelemede sensörimotor aksonopati ve korunmuş velositeler ile birlikte birleşik aksiyon potansiyellerinde azalma ile karakterizedir. Pek çok hastada haftalar içinde düzelme izlenir (43).

Weaning zorluğunun önemli bir diğer nedeni ise psikolojik disfonksiyondur. Psikolojik disfonksiyon başlığı altında deliryum, anksiyete ve depresyon weaning süresinde uzamaya yol açan önemli nedenlerdir. Deliryum yoğun bakım hastalarında % 22- 80 gibi oldukça yüksek oranlarda bildirilen bilişsel fonksiyonlarda akut bozulma ile karakterize bir durumdur. Hipoksemiden anemiye, sepsisten tedavi edilmemiş ağrıya kadar pek çok nedene bağlı gelişebilir. Sonuçta yoğun bakımda yatış süresini ve mortaliteyi bağımsız düzeyde arttırdığı bildirilmektedir (35, 62). Yoğun bakım ünitesinde anksiyete de dispne, iletişim zorluğu ve uyku bozukluklarına bağlı olarak % 30- 75 arasında bildirilmektedir (72).

Bunlar dışında hipofosfatemi, hipomagnezemi, hipokalemi gibi elektrolit bozuklukları, hipotiroidi ve hipoadrenalizm gibi endokrinolojik bozukluklar, obezite, malnutrisyon ve anemi de yoğun bakımda yatan hastada weaning süresinin uzamasının önemli nedenleri arasındadır (15).

Gerek weaning zorluğunun pek çok nedeninin olması gerekse hastada mortalite ve morbiditeyi ciddi düzeyde arttırmasından dolayı hangi hastanın ne zaman mekanik ventilatörden ayrılabilceğinin tahmin edilmesi için klinik değişkenlere ek olarak pek çok fizyolojik parametre geliştirilmiştir (37, 85). Yapılan bir araştırmada yalnızca klinik değerlendirmenin başarılı weaning denemesini tahmin etmedeki duyarlılığının % 35 olduğu bulunmuştur (80). Bu aşamada oluşan gecikmeleri önlemek ve hastaların weaninge hazır olup olmadıkları değerlendirmesini standardize etmek amacıyla kullanılan rutin klinik verilere ek olarak bazı yardımcı yöntemler geliştirilmiştir. Bu kriterlerin hastaya göre bireyselleştirilmesi önerilmektedir. Bazı hastalar bu objektif ve klinik verileri sağlamadığı halde ekstübe edilebilirler buna karşın tüm bu koşulları sağlayan hastalarda ekstübasyon denemesi başarısızlıkla sonuçlanabilir. Bu nedenle tüm bu kriterler klinisyenin görüşüne yardımcı olması amacıyla geliştirilmiştir. Sıklıkla kullanılan kriterler ventilatör ile ölçülen dakika ventilasyonu, negatif inspiratuar güç (NIF), P_Imax (İnspiratuar maksimum basınç), P_{0.1}/P_I max oranı ve CROP indeksidir. Bunun dışında spontan solunumla ölçülen solunum sayısı, tidal volüm ve f/VT oranı da weaningin başarılı olmasını predikte eden diğer parametreler olarak bildirilmiştir. 2007’de yayınlanan ERJ kılavuzuna göre bu kriterler klinik ve objektif veriler olmak üzere iki grup altında tanımlanmıştır:

A- Klinik Veriler:

- 1- Yeterli öksürük
- 2- Aşırı trakeobronşial sekresyon olmaması
- 3- Hastanın entübe olmasına neden olan hastalığın düzelmekte olması

B- Objektif Veriler:

- 1- Klinik stabilite: Kardiovasküler stabilite (Kalp hızı ≤ 140 /dk, Sistolik KB: 90-160 mmHg, vazopressör ihtiyacı olmaması veya çok az olması)
- 2- Yeterli oksijenizasyon: $FIO_2 \leq \% 40$ iken oksijen saturasyonunun $\% 90$ ve üzerinde olması veya PaO_2/FIO_2 oranının ≥ 150 mmHg olması ve PEEP ≤ 8 cm H₂O olması
- 3- Yeterli pulmoner fonksiyonlar: Solunum sayısı ≤ 35 /dakika, MIP $\leq -20, -25$ cm H₂O, VT > 5 ml/kg, Vital kapasite > 10 ml/kg, $f/VT < 105$ /dk/L olması, solunumsal asidoz olmaması
- 4- Bilincin açık olması

(15).

Bu verilerden literatürde en sık kullanılan hızlı yüzeyel solunum indeksi (HYSI=RSBI) olarak da bilinen f/VT değeridir. RSBI'in $< 100- 105$ soluk/L/dk olmasının başarılı bir spontan solunum denemesini göstermede duyarlılığı $\% 97$, özgüllüğü $\% 65$ civarında bildirilmektedir (93).

Kapnografi ile yatakbaşı noninvaziv olarak hızlı bir şekilde ölçülebilen fizyolojik ölü boşluk (V_d/V_t) ekstübasyon başarısının tahmin edilmesinde kullanılabilen değerli bir parametredir.

Bu çalışmanın amacı yoğun bakımda solunum yetmezliği nedeniyle entübe olarak izlenen hastaların yatışta ölçülen kapnografik parametrelerinin ekstübasyon başarısının tahmin edilmesi üzerine etkisinin incelenmesidir.

MATERYAL-METOD:

Bu prospektif gözlemsel kohort çalışmasına 2006- 2007 tarihleri arasında hastanemiz Göğüs Hastalıkları Yoğun Bakım Ünitesine solunum yetmezliği nedeniyle yatırılan ve entübe olarak izlenen 18 yaş üzeri hastalar alındı. Araştırma Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik kurulu tarafından onaylandı ve hastaların birinci derece yakınlarından onay alındı. Noninvaziv mekanik ventilasyon uygulanan, mekanik ventilasyon desteği uygulanmayan ve DNR orderi olan hastalar çalışma dışı bırakıldı. Hastaların yaş, cinsiyet, yaklaşık kilo gibi demografik verileri ile hastaneye yatış nedenleri, hastaneye yatışta hastalık ağırlığını gösteren akut fizyoloji ve kronik sağlık değerlendirme (APACHE II) skoru (58), pnömoni severity index (PSI) skoru, sepsis-related organ failure assessment (SOFA) skoru ve komorbiditeleri değerlendiren Charlson skorları kaydedildi. Ayrıca hastaların yatış arter kan gazı değerleri, ilk entübasyon için mekanik ventilasyon süreleri, yoğun bakımda yatış süreleri ve hastanede yatış süreleri ile sonuçta mortalite olup olmaması kaydedildi. Tüm hastalara yoğun bakıma yatışın ilk 24 saati içinde sabah 09:00- 11:00 saatleri arasında uygun şekilde kalibre edilmiş CO₂SMO plus kapnograf cihazı ile ölçümler yapıldı. Kapnograf ile yapılan ölçümlerden hemen önce mekanik ventilatörden ayarlanan frekans, hastanın frekansı, PEEP, dakika ventilasyonu (MV) ve fraksiyone oksijen değeri (FIO₂) kaydedildi. Daha sonra kapnograf ile: İnspiratuar tidal volüm (V_{ti}), ekspiratuar tidal volüm (V_{te}), alveoler tidal volüm (V_{t alveol}), hava yolundaki tidal volüm (V_{d airway}), VCO₂, ETCO₂, PaCO₂-PETCO₂ farkı, tepe hava yolu basıncı (PIP), pozitif end ekspiratuar basınç (PEEP), inspiryum zamanı (T_i), ekspiryum zamanı (T_e), ölü boşluk ventilasyonu (V_d/V_t), mekanik ölü boşluk (V_{t mekanik}), fizyolojik ölü boşluk (V_{d fizyolojik}) ve alveoler ölü boşluk (V_{d alveoler}) değerleri kaydedildi. V_d/V_t değerinin cihaz tarafından hesaplanması için hastaların yaklaşık kilosu ve aynı günün

sabahında alınan arter kan gazındaki parsiyel CO₂ gazı değeri girildi. Cihaz tarafından otomatik olarak hesaplanan ölü boşluk değerleri için Bohr eşitliğinin Enghoff tarafından modifiye edilmiş formu kullanıldı (4). Her hasta için ayrı sensörlerle ölçüm yapıldı ve bir hastaya ait ölçümler tamamlandıktan sonra sensör uygun koşullarda dezenfekte edildi. Tüm ölçümler hastalar supin pozisyondayken ve asiste volüm kontrollü mekanik ventilasyon modunda yapıldı. Daha sonra hastalar günlük tarama testine göre weaning açısından değerlendirildi (34). Günlük tarama testini geçen hastalara kliniğimizde kullanılan standart weaning protokolüne göre weaning denemesi yapıldı.

