

T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ANESTEZİYOLOJİ VE REANİMASYON ANABİLİM DALI

MEME CERRAHİLERİNDE OTOMATİK GAZ KONTROL
MODU İLE MİNİMAL AKIMIN KARŞILAŞTIRILMASI

Dr. Gökhan ÇEVİKER

TIPTA UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Özcan PİŞKİN

ZONGULDAK

2022

T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ANESTEZİYOLOJİ VE REANİMASYON ANABİLİM DALI

MEME CERRAHİLERİNDE OTOMATİK GAZ KONTROL
MODU İLE MİNİMAL AKIMIN KARŞILAŞTIRILMASI

Dr. Gökhan ÇEVİKER

TIPTA UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Özcan PİŞKİN

ZONGULDAK

2022

ÖNSÖZ

Uzmanlık eğitimim süresince bilgi, deneyim ve anlayışıyla mesleki gelişimime önemli katkı sağlayan değerli hocam Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hilal AYOĞLU'na,

Klinik tecrübeleri ve bilgi birikimiyle eğitim sürecime sağladığı katkının yanı sıra tezimi yazma sürecinde ortaya koyduğu gayret ve gösterdiği anlayış için tez danışmanım kıymetli hocam Doç. Dr. Özcan PİŞKİN'e,

Uzmanlık eğitimim süresince sağladıkları samimi katkılarından ötürü değerli hocalarım Doç. Dr. Bengü Gülhan KÖKSAL, Doç. Dr. Gamze KÜÇÜKOSMAN, Dr. Öğr. Üyesi Rahşan Dilek OKYAY, Dr. Öğr. Üyesi Çağdaş BAYTAR ve Dr. Öğr. Üyesi Keziban BOLLUCUOĞLU'na,

Tez çalışmalarım boyunca gösterdikleri anlayış nedeniyle başta Prof. Dr. Güldeniz KARADENİZ ÇAKMAK olmak üzere tüm Genel Cerrahi Kliniği'ne,

Uzmanlık eğitimimin önemli bir parçasını paylaştığım ve bu zorlu sürecin yükünü beraber çektiğimiz sevgili asistan arkadaşlarıma,

Tez çalışmalarımda önemli katkıları olan ve vakalarımın büyük çoğunluğuna eşlik eden Süleyman ÖZKAN Bey başta olmak üzere tüm anestezi tekniker ve teknisyenlerine; beraberinde hemşire, sekreter ve personellere,

Yine bu vesileyle Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı'nda başlamış olduğum uzmanlık eğitimimin ilk yıllarında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım kıymetli hocalarıma; beraberinde asistan arkadaşlarıma, tüm ameliyathane ve yoğun bakım ekibine,

Bilgi ve tecrübelerini bana aktarmakta gösterdikleri samimi sabır ve anlayış dolayısıyla kıdemlilerim Uzm. Dr. İbrahim ADALI ve Uzm. Dr. Feyza ÖZKAN'a,

Hayatımın her aşamasında bana olan destekleriyle bugünlere gelmemi sağlayan, koşulsuz merhamet sahibi annem ve babam başta olmak üzere, sevgili ağabeyim ve ablama, diğer tüm aile bireylerine,

Tez yazma sürecimin en yakın tanığı olan, samimi ilgi, sevgi ve merhametini eksik etmeyen eřim, yoldaşım ve meslektaşım Dr. Būřra ŐZGEN ŐEVİKER'e,

En iĉten sevgi, saygı ve teőekkūrlerimi sunarım.

Zonguldak, 2022

Dr. Gŧkhan ÇEVİKER



ÖZET

Gökhan Çeviker, Meme Cerrahilerinde Otomatik Gaz Kontrol Modu ile Minimal Akımın Karşılaştırılması, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı, Tıpta Uzmanlık Tezi, Zonguldak, 2022.