Standart Weaning Protokolü:

Weaning denemesi hasta tamamen uyanık, bilinçli ve aşağıdaki kriterleri tamamiyle sağladığında başlandı (2):

- 1- Altta yatan ve solunum yetmezliğine neden olan durumun düzelmekte olması,
- 2- Yeterli oksijenizasyon (PaO₂/FiO₂ oranı >150-200; PEEP ≤ 5-8 cm H₂O; FiO₂ ≤ 40- 50% ve pH ≥7, 25)
- 3- Hemodinamik stabilite yani akut myokard iskemisi olmaması, klinik olarak anlamlı hipotansiyon olmaması, vazopressör tedavi almaması veya düşük dozda vazopressör alıyor olması (dopamine ve dobutamin < 5µg/kg/dk);
- 4- Solunum çabası olması

Spontan solunum denemesi giderek azalan basınç desteğini takiben 2 saatlik T-tüp denemesi ile yapıldı. Tüm bu aşamalar sonunda aşağıdaki kriterler izlenmeyen hastalar kliniğimiz ekstübasyon protokolüne göre ekstübe edildi.

Spontan solunum denemesinin sonlandırma endikasyonları aşağıdaki kriterlerden en az biri olarak belirlendi:

- 1- Bilinçte bozulma
- 2- Yeterli oksijen desteğine rağmen O₂ satürasyonunun < % 88 olması,
- 3- Solunum sıkıntısı, takipne veya bazal kalp hızına göre kalp hızında en az % 20'lik artış, ya da kalp hızının 60/dk'ın altına düşmesi veya 130/dk'un üzerine çıkması
- 4- Hiperkapni ile birlikte dekompanze solunumsal asidoz

Takipte hastaların reentübasyon gereksinimi ve hastaneden çıkış durumları (exitus veya taburcu) olarak kaydedildi.

İstatistiksel Değerlendirme:

İstatistiksel analizler için SPSS 11.5 for Windows programı kullanıldı. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart deviasyon ve yüzdeler olarak belirtildi. Parametrik testler için Student's t ve non parametrik testler için independent sample t-testleri kullanıldı. Kategorik değişkenler için χ^2 ve Kruskal Wallis H testleri kullanıldı. Vd/Vt için ekstübasyon başarısını tahmin edebilecek eşik değeri saptamak için ROC eğrisi çizdirildi ve eğri altında kalan alan (AUC=area under curve) hesaplandı. İstatistiksel değerlendirme sonucu $p < 0.05$ değerleri anlamlı kabul edildi.

SONUÇLAR:

Çalışmaya 12 kadın 23 erkek yaş ortalaması 67 olan toplam 35 hasta alındı. Hasta grubunun bazal demografik verileri, yoğun bakım skorları yatış süreleri ve entübasyon öncesi arter kan gazı değerleri tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1: Hasta grubunun bazal demografik verileri, yoğun bakım skorları, yatış süreleri ve yatış arter kan gazı değerlerinin karşılaştırılması

Yaş (yıl)	67.2 ± 12.4
Cinsiyet (Kadın/Erkek)	12/23
APACHE II Skoru	22.5 ± 6
SOFA Skoru	6 ± 2
Charlson Skoru	3 ± 2
Yatış pH	7.29 ± 0.12
Yatış PO ₂ (mmHg)	58.4 ± 15.2
Yatış PCO ₂ (mmHg)	58.2 ± 27.5
O ₂ Satürasyonu (%)	82.9 ± 13.5
HCO ₃ (meq/L)	26.8 ± 9.3
BE (mmol/L)	1.6 ± 10.4
MV Süre (gün)	9 ± 8
YBÜ Süre (gün)	18 ± 17
Hospitalizasyon süre (gün)	30 ± 20

APACHE II: Acute Physiology and chronic health evaluation skoru

SOFA: Sequential organ failure assessment skoru

MV Süre: Mekanik ventilasyonda kalma süresi

YBÜ Süre: Yoğun bakımda yatış süresi

Hospitalizasyon süre: Hastanede yatış süresi

Çalışmaya alınan 35 hastanın yatış nedenleri incelendiğinde en sık yatış nedeninin % 46 ile KOAH akut atak takiben % 17 ile toplum kökenli pnömoniler ve aynı oranda ARDS olduğu görüldü. Hasta grubunun yatış nedenleri ve komorbiditeleri tablo 2 ve tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 2: Yatış nedenleri:

Tanı	Hasta sayısı (n=35)	%
KOAH	16	46
Pnömoni	6	17
ARDS	6	17
PTE	2	6
Akciğer kanseri	2	6
İnterstisyel AC Hastalığı	3	8

KOAH: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı

ARDS: Akut respiratory distress sendromu

PTE: Pulmoner tromboemboli

Tablo 3: Komorbiditeler

Komorbidite	n
Kardiak komorbidite	
ASKH	8
KKY	12
HT	11
Atrial fibrilasyon	3
Pulmoner komorbidite	
KOAH	4
Akciğer kanseri	2
Bronşektazi	1
İnterstisyel Akciğer hastalığı	1
Nörolojik komorbidite	
Geçirilmiş SVO	3
Demans	2
Epilepsi	2
Depresyon	1
Psikoz	1
Diğer komorbidite	
DM	6
Ülseratif kolit	1
Myelodisplastik sendrom, KLL	2
Kronik alkolizm	2

ASKH: Aterosklerotik kalp hastalığı

KKY: Konjestif kalp yetmezliği

HT: Hipertansiyon

SVO: Serebrovasküler olay

DM: Diabetes mellitus

KLL: Kronik lenfositik lösemi

Daha sonra hastalar ekstübe olanlar ve ekstübe olamayanlar olarak iki gruba ayrıldı. Ekstübe olamayanların oranı tüm grubun % 28.5'i idi. Ekstübe olan ve olamayan hastalar bazal demografik verileri, yoğun bakım skorları, yatış süreleri ve yatış arter kan gazı değerleri açısından karşılaştırıldığında yaş, cinsiyet, APACHE II, PSI, SOFA ve Charlson skorları, MV süre, YBÜ süre ve hospitalizasyon süreleri ile yatıştaki arter kan gazı değerlerinin arasında istatistiksel anlamlı farklılık saptanmadı ($p>0.05$), buna karşın ekstübe edilemeyen grupta mortalite ekstübe edilebilen gruba göre istatistiksel anlamlı düzeyde yüksek bulundu (% 100 vs % 56, $p<0.05$) (Tablo 4).

Tablo 4: Ekstübe olan ve olamayan hastaların bazal demografik verileri, yoğun bakım skorları, yatış süreleri ve yatış arter kan gazı değerlerinin karşılaştırılması

	Ekstübe olanlar N= 25	Ekstübe olamayanlar N= 10	p
Yaş (yıl)	69.1 ± 13.1	62.5 ± 9.5	0.113
Cinsiyet (Kadın/Erkek)	9/16	3/7	0.530
APACHE II Skoru	21.7 ± 6.7	24.7 ± 4.3	0.133
SOFA Skoru	5.8 ± 2.7	5.1 ± 1.8	0.429
Charlson Skoru	2.9 ± 2.1	2.3 ± 1.0	0.267
Yatış pH	7.30 ± 0.11	7.27 ± 0.14	0.530
Yatış PO ₂ (mmHg)	56.9 ± 14.3	61.8 ± 17.5	0.454
Yatış PCO ₂ (mmHg)	58.7 ± 24.3	57.1 ± 35.4	0.902
Yatış O ₂ Satürasyonu (%)	81.7 ± 15.1	85.8 ± 8.5	0.330
Yatış HCO ₃ (meq/L)	26.8 ± 8.2	26.7 ± 12.0	0.967
Yatış BE (mmol/L)	0.8 ± 8.2	2.9 ± 14.0	0.677
MV Süre (gün)	7.9 ± 7.2	10.5 ± 10.7	0.502
YBÜ Süre (gün)	21.6 ± 17.7	9.7 ± 10.7	0.025
Hospitalizasyon süre (gün)	34.0 ± 20.8	20.6 ± 14.0	0.047
Mortalite (%)	56	100	0.015

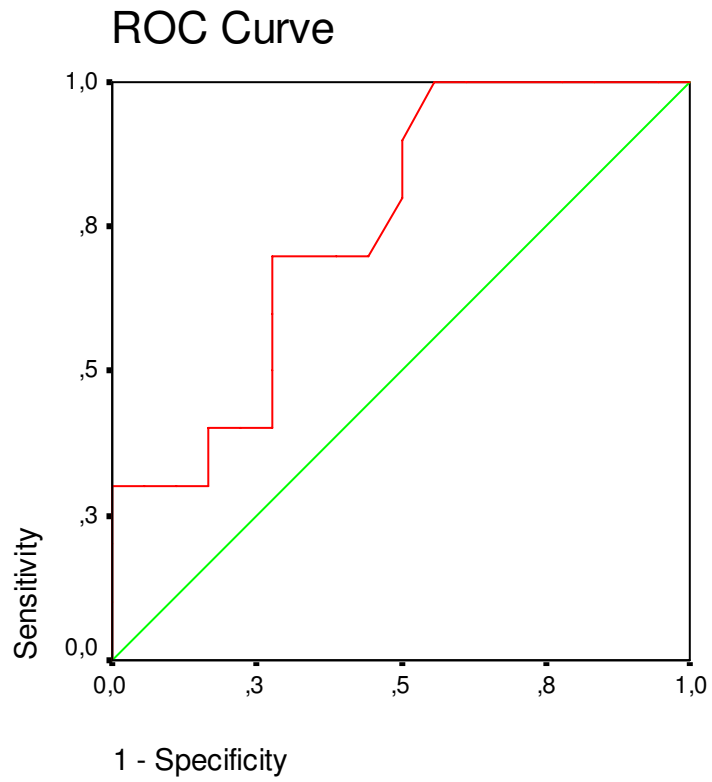
Ekstübe olan ve olamayan hastaların yatış temel ventilatör parametreleri karşılaştırıldığında ayarlanan frekans, PEEP, dakika ventilasyonu ve FIO₂ değerlerinin benzer ($p>0.05$), hastanın solunum sayısının ekstübe olamayan hastalarda ekstübe olabilenlere göre daha yüksek olduğu görüldü ($p<0.05$). Ekstübe olan ve olamayan hastaların yatışın ilk 24 saati içinde kapnograf ile ölçülen parametreleri karşılaştırıldığında ise inspiratuar tidal volüm (V_{ti}), ekspiratuar tidal volüm (V_{te}), alveoler tidal volüm (V_{t alveol}), hava yolundaki tidal volüm (V_{d airway}), VCO₂, PETCO₂, PaCO₂- PETCO₂ farkı, tepe hava yolu basıncı (PIP), pozitif end ekspiratuar basınç (PEEP), inspiryum zamanı (T_i), ekspiryum zamanı (T_e), mekanik ölü boşluk (V_{t mekanik}), fizyolojik ölü boşluk (V_{d fizyolojik}) ve alveoler ölü boşluk (V_{d alveoler}) değerlerinin her iki grupta benzer iken ortalama ölü boşluk ventilasyonu (V_{d/Vt})'nin ekstübe olamayan hastalarda ekstübe olabilenlere göre istatistiksel anlamlı düzeyde yüksek olduğu saptandı (0.66 vs 0.54, $p<0.05$) (Tablo 5).

Tablo 5: Ekstübe olan ve olamayan hastaların yatış temel ventilatör parametrelerinin ve kapnograf ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması:

	Ekstübe olanlar N= 25	Ekstübe olamayanlar N= 10	p
Ventilatör parametreleri			
Frekans ayarlanan	17.1 ± 1.7	21.2 ± 6.1	0.098
Frekans hasta	20.7 ± 9.4	31.1 ± 12.2	0.043
PEEP (cmH ₂ O)	4.8 ± 1.2	5.5 ± 0.9	0.097
MV (L/dk)	10.1 ± 3.7	12.2 ± 3.4	0.158
FIO ₂ (%)	47.7 ± 15.5	60.5 ± 22.3	0.149
Kapnografik ve diğer mekanik ölçümler			
Vti (ml)	430.8 ± 76.2	463.3 ± 89.7	0.351
Vte (ml)	425.8 ± 49.8	418.7 ± 69.4	0.780
VT alveol (ml)	329.4 ± 45.6	295.4 ± 88.7	0.309
VT airway (ml)	103.2 ± 27.5	128.4 ± 40.5	0.122
VCO ₂ (ml/dk)	163.4 ± 139.9	174.2 ± 55.7	0.776
PETCO ₂ (mmHg)	31.9 ± 10.9	38.2 ± 12.2	0.193
PaCO ₂ -PETCO ₂ (mmHg)	4.9 ± 5.6	11.2 ± 9.9	0.092
PIP (cm H ₂ O)	21.6 ± 6.6	26.5 ± 9.7	0.184
PEEP (cm H ₂ O)	5.1 ± 2.4	5.5 ± 0.8	0.490
Ti (sn)	1.2 ± 0.5	0.9 ± 0.2	0.057
Te (sn)	2.0 ± 0.7	1.7 ± 0.8	0.266
Vd/Vt (%)	0.54 ± 0.11	0.66 ± 0.12	0.024
Vt mekanik (ml/kg)	7.9 ± 6.4	6.4 ± 1.1	0.334
Vd fizyolojik (ml)	275.0 ± 186.7	279.9 ± 57.3	0.919
VD alveoler (ml)	143.5 ± 125.2	127.2 ± 73.4	0.668

Ekstübe olabilen ve olamayan hastaların Vd/Vt değerleri ROC eğrisi ile karşılaştırıldığında Vd/Vt için cut-off değer ≥ 0.60 olarak bulundu (AUC: 0.75, % 95 CI, 0.56- 0.93, $p=0.031$). Buna göre ekstübe olabilen ve olamayan hastalar Vd/Vt ≥ 0.60 değerine göre karşılaştırıldığında Vd/Vt ≥ 0.60 olan 12 hastanın yalnızca 5'inin ekstübe olabildiği (% 41) buna karşın Vd/Vt ≤ 0.60 olan 16 hastanın 13'ünün (% 81) ekstübe olabildiği görüldü ($p=0.039$). Sonuçta yatışta ölçülen Vd/Vt ≥ 0.60 olmasının ekstübasyon başarısını tahmin etmede duyarlılığı % 70, özgüllüğü % 72, pozitif prediktif değeri % 58, negatif prediktif değeri % 81, ve doğruluğu % 71 olarak bulundu. Ayrıca ROC eğrisine göre Vd/Vt oranının ≥ 0.50 olmasının ekstübasyon başarısızlığını göstermede sensitivitesi % 100, spesifitesinin % 45, ≥ 0.77 olmasının ise spesifitesi % 100, sensitivitesi % 30 olarak bulundu.