Amaç: Otomatik gaz kontrol (AGC) modu, düşük akımlı anestezi yönetiminde hedeflenen end-tidal anestezik ajan (EtAA) ve oksijen (O_2) konsantrasyonlarının anestezi cihazı tarafından otomatik olarak sağlanması ile uygulanır. Çalışmamızda; meme cerrahilerinde AGC modu ve manuel gaz kontrolünün yapıldığı minimal akım tekniğinin inhaler anestezik ajan tüketimi-maliyet, hemodinami ve derlenme üzerine etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Etik kurul onayı alınan prospektif randomize çalışmaya elektif şartlarda genel anestezi altında meme cerrahisi planlanan, Amerikan Anestezistler Derneği (ASA) I-II risk grubunda ve 18-65 yaş aralığında olan 90 hasta dahil edildi. Hastalar; AGC modu uygulananlar (Grup 1, n:30), manuel gaz kontrol modu ile minimal akım uygulananlar (Grup 2, n:30) ve manuel gaz kontrol modu ile orta akım uygulananlar (Grup 3, n:30) olmak üzere üç gruba ayrıldı. Rutin hemodinamik monitörizasyon, vücut sıcaklığı ve bispektral indeks (BİS) monitörizasyonu yapıldı. Preoksijenasyon sonrası tüm hastalara rutin anestezi indüksiyonu uygulandı. İdame sevofluran ve intravenöz (i.v) remifentanil infüzyonu ile sağlandı. Taşıyıcı gaz olarak medikal hava kullanıldı. Her üç grupta, 1.0 minimum alveolar konsantrasyon (MAK) değerine ulaşıldıktan sonra idamede sevofluran düzeyi BİS 40-60 arasında olacak şekilde ayarlandı. Hastaların indüksiyon öncesi ve ameliyat esnasında belirlenen zaman aralıklarında ortalama arter basıncı (OAB), kalp atım hızı (KAH), periferik oksijen satürasyonu (SpO_2), BİS, inspire edilen sevofluran fraksiyonu (FiSEVO), ekspire edilen sevofluran fraksiyonu (FeSEVO), end-tidal karbondioksit ($EtCO_2$), vücut sıcaklığı ve anlık tüketilen inhaler anestezik ajan miktarı kaydedildi. Ekstübasyon, derlenme, toplam cerrahi ve anestezi süreleri kayıt altına alındı. Her vaka sonunda toplam tüketilen inhaler anestezik ajan miktarı belirlendi ve maliyet analizi yapıldı.

Bulgular: Grup 1’de saatlik sevofluran tüketiminin Grup 2 ve Grup 3’ten az olduğu (sırasıyla $p<0.001$, $p<0.001$), Grup 2 tüketiminin de Grup 3’ten az olduğu ($p<0.001$) gözlemlendi. Sevofluran tüketimine bağlı oluşan maliyet hesabında Grup 1 değerlerinin Grup 2 ve Grup 3 değerlerine göre anlamlı düşük olduğu (sırasıyla $p<0.001$, $p<0.001$), Grup 2 değerlerinin de Grup 3 değerlerine göre düşük olduğu ($p<0.001$) görüldü. OAB değerleri gruplar arası benzer bulundu ($p>0.05$). Ekstübasyon öncesi vücut sıcaklığı ölçümlerinde Grup 1 değerlerinin Grup 2 ve Grup 3 değerlerinden yüksek olduğu (sırasıyla $p=0.014$, $p=0.002$), Grup 2 ve Grup 3 değerlerinin ise benzer olduğu saptandı. Ekstübasyon süresinin Grup 2’de Grup 1 ve Grup 3’ten daha uzun olduğu (sırasıyla $p<0.001$, $p<0.001$), Grup 1 ve Grup 3 değerlerinin ise benzer olduğu saptandı. Gruplar arasında derlenme süreleri açısından anlamlı bir fark saptanmadı ($p>0.05$).

Sonuçlar: Hemodinami ve derlenme üzerine olumsuz bir etki göstermeyip inhaler anestezi ajan tüketimini azaltması nedeniyle AGC modu kullanımının manuel gaz kontrolünün yapıldığı minimal akım tekniğine göre daha üstün olduğu kanaatindeyiz.