Şekil 16: Ölü boşluk değerinin ekstübe olan ve olamayan hastalarda ROC eğrisi ile karşılaştırılması



TARTIŞMA:

Kapnografi günümüzde modern yoğun bakım ünitelerinde yaygın şekilde kullanılan oldukça faydalı bir noninvaziv ölçüm yöntemidir. Gerek entübasyon sırasında gerekse entübe hastanın mekanik ventilatörde izlemi sırasında endotrakeal tüpün doğru yerde olup olmadığının değerlendirilmesi gibi hasta güvenliği için çok önemli bilgiler verir. Bunun yanı sıra hem traseler hem de ölçülen parametreler yardımıyla akut bronkospazm, pulmoner emboli, ALI-ARDS, azalmış kardiyak output olan durumlar da kapnografi ile erken dönemde ve doğru şekilde saptanabilir (24, 25).

Vd/Vt kapnografi ile ölçülen ve ventile olan ancak perfüze olmayan akciğer alanlarını gösteren önemli bir parametredir. 1960'lerden itibaren akut akciğer hasarı ve ventilasyon perfüzyon dengesizliğinin tanısında yaygın şekilde kullanılmaktadır (73). Eski çalışmalarda $Vd/Vt > 0.60$ olması entübasyon endikasyonu olarak bildirilmiştir (71).

Düşük Vd/Vt stabil akciğer fonksiyonlarını gösteren önemli bir parametredir. Sandberg ve arkadaşları sağlıklı ve klinik olarak hasta yenidoğan bebeklerdeki Vd/Vt oranını karşılaştırdıkları çalışmalarında hasta bebeklerde Vd/Vt oranının istatistiksel anlamlı düzeyde yüksek olduğunu göstermişlerdir (0.48 vs 0.60) ($p < 0.05$) (79). Yine Arnold ve arkadaşları konjenital diyafragma hernili yenidoğanda Vd/Vt oranının < 0.60 olmasının iyi prognoz ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir (8). ARDS'li hastalarda yapılan çalışmalarda hastalık ağırlığı ile Vd/Vt arasında ilişki olması da bu hipotezi desteklemektedir. Nuckton ve arkadaşları ARDS'li hastalarda Vd/Vt ile mortalite arasında ilişki olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada ARDS'de Vd/Vt'deki artışın nedeninin trombotik ve inflamatuvar mekaniklere bağlı pulmoner kapillerlerde hasar olması ve sonuçta yüksek ventilasyon perfüzyon eşitsizliği olan bölgelerde artış olması hipotezine bağlamışlardır. Dolayısıyla Vd/Vt oranının pulmoner vasküler hasarın derecesini gösterdiği bildirilmiştir (70). Bu konuda yapılan bir başka çalışmada Coss-Bu ve

arkadaşları çocuklarda Vd/Vt oranı ile ALI arasında ilişki bulmuşlar ve bunun olası nedeninin pulmoner vasküler hasar ve artmış metabolik ihtiyaç olduğunu göstermişlerdir (27). Kallet ve arkadaşları ise ARDS'li hastalarda Vd/Vt oranının gaz değişiminin etkinliğinin ve dolayısıyla mortalitenin prognostik bir göstergesi olduğunu bildirmişlerdir (56). Yeni yapılan bir çalışmada ise Almeida-Junior ve arkadaşları pediatrik hasta grubunda Vd/Vt oranı ile oksijenizasyon ve karbondioksit atılımı (VCO₂, PCP₂, ventilasyon indeksi) değişkenleri arasında korelasyon olduğunu göstermişlerdir (4).

Düşük Vd/Vt normale yakın ventilasyon perfüzyon oranının iyi bir göstergesi olduğundan dolayı mekanik ventilatörde izlenen hastalarda weaning ve ekstübasyon başarısının tahmininde de kullanılabileceği düşünülmüştür. Bu konuda pediatrik hasta grubunda yapılan ilk çalışmada Hubble ve arkadaşları 45 entübe hastada sabit 6 ml/kg exhale tidal volüm altında basınç destekli mekanik ventilasyon modunda planlı ekstübasyondan 30 dakika önce Vd/Vt ölçümü yapmışlar ve daha sonra hastaları 48 saat boyunca ekstübasyon sonrası solunum yetmezliği gelişimi açısından yakın takip etmişlerdir. Sonuçta Vd/Vt oranı ≤ 0.50 olan hastaların % 96'sında, Vd/Vt oranı 0.50- 0.65 arasında olan hastaların % 60'ında başarılı ekstübasyon olurken Vd/Vt oranı ≥ 0.65 olan hastaların yalnızca % 20'sinde ekstübasyon başarılı olmuştur. Yapılan lojistik regresyon analizi düşük Vd/Vt ile başarılı ekstübasyon arasında anlamlı ilişki olduğunu göstermiştir. Her ne kadar ekstübasyondan sonra solunum yetmezliği gelişen hasta sayısı % 29 olarak bulunsa da reentübasyon oranı bu çalışmada yalnızca % 7 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak artmış Vd/Vt ekstübasyon için kesin bir kontrendikasyon olarak kabul edilmese bile klinisyeni ekstübasyondan sonra gelişebilecek solunum yetmezliği açısından uyarıcı özellikte olması nedeniyle değerli bulunmuştur (52).

Bu konuda yine pediatrik hasta grubunda yapılmış bir başka çalışmada Bouso ve arkadaşları 86 hastalık bir grupta ekstübasyon başarısızlığı oranını % 24 olarak bulmuştur. Başarılı ve başarısız ekstübasyon olan hastalar ortalama Vd/Vt değerleri açısından

karşılaştırıldığında ise her iki grupta istatistiksel anlamlı farklılık saptanmamıştır (0.62 vs 0.65, $p=0.472$). Lojistik regresyon analizinde Vd/Vt oranı ile ekstübasyon başarısı arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır (17). Bu iki çalışmanın da ortak özellikleri pediatrik hasta grubunda yapılmış olması ve Vd/Vt değerinin ekstübasyondan önce ölçülen değerler olmasıdır. Kliniğimizde yeni yapılan bir araştırmada ise spontan solunum denemesi başarılı olan hastaların weaninge başlanan gün ölçülen Vd/Vt değeri, başarısız olan hastalardan istatistiksel anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur (0.47 ± 0.1 vs 0.56 ± 7.8 , $p=0.032$) (28).

Bizim çalışmamızın amacı çeşitli nedenlere bağlı solunum yetmezliği tanısı ile entübe edilen erişkin yoğun bakım hastasında yatışta ölçülen Vd/Vt değerinin ekstübasyon başarısını tahmin etmedeki yerinin araştırılmasıdır. Çalışmaya alınan 35 hastada ekstübasyon başarısızlığı olan hasta oranı Bouso ve arkadaşlarının çalışmasına benzer şekilde % 28.5 olarak bulunmuştur. Ekstübe olabilen ve olamayan hastalar karşılaştırıldığında yaş, cinsiyet, yoğun bakıma yatışta APACHE II, SOFA ve Charlson skorları ile yoğun bakıma yatıştaki arter kan gazı değerleri arasında istatistiksel anlamlı farklılık bulunmadı. Mekanik ventilasyonda kalma süresi her iki grupta benzer iken yoğun bakımda ve hastanede yatış süresi ekstübe olabilen hastalarda istatistiksel anlamlı düzeyde yüksek bulundu. Bu farkın olası nedeninin ekstübe olamayan grupta reentübasyon olmaması ve buna bağlı olarak ekstübe olabilen ancak reentübasyon gereken hastalardaki uzamış yatışlara bağlı geliştiği düşünüldü. Mekanik ventilasyon süresinin ise yalnızca ilk entübasyonda mekanik ventilasyonda kalma süresi olarak kaydedildiğinden dolayı her iki grupta istatistiksel anlamlı farklılık göstermediği düşünüldü. Bu çalışmada ekstübe olabilen ve olamayan hastalar arasında mortalite açısından anlamlı farklılık saptandı. Ekstübe edilemeyen 10 hastada mortalite % 100 iken ekstübe edilebilen 25 hastada mortalite % 56 olarak bulundu ($p < 0.05$).

Ekstübe olabilen ve olamayan hastalar ventilatör parametreleri ve kapnograf ölçümleri açısından karşılaştırıldığında ise ekstübe olamayan hastalarda frekansın ve Vd/Vt oranının ekstübe olabilen hastalara göre anlamlı düzeyde yüksek olduğu, buna karşın mekanik

ventilatörden ayarlanan frekans, PEEP, dakika ventilasyonu (MV) ve fraksiyone oksijen değeri (FIO₂), inspiratuar tidal volüm (V_{ti}), ekspiratuar tidal volüm (V_{te}), alveoler tidal volüm (V_t alveol), hava yolundaki tidal volüm (V_d airway), VCO₂, PETCO₂, PaCO₂-PETCO₂, tepe hava yolu basıncı (PIP), pozitif end ekspiratuar basınç (PEEP), inspiryum zamanı (T_i), ekspiryum zamanı (T_e), mekanik ölü boşluk (V_t mekanik), fizyolojik ölü boşluk (V_d fizyolojik) ve alveoler ölü boşluk (V_d alveoler) değerlerinin her iki grupta benzer bulunduğu görüldü. Bizim sonuçlarımıza göre V_d/V_t'nin ekstübe olamayan hastalarda ekstübe olabilenlere göre daha yüksek olmasına rağmen V_t mekanik, V_d fizyolojik ve V_d alveoler değerlerinin her iki grup arasında benzer olmasının altında yatan nedenin ekstübe olamayan hastalardaki yüksek frekansa bağlı olabileceğini düşündürmektedir. Solunum sayısının fazla olması alveollere ulaşan tidal volum oranında azalmaya ve ölü boşluk ventilasyonunda artışa neden olabilir. Ekstübe olamayan hastalarda yüksek frekansın yanı sıra istatistiksel anlamlılık düzeyinde olmasa da PEEP ve dakika ventilasyonunun da hafifçe daha yüksek olduğu görüldü. Bu durumun altında yatan nedenin altta yatan hastalık olabileceği düşünüldü. Nitekim yapılan subgrup analizinde ARDS nedeniyle mekanik ventilatöre bağlı izlenen 6 hastanın 4'ünün ekstübe edilemeyen grupta yer aldığı dikkati çekti.

Hubble ve arkadaşlarının çalışmasında da başarısız ekstübasyon olan hastalarda solunum sayısının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu sonucun karbondioksiti düşürmek için uygun bir solunum sayısı olmasına rağmen V_d/V_t'yi etkilemediği şeklinde yorumlanmıştır (52). Teorik olarak solunum sayısının artmasının V_d/V_t'de artış ile sonuçlanması muhtemeldir. Ancak daha önce yapılan iki ayrı çalışmada tidal volüm değeri sabit olduğu durumda solunum sayısının V_d/V_t üzerine belirgin etkisi olmadığı gösterilmiştir (10, 29). Hubble'ın çalışmasında olduğu gibi bizim çalışmamızda da ekstübe olabilen ve olamayan gruplar arasında V_d/V_t farkını açıklayan anlamlı bir faktör bulunamadı.

Hubble ve arkadaşlarının çalışmasını bizim çalışmamızdan bir diğer önemli farkı ise o çalışmada ölçümlerin ekstübasyondan 30 dakika önce ve pressure support ventilasyon

modunda yapılmış olmasıdır. Bu modun seçilmesinin nedeni tek soluk tipinde, inspiratuar akım hızının isteğe bağlı olması ve hastanın inspirasyon zamanını kendi ihtiyacına göre belirleyebilmesidir. Özellikle uyanık ve spontan soluyan hastalarda bu mod oldukça konforludur. Ancak bu çalışmada 6 ml/kg'lık tidal volümün sağlanabilmesi için hastalar arasındaki farklı komplians ve elastansa bağlı olarak farklı düzeyde basınç desteği gereksinimi olmuştur (52). Daha önce yapılan çalışmalar tidal volümün değiştirilmesinin alveoler ölü boşluk değerini değiştirebileceğini göstermiştir (40). Teorik olarak pressure support ventilasyon esnasında uygulanan tidal volüm, kontrollü moda verilen tidal volümden farklı ise V_d/V_t değerini değiştirebilir. Eğer uygulanan tidal volüm, ventilasyon perfüzyon dengesizliğini arttırsa V_d/V_t artar. Ancak, uygulanan tidal volüm alveoler recruitment'a neden olarak ventilasyon perfüzyon dengesizliğini azaltırsa V_d/V_t 'de azalmaya neden olur. Bu mantıktan yola çıkarak ARDS'li hastalarda V_d/V_t değeri optimum PEEP değerinin belirlenmesi amacıyla da kullanılmıştır (14, 64).

Sonuç olarak Hubble ve arkadaşlarının çalışmasında sabit tidal volümü sağlamak için farklı düzeylerde basınç desteği uygulaması V_d/V_t değerinde değişikliğe neden olmuş olabilir (52).

Bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak ölçümlerin tamamı hastanın YBÜ'ne yatışının ilk 24 saati içinde ve asiste kontrollü mekanik ventilasyon modunda yapılmıştır. Her ne kadar farklı ventilasyon modlarının V_d/V_t üzerine etkisini araştıran herhangi bir çalışma bulunmasa da, teorik olarak sabit tidal volüm verilen bu yaklaşımın daha güvenilir sonuçlar verebileceği düşünülmüştür.

Bizim çalışmamız ekstübasyon başarısı ve V_d/V_t değeri ROC (Receiver Operator Characteristics) eğrisi ile karşılaştırıldığında cut-off değer ≥ 0.60 olarak bulunmuştur. Buna göre ekstübe olabilen ve olamayan hastalar $V_d/V_t \geq 0.60$ değerine göre karşılaştırıldığında $V_d/V_t \geq 0.60$ olan 12 hastanın yalnızca 5'inin ekstübe olabildiği (% 41) buna karşın $V_d/V_t \leq 0.60$ olan 16 hastanın 13'ünün (% 81) ekstübe olabildiği görülmüştür ($p=0.039$). Sonuçta

yatışta ölçülen $Vd/Vt \geq 0.60$ olmasının ekstübasyon başarısını tahmin etmede duyarlılığı % 70, özgüllüğü % 72, pozitif prediktif değeri % 58, negatif prediktif değeri % 81, ve doğruluğu % 71 olarak bulunmuştur. Bizim çalışmamızda elde edilen ve ekstübasyon başarısını gösteren Vd/Vt değeri daha önce pediatrik hasta gruplarında belirlenen eşik değerler ile yakın benzerlik göstermektedir. Hubble ve Bousso'nun iki farklı araştırmasında Vd/Vt için sınır değeri ≥ 0.65 olarak belirlenmiştir (17, 52).