Anahtar Kelimeler: Otomatik Gaz Kontrol, Manuel Gaz Kontrol, Düşük Akımlı Anestezi, Minimal Akımlı Anestezi, Tüketim

ABSTRACT

Gökhan Çeviker, Comparison of Automatic Gas Control Mode and Minimal Flow in Breast Surgery, Zonguldak Bülent Ecevit University Faculty of Medicine, Department of Anesthesiology and Reanimation, Specialization Thesis in Medicine, Zonguldak, 2022.

Aim: The automatic gas control (AGC) mode is applied by the anesthesia device automatically providing the targeted end-tidal anesthetic agent (EtAA) and oxygen (O₂) concentrations in low-flow anesthesia management. In our study; we aimed to compare the effects of AGC mode and minimal flow technique with manual gas control on inhaler anesthetic agent consumption-cost, hemodynamics and recovery in breast surgeries.

Materials and Methods: The prospective randomized study, approved by the ethics committee, included 90 patients aged 18-65 years, in the American Society of Anesthesiologists (ASA) I-II risk group, who were planned for breast surgery under general anesthesia under elective conditions. The patients were divided into three groups: AGC mode (Group 1, n:30), manual gas control mode with minimal flow (Group 2, n:30), and manual gas control mode with medium flow (Group 3, n:30). Routine hemodynamic monitoring, body temperature and bispectral index (BIS) monitoring were performed. Routine anesthesia induction was applied to all patients after preoxygenation. Maintenance was provided with sevoflurane and intravenous (i.v) remifentanyl infusion. Medical air was used as the carrier gas. In all three groups, after reaching the minimum alveolar concentration (MAC) value of 1.0, sevoflurane level was adjusted to keep BIS value between 40-60 in maintenance. Mean arterial pressure (MAP), heart rate (HR), peripheral oxygen saturation (SpO₂), BIS, inspired sevoflurane fraction (FiSEVO), expired sevoflurane fraction (FeSEVO), end-tidal carbon dioxide (EtCO₂), body temperature and the amount of instantaneously consumed inhaler anesthetic agent were recorded before induction and intraoperative time intervals. Extubation, recovery, total surgery and anesthesia times were recorded. At the end of each case, the total amount of inhaled anesthetic agent consumed was determined and cost analysis was performed.

Results: It was observed that hourly consumption of sevoflurane in Group 1 was less than Group 2 and Group 3 ($p<0.001$, $p<0.001$, respectively), and Group 2 consumption was less than Group 3 ($p<0.001$). In the cost calculation due to sevoflurane consumption, Group 1 values were found to be significantly lower than Group 2 and Group 3 values ($p<0.001$, $p<0.001$, respectively), and Group 2 values were lower than Group 3 values ($p<0.001$). MAP values were found to be similar between groups ($p>0.05$). In the pre-extubation body temperature measurements, Group 1 values were found to be higher than Group 2 and Group 3 values ($p=0.014$, $p=0.002$, respectively), while Group 2 and Group 3 values were found to be similar. It was determined that the extubation time was longer in Group 2 than Group 1 and Group 3 ($p<0.001$, $p<0.001$, respectively), while Group 1 and Group 3 values were similar. There was no significant difference between the groups in terms of recovery times ($p>0.05$).

Conclusion: We believe that the use of AGC mode is superior to the minimal flow technique with manual gas control, since it does not have a negative effect on hemodynamics and recovery and reduces the consumption of inhaler anesthetic agents.

Keywords: Automatic Gas Control, Manual Gas Control, Low Flow Anesthesia, Minimal Flow Anesthesia, Consumption

İÇİNDEKİLER

İçindekiler	Sayfa
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Solutma Sistemleri	3
2.1.1. İşlevsel özelliklerine göre solutma sistemleri	3
2.1.2. Teknik açıdan solutma sistemleri	4
2.1.3. Karbondioksit absorbanları	6
2.2. İnhalasyon Anestezikleri	8
2.2.1. İnhalasyon Anesteziklerinin Farmakokinetiği	8
2.2.2. İnhalasyon Anesteziklerinin Farmakodinamiği	10
2.2.3. İnhalasyon Anesteziklerinin Klinik Farmakolojisi	11
2.3. Düşük Akımlı Anestezi	11
2.3.1. Düşük Akımlı Anestezi Uygulamasının Avantajları	14
2.3.2. Düşük Akımlı Anestezi Uygulamasının Dezavantajları	16
2.3.3. Düşük Akımlı Anestezinin Kontrendikasyonları	20
2.3.4. Düşük Akımlı Anestezi Uygulaması İçin Teknik Gereksinimler	21
2.3.5. Düşük Akımlı Anestezi Yönteminin Klinik Uygulaması	21
2.3.6. Otomatik Gaz Kontrollü Düşük Akımlı Anestezi	23
2.4. Bispektral İndeks	26
3. GEREÇ VE YÖNTEM	28
3.1. İstatistiksel Yöntem	31