Bu çalışmanın en önemli avantajı daha önceki araştırmalardan farklı olarak ekstübasyondan hemen önce değil, yatışın ilk 24 saati içinde ölçülen Vd/Vt değerinin ekstübasyon başarısını % 70 sensitivite ve spesifite ile tesbit edebileceğinin gösterilmesidir. Daha önce yatışta ölçülen Vd/Vt değeri ile ekstübasyon başarısının ilişkisini inceleyen herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ekstübasyon başarısızlığının erken dönemde saptanması pek çok açıdan oldukça faydalıdır. Çünkü ekstübasyondan sonra solunum yetmezliği gelişen olgularda gerek reentübasyon ve mortalite gerekse uzamış yatış süresi nedeniyle morbidite ve maliyetin oldukça yüksek olduğu pek çok araştırma ile gösterilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma göstermiştir ki yatışta ölçülen Vd/Vt değerinin ≥ 0.60 olması ekstübasyon başarısızlığının önemli bir göstergesidir. Ekstübasyon başarısızlığı da mortalite ile önemli ölçüde korele bir parametre olduğundan dolayı ekstübasyon başarısızlığının yatışta tahmin edilmesi gerek mortaliteyi azaltıcı önlemlerin alınması gerekse trakeostomi gibi girişimlerin daha erken dönemde gündeme gelmesi ile hastadaki prognozu iyileştirebilir. Bu konuda daha geniş hasta serilerinde yapılacak çalışmalar gereklidir.

ÖZET

Fizyolojik ölü boşluk (V_d/V_t) ventile olan ancak perfüze olmayan akciğer alanlarını gösteren değerli bir parametredir. Entübe hastalarda normal değeri % 30- 50 arasında olması gerekirken başta pulmoner emboli, ARDS ve KOAH gibi pek çok pulmoner hastalıkta artmış olarak bulunmaktadır. Son yıllarda V_d/V_t değeri entübe hastalarda ekstübasyon başarısının değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda spontan solunum denemesinin başladığı gün ölçülen V_d/V_t değerinin $< \% 55- 60$ olmasının başarılı weaningi gösterdiği bildirilmektedir.

Bu çalışmanın amacı yoğun bakımda solunum yetmezliği nedeniyle entübe olarak izlenen hastaların yatışta ölçülen kapnografik parametrelerinin ekstübasyon başarısının tahmin edilmesi üzerine etkisinin incelenmesidir.

Çalışmaya 12 kadın 23 erkek yaş ortalaması 67 olan toplam 35 hasta alındı. Ekstübe olamayanların oranı tüm grubun % 28.5'i idi. Ekstübe olan ve olamayan hastalar karşılaştırıldığında ortalama ölü boşluk ventilasyonu (V_d/V_t)'nun ekstübe olamayan hastalarda ekstübe olabilenlere göre istatistiksel anlamlı düzeyde yüksek olduğu saptandı (0.66 vs 0.54, $p < 0.05$). Sonuçta yatışta ölçülen $V_d/V_t \geq 0.60$ olmasının ekstübasyon başarısını tahmin etmede duyarlılığı % 70, özgüllüğü % 72, pozitif prediktif değeri % 58, negatif prediktif değeri % 81, ve doğruluğu % 71 olarak bulundu.

Sonuç olarak bu çalışma göstermiştir ki yatışta ölçülen V_d/V_t değerinin ≥ 0.60 olması ekstübasyon başarısızlığının önemli bir göstergesidir. Bu konuda daha geniş hasta gruplarında yapılacak çalışmalar gereklidir.

SUMMARY

Physiological dead space is a valuable parameter which indicates the ventilated but not perfused lung areas. The normal range is between 30- 50 % in mechanically ventilated patients. Increased levels could be observed in many of the pulmonary diseases such as pulmonary embolism, ARDS and COPD. Vd/Vt is also used for the prediction of extubation success and < 55- 60 % values indicates successful extubation according to several studies.

The aim of this study is to evaluate the value of baseline capnographic measurements on extubation success.

12 female 23 male a total of 35 patients with a mean age of 67 (years) were included in this prospective study. Extubation failure rate was 28.5 %. When the two groups compared, Vd/Vt value was found to be higher among patients with extubation failure compared to extubation success. The sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and accuracy of baseline $Vd/Vt \geq 0.60$ for predicting extubation failure according to ROC curve were 70 %, 72 %, 58 %, 81 % and 71 %, respectively.

In conclusion, results of this study suggest that, higher Vd/Vt values measured at the time of intubation may be a valuable predictor of extubation failure. Further studies performed in larger patient populations are needed to confirm these findings.

KAYNAKLAR:

- 1- AARC Clinical Practice Guidelines, Capnography/Capnometry during mechanical ventilation, 2003 revision and update. Respiratory Care 2003; 48: 534- 9, Capnography application in acute and critical care. Ahrens T, Sona C. AACN Clinical Issues 2003; 14: 123- 32.
- 2- A Collective Task Force Facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. Evidence Based Guidelines for Weaning and Discontinuing Ventilatory Support. Chest 2001; 120:375S- 395S.
- 3- Ahrens T, Sona C. Capnography application in acute and critical care. AACN Clinical Issues 2003; 14: 123- 32.
- 4- Almeida-Junior AA, Nolasco da Silva MT, Almeida CCBİ Ribeiro JD. Relationship between physiological deadspace/tidal volume ratio and gas exchange in infants with acute bronchiolitis on invasive mechanical ventilation. Pediatr Crit Care Med 2007; 8: 372- 377.
- 5- American College of Emergency Physicians. Clinical Policies Committee. Verification of endotracheal tube placement. Ann Emerg Med 2002; 40: 551- 552.
- 6- American Heart Association. 2005 American Heart Association (AHA) guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiovascular care (ECC) of pediatric and neonatal patients: pediatric advanced life support. Pediatrics 2006; 117: e1005- e1028.
- 7- American Society of Anesthesiologists: Standards for basic anesthetic monitoring. 1998. Available at: <http://www.asahq.org/>.
- 8- Anderson CT, Bren PH. Carbondioxide kinetics and capnography during critical care. Critical Care 2000; 4: 207- 215.

- 8- Arnold JH, Bower LK, Thompson JE. Respiratory deadspace measurements in neonates with congenital diaphragmatic hernia. *Crit Care Med* 1995; 23: 371- 375.
- 9- Asplin BR, White RD. Prognostic value of end-tidal carbon dioxide pressures during out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 1995; 25: 756- 761.
- 10- Baker RW, Burki NK. Alterations in ventilatory pattern and ratio of dead space to tidal volume. *Chest* 1987; 92: 1013- 1017.
- 11- Beydon L, Utman L, Rawal R, Jonson B. Effects of positive end-expiratory pressure on dead space and its partitions in acute lung injury. *Intensive Care Med* 2002; 28: 1239- 1245.
- 12- Bhavani-Shankar K, Moseley H, Kumar AY, Delph Y. Capnometry and anaesthesia. *Can J Anaesth* 1992; 39: 617- 632.
- 13- Birmingham PK, Cheney FW, Ward RJ. Esophageal intubation: a review of detection techniques. *Anest Analg* 1986; 65: 886- 891.
- 14- Blanch L, Fernandez R, Benito S, Mancebo J, Net A. Effect of PEEP on the arterial minus end tidal carbon dioxide gradient. *Chest* 1987; 92: 451- 454.
- 15- Boles JM, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, Pearl R, Silverman H, Stanchina M, Vieillard-Baron A, Welte T. Weaning from mechanical ventilation. Statement of the sixth international consensus conference on intensive care medicine. *Eur Respir J* 2007; 29: 1033- 1056.
- 16- Bouadma L, Lellouche F, Cabello B. Computer driven management of prolonged mechanical ventilation and weaning: a pilot study. *Intensive Care Med* 2005; 31: 1446- 1450.
- 17- Bousso A, Ejzenberg B, Ventura AM, Fernandes JC, Fernandes IC, Goes PF, Vaz FA. *J Pediatr* 2006; 82: 347- 353.
- 18- Breen PH, Serina ER, Barker SJ. Measurements of pulmonary CO₂ elimination must exclude inspired CO₂ measured at the capnometer sampling site. *J Clin Monit* 1996; 12: 231- 236.

- 19- Cantineau JP, Lambert Y, Merckx P, Reynaud P, Porte F, Bertrand C, Duvaldestin P. End tidal carbondioxide during cardiopulmonary resuscitation in humans presenting mostly with asystole: a predictor of outcome. Crit Care Med.1996; 24: 791- 796.
- 20- Caruso P, Friedrich C, Denari S, Ruiz S, Deheinzelin D. The unidirectional valve is the best method to determine maximal inspiratory pressure during weaning. Chest 1999; 115: 1096- 1101.
- 21- Cepkova M, Kapur V, Ren X, Quinn T, Zhuo H, Foster E, Liu KD, Matthay MA. Pulmonary dead space fraction and pulmonary artery systolic pressure as early predictors of clinical outcome in acute lung injury. Chest 2007; 132: 836- 842.
- 22- Cheifetz IM, Craig D, Quick G, Mc Govern JJ, Cannon ML, Ungerleider RM. Increasing tidal volumes and pulmonary overdistention adversely affect pulmonary vascular mechanics and cardiac output in an pediatric swine model. Crit Care Med 1998; 26: 710- 716.
- 23- Cheifetz IM, Myers TR. Should every mechanically ventilated patient be monitored with capnography from intubation to extubation. Respir Care 2007; 52: 423- 438.
- 24- Cheng EY, Woehlck H, Mazzeo AJ. Capnography in critical care medicine. J Intensive Care Med 1997; 12: 18- 32.
- 25- Chopin C, Fesard P, Mangalaboyı J, Lestavel P, Chambrin MC, Fourrier F, Rime A. Use of capnography in diagnosis of pulmonary embolism during acute respiratory failure of chronic obstructive pulmonary disease. Crit Care Med 1990; 18: 353- 357.
- 26- Coffey RL, Albert RK, Robertson HT. Mechanisms of physiological dead space response to PEEP after acute oleic acid lung injury. J Appl Physiol 1983; 55: 1550- 1557.
- 27- Coss-Bu JA, Walding DL, Davia YB, et al. Dead space ventilation in critically ill children with lung injury. Chest 2003; 123: 2050- 2056.
- 28- Demirtaş S. Hızlı yüzeyel solunum indeksini mekanik ventilasyon sırasında en iyi tahmin eden mod ve basınçların kombinasyonunun belirlenmesi, Uzmanlık tezi, Ankara 2008.

- 29- Dietrich KA, Romero MD, Conrad SA. Effect of gas leak around endotracheal tubes on indirect calorimetry measurement. *J Parent Enteral Nutr.* 1990; 14: 408- 413.
- 30- D'Mello J, Butani M. Capnography. *Indian J Anaesth* 2002; 46: 269- 278.
- 31- Dueck R, Wagner PD, West JB. Effects of positive end-expiratory pressure on gas exchange in dogs with normal and edematous lungs. *Anesthesiology* 1977; 47: 359- 366.
- 32- Eichhorn JH, Cooper JB, Cullen DJ, Maier WR, Philip JH, Seman RG. Standards for patient monitoring during anesthesia at Harvard Medical School. *JAMA* 1986; 256: 1017- 1020.
- 33- Ely EW, Baker AM, Dunagan DP. Effect on the duration of mechanical ventilation of identifying patients capable of breathing spontaneously. *N Engl J Med* 1996; 335: 1864- 1869.
- 34- Ely EW, Baker AM, Evans GW, Haponik EF. The prognostic significance of passing daily screen of breathing spontaneously. *Am J Respir Crit Care Med* 1999, 25(6): 581- 587.
- 35- Ely EW, Shintani A, Truman B. Delirium as a predictor of mortality in mechanically ventilated patients in the intensive care unit. *JAMA* 2004; 291: 1753- 1762.
- 36- Epstein SK, Ciubotaru RL. Independent effects of etiology of failure and time to reintubation on outcome for patients failing extubation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 489- 493.
- 37- Esteban A, Anzueto A, Frutos F. Mechanical ventilation international study group. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-days international study. *JAMA* 2002; 287: 345- 355.
- 38- Esteban A, Alia I, Ibanez J, Benito S, Tobin MJ. Modes of mechanical ventilation and weaning. A national survey of Spanish hospitals. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Chest* 1994; 106: 1188- 1193.
- 39- Falk JL, Rackow EC, Weil MH. End-tidal carbon dioxide concentration during cardiopulmonary resuscitation. *N Engl J Med.* 1988; 318: 607- 611.

- 40- Fletcher R, Jonson B. Dead space and the single breath test for carbondioxide during anaesthesia and artificial ventilation: Effects of tidal volume and frequency of respiration. *Br J Anaesth* 1984; 56: 109- 119.
- 41- Fletcher R, Veintemilla F. Changes in arterial to end-tidal PCO₂ differences during coronary artery bypass grafting. *Acta Anaesthesiol Scand* 1989; 33: 656- 659.
- 42- Fowler KT, Read J. Cardiogenic oscillations in expired gas tension and regional pulmonary blood flow. *J Appl Physiol* 1961; 16: 863- 868.
- 43- Garnacho-Montero J, Amaya-Villar R, Garcia-Garmendia JL, Madruso Osuna J, Ortiz-Leyba C. Effect of critical illness polyneuropathy on the withdrawal from mechanical ventilation and the length of stay in septic patients. *Crit Care Med* 2005; 33: 349- 354.
- 44- Grmec S, Klemen P. Does the end-tidal carbon dioxide (EtCO₂) concentration have prognostic value during out-of-hospital cardiac arrest? *Eur J Emerg Med.* 2001; 8: 263- 269.
- 45- Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care: international consensus on science. *Circulation* 2000; 102: I1-I370.
- 46- Gürsel G. Mekanik Ventilasyon Sırasında Solunum Monitörizasyonu II. Bölüm *Tüberküloz ve Toraks Dergisi* 2003; 51:100- 106.
- 47- Gürsel G. Respiratory Monitoring During Mechanical Ventilation. *Yearbook Respiratory Care Clinics and Applied Technologies* 2008. Edited By Dr. Antonio Esquinas. Tipografia San Francisco, SA. Pages 499- 507.
- 48- Gürsel G, Oguzülgen K, Öziş T. A prospective randomized comparison of effects of heated humidifier and HME- Booster. *Critical Care Medicine* 2005; Suppl, A 410.
- 49- Gürsel G, Taneri F, Türктаş H Akut solunum sıkıntısı sendromunda mekanik ventilasyon tedavisinde yüksek PEEP düzeyleri ile recruitment manevrası uygulamasının etkinliğinin karşılaştırılması. *Toraks Dergisi* 2007; 8: 92-96.
- 50- Hedenstierna G, Sandhagen B. Assessing dead space: A meaningful variable? *Minerva Anesthesiol* 2006; 72: 521- 528.