4. BULGULAR	33
5. TARTIŞMA	44
6. SONUÇLAR	52
7. KAYNAKLAR	53
8. EKLER	64
Ek 1: Etik Kurul Onayı	64



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simge /Kısaltma	Açıklamalar
AGC	Otomatik Gaz Kontrol
APL	Ayarlanabilir Basınç Giderme Valfi
ASA	Amerikan Anesteziyologlar Derneği
BİS	Bispektral İndeks
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
EEG	Elektroensefalogram
EKG	Elektrokardiyografi
EtAA	End-tidal Anestezik Ajan
EtCO ₂	End-tidal Karbondioksit
Fe	Ekspiratuar Konsantrasyon
FeSEVO	Ekspire Edilen Sevofluran Fraksiyonu
Fi	İnspiratuar Konsantrasyon
FiO ₂	İnspire Edilen Oksijen Fraksiyonu
FiSEVO	İnspire Edilen Sevofluran Fraksiyonu
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
i.v	İntravenöz
KAH	Kalp Atım Hızı
KOH	Potasyum Hidroksit
MAK	Minimum Alveolar Konsantrasyon
MAS	Modifiye Aldrete Skoru
NaOH	Sodyum Hidroksit
N ₂ O	Azot Protoksit
O ₂	Oksijen
OAB	Ortalama Arter Basıncı
PEEP	Pozitif Ekspiryum Sonu Basınç
SpO ₂	Periferik Oksijen Satürasyonu
TOF	Dörtlü Uyarı Dizisi

VAS	Visual Analog Skala
VKİ	Vücut Kitle İndeksi



TABLolar DİZİNİ

Tablo No	Tablonun Başlığı	Sayfa No
1	Düşük ve minimal akımlı anestezi teknikleri	13
2	BİS algoritmi	27
3	GruPlar arası demografik veriler ve ASA skorlarının karşılaştırılması	33
4	Ameliyat bilgilerine ait klinik özellikler	33
5	GruPlar arası sevofluran tüketimi ve maliyet değerlerinin karşılaştırılması	34
6	GruPlar arası anlık sevofluran tüketim değerleri karşılaştırılması	35
7	GruPlar arası ortalama arter basıncı değerlerinin karşılaştırılması (mmHg)	36
8	GruPlar arası kalp atım hızlarının karşılaştırılması (atım/dk)	37
9	GruPlar arası periferik oksijen satürasyon değerlerinin karşılaştırılması (%)	38
10	GruPlar arası inspiratuar sevofluran konsantrasyonlarının karşılaştırılması (%)	39
11	GruPlar arası ekspiratuar sevofluran konsantrasyonlarının karşılaştırılması (%)	40
12	GruPlar arası EtCO ₂ değerlerinin karşılaştırılması (mmHg)	41
13	GruPlar arası vücut sıcaklığının karşılaştırılması (°C)	42
14	GruPlar arası BİS değerlerinin karşılaştırılması	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şeklin Başlığı	Sayfa No
1	AGC ayarları	24
2	AGC tahmin aracı-1	25
3	AGC tahmin aracı-2	25
4	BİS monitörizasyonu	26
5	Hasta alımı akış diyagramı	32



1. GİRİŞ

Genel anestezi, bilincin geri dönüşümlü olarak kaybı, amnezi, analjezi ve kas gevşemesi ile karakterizedir (1). Genel anestezinin indüksiyonunda çoğunlukla intravenöz (i.v) ajanlar kullanılırken idamesinde inhalasyon ajanları kullanılır (1, 2). İnhalasyon ajanları, oksijen (O₂) ve hava gibi taşıyıcı medikal gazlar içerisinde verilir. Tercih edilen taşıyıcı medikal gazın miktarı (L/dk); anestezi hızını, derinliğini ve inhalasyon ajan tüketimini etkiler (3).