- 51- Hogg K, Dawson D, Tabor T, Tabor B, Mackway-Jones K. Respiratory dead space measurement in the investigation of pulmonary embolism in outpatients with pleuritic chest pain. *Chest* 2005; 128: 2195- 2202.
- 52- Hubble CL, Gentile MA, Tripp DS, Craig DM, Meliones JN, Cheifetz IM. Dead space to tidal volume ratio predicts successful extubation in infants and children. *Crit Care Med* 2000; 28: 2034- 2040.
- 53- Johnson JL, Breen PH. How does positive end-expiratory pressure decrease pulmonary CO₂ elimination in anesthetized patients? *Respir Physiol* 1999; 118: 227- 236.
- 54- Jubran A, Mathru M, Dries D, et al. Continuous recordings of mixed venous oxygen saturation during weaning from mechanical ventilation and the ramifications thereof. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 1763- 1769.
- 55- Kalenda Z. The capnogram as a guide to the efficacy of cardiac massage. *Resuscitation* 1978;6: 259- 263.
- 56- Kallet RH, Alonso JA, Pittet JF, Matthay MA. Prognostic value of the pulmonary dead space fraction during the first 6 days of acute respiratory distress syndrome. *Respir Care* 2004; 49: 1008- 1014.
- 57- Kannan S, Manji M. Survey of use of end-tidal carbon dioxide for confirming tracheal tube placement in intensive care units in the UK. *Anaesthesia* 2003; 58: 476- 479.
- 58- Knaus WA, Draper EA, Wagner DP. APACHE II: A severity of disease classification system. *Crit Care Med* 1985; 13: 818- 829.
- 59- Kollef MH, Shapiro SD, Silver P. A randomized controlled trial of protocol-directed versus physician directed weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1997; 25: 567- 574.
- 60- Leung P, Jubran A, Tobin M. Comparison of assisted ventilator modes on triggering, patient effort and dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 1940- 1948.

- 61- Levine RL, Wayne MA, Miller CC. End-tidal carbon dioxide and outcome of out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med*. 1997; 337: 301- 306.
- 62- Lin SM, Liu CY, Wang CH. The impact of delirium on the survival of mechanically ventilated patients. *Crit Care Med* 2004; 32: 2254- 2259.
- 63- Lucangelo U, Blanch L. Dead Space. *Intensive Care Med* 2004; 30: 576- 579.
- 64- Maisch S, Reissmann H, Fuellekrug B, Weismann D, Rutkowski T, Tusman G, Bohm SH. Compliance and dead space fraction indicate an optimal level of positive end-expiratory pressure after recruitment in anesthetized patients. *Anesth Analg*. 2008; 106: 175- 181.
- 65- Mohsenifar Z, Hay A, Hay J. Gastric intraluminal ph as a predictor of success or failure in weaning patients from mechanical ventilation. *Ann Intern Med* 1993; 119: 794- 798.
- 66- Moon SW, Lee SW, Choi SH, Hong YS, Kim SJ, Kim NH. Arterial minus end tidal CO₂ as a prognostic factor of hospital survival in patients resuscitated from cardiac arrest. *Resuscitation* 2007;72: 219- 225.
- 67- Morley TF. Capnography in the intensive care unit. *J Intensive Care Med* 1990; 209- 223.
- 68- Murroy IP, Model JH. Early detection of endotracheal tube accidents by monitoring carbon dioxide concentration in respiratory gas. *Anesthesiology* 1983; 59: 344- 346.
- 69- Nieman GF, Paskanik AM, Bredenberg CE. Effect of positive end-expiratory pressure on alveolar capillary perfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988; 95: 712- 716.
- 70- Nuckton TJ, Alonso JA, Kallet RH. Pulmonary dead space fraction as a risk factor for death in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2002; 346: 1281- 1286.
- 71- Pierson DJ. Weaning from mechanical ventilation in acute respiratory failure: Concepts, indications and techniques. *Respir Care* 1983; 28: 646- 662.
- 72- Pochard F, Lanore JJ, Bellier F. Subjective psychological status of severely ill patients discharged from mechanical ventilation. *Clin Intens Care* 1995; 6: 57- 61.

- 73- Pontoppidan H, Hedley-Whyte J, Bendixen HH, et al. Ventilation and oxygenation requirements during prolonged artificial ventilation in patients with respiratory failure. *N Engl J Med* 1965; 273: 401- 409.
- 74- Richard C, Teboul JL. Weaning failure from cardiovascular origin. *Intensive Care Med* 2005; 31: 1605- 1607.
- 75- Riou Y, Leclerc F, Neve V, Dupuy L, Noizet O, Leteurtre S, Sadik A. Reproducibility of the respiratory dead space measurements in mechanically ventilated children using the CO₂SMO monitor. *Intensive Care Med* 2004; 30: 1461- 1467.
- 76- Roberts WA, Maniscalco WM, Cohen AR, Litman RS, Chhibber A. The use of capnography for recognition of esophageal intubation in the neonatal intensive care unit. *Pediatr Pulmonol* 1995; 19: 262- 268.
- 77- Salam A, Tilluckdharry L, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA. Neurologic status, cough, secretions and extubation outcomes. *Intensive Care Med* 2004; 30: 1334- 1339.
- 78- Sanchez O, Wermert D, Faisy C, Revel MP, Diehl JL, Sors H, Meyer G. Clinical probability and alveolar dead space measurement for suspected pulmonary embolism in patients with abnormal D-Dimer test result. *J Thrombosis and Haemostasis* 2006; 4: 1517- 1522.
- 79- Sandberg K, Sjoqvist BA, Hjalmarson O. Efficiency of ventilation in neonatal pulmonary maladaptation. *Acta Paediatr* 1987; 76: 30- 36.
- 80- Stroetz RW, Hubmayr RD. Tidal volume maintenance during weaning with pressure support. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 1034- 1040.
- 81- Suter PM, Fairley B, Isenberg MD. Optimum end-expiratory airway pressure in patients with acute pulmonary failure. *N Engl J Med* 1975; 292: 284- 289.
- 82- Tanabe Y, Hosaka Y, Ito Y, Ito E, Suzuki K. Significance of end-tidal PCO₂ response to exercise and its relation to functional capacity in patients with chronic heart failure. *Chest* 2001; 119: 811- 817.

- 83- The Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations. Sentinel Event Alert. Preventing ventilator-related deaths and injuries. (Internet) Issue 25; February 26, 2002. http://www.jointcomission.org/sentinelevents/sentineleventalert/sea_25.htm.
- 84- Thompson JE, Jaffe MB. Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient. *Respir Care* 2005; 50: 100- 108.
- 85- Tobin MJ. Mechanical ventilation. *N Engl J Med* 1994; 330: 1056- 1061.
- 86- Vallverdu I, Calaf N, Subirana M, Net A, Benito S, Mancebo J. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and the outcome of a two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 1855- 1862.
- 87- Verschuren F, Heinonen E, Clause D, Roeseler J, Thys F, Mert P, Marion E, El Gariani A, Col J, Reynaert M, Liistro G. Volumetric capnography as a bedside monitoring of thrombolysis in major pulmonary embolism. *Intensive Care Med* 2004; 30: 2129- 2132.
- 88- Verschuren F, Liistro G, Coffeng R, Thys F, Roeseler J, Zech F, Reynaert M. Volumetric capnography as a screening test for pulmonary embolism in the emergency department. *Chest* 2004; 125: 841- 850.
- 89- Wensel R, Georgiadou P, Francis DP, Bayne S, Scott AC, Genth-Zotz S, Anker SD, Coats AJS, Piepoli MF. Differential contribution of dead space ventilation and low arterial PCO₂ to exercise hyperpnea in patients with chronic heart failure secondary to ischemic or idiopathic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2004; 93: 318- 323.
- 90- Webb RK, Van Der Walt JH, Runciman WB. The Australian Incident Monitoring Study. Which monitor? An analysis of 2000 incident reports. *Anaesth Intensive Care* 1993; 21: 529- 542.
- 91- West JB (Ed). *Respiratory Physiology*, Baltimore, Williams-Wilkins, 1974.
- 92- www.capnography.com. A Comprehensive Educational website designed, produced and maintained by Kodali BS.

93- Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. N Eng J Med 1991;21: 1445–1451.