Son yıllarda gelişen teknolojiyle beraber anestezi cihazları ve monitörizasyon tekniklerinde büyük değişimler yaşanmış ve bu değişimlerin bir sonucu olarak düşük akımlı anestezi yöntemi ortaya çıkmıştır. Bu yöntem; yeniden solutma sistemi kullanılarak karbondioksit (CO₂) absorpsiyonundan sonra ekshale edilen gaz karışımının en az %50'sinin akciğerlere geri dönme prensibine dayanmaktadır (4). Baker-Simionescu 1 L/dk ve altındaki taze gaz akımıyla uygulanan anestezi yöntemini düşük akımlı anestezi yöntemi olarak tanımlarken, 250-500 mL/dk taze gaz akımıyla uygulanmasını ise minimal akımlı anestezi yöntemi olarak tanımlamıştır (3).

Düşük akımlı anestezi uygulamasının ekonomik, çevresel ve klinik açıdan birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Bu uygulama ile sağlanan en önemli üstünlük yeniden solumadaki artış prensibine bağlı olarak, taşıyıcı medikal gaz ve inhalasyon ajan tüketiminin azalmasıdır. Bu azalma, maliyeti düşürmenin yanında atmosfere salınan ve sera gazı etkisi oluşturan anestezik ajanların miktarını da azaltır. Öte yandan, bu yöntemin çalışma prensibine bağlı olarak sıcaklık ve nemin belirli bir dereceye kadar korunması sağlanır. Böylece solunum yolu fizyolojisi daha az etkilenir (4-8).

Düşük akımlı anestezi yöntemi, manuel veya otomatik gaz kontrollü cihazlar ile uygulanabilir. Manuel kontrollü yöntemde; güvenli ve uygun anesteziyi sağlamak için uygulayıcının yakın monitörizasyon takibi yaparak anestezik ajan ve O₂ konsantrasyonlarına yönelik çok sayıda ayarlama yapması gerekmektedir. Otomatik gaz kontrollü yöntemde ise; taze gaz akımı, hedeflenen end-tidal anestezik ajan (EtAA) ve O₂ konsantrasyonları cihaz tarafından otomatik olarak sağlanmaktadır (9,

10). Otomatik gaz kontrol (AGC) modu, otomatik gaz kontrollü minimal akımlı anestezi uygulanmasına imkan veren bir seçenektir (11).

Bu çalışmada, meme cerrahilerinde AGC modu ve manuel gaz kontrolünün yapıldığı minimal akım tekniğinin inhaler anestezi ajan tüketimi-maliyet, hemodinami ve derlenme üzerine etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Solutma Sistemleri

Solutma sistemleri; farklı oranlarda taze ve ekspire edilen gaz içeriklerinin bir araya getirilmesini, volatil anestezi ajanların inhalasyonunu ve ortam atmosferinden izolasyonunu, ekspirasyon havasındaki CO₂'nin uzaklaştırılmasını, ısı ve nem etkisi ile uygun iklim koşullarının oluşmasını sağlar (12). İşlevsel ve teknik özelliklerine göre sınıflandırılabilir.

2.1.1. İşlevsel özelliklerine göre solutma sistemleri

2.1.1.1. Açık solutma sistemleri

Açık solutma sistemlerinde hava yolu hem inspiryum hem ekspiryumda atmosfer ile temas halindedir. Bu durum hastaya verilen anestezi gaz karışımının takibinde dezavantaj oluşturur. Rezervuar bir sistem bulunmaz ve yeniden solutma sağlanamaz. Açık damla, insuflasyon ve T parçası metodları bu sistemlere örnek gösterilebilir (12).

2.1.1.2. Yarı-açık solutma sistemleri

Yarı-açık solutma sisteminde atmosfere açık olan ekspiratuar kol ile ekspiryum sırasında mevcut gaz sistem dışına verilir ve atmosfere kapalı olan inspiratuar kol ile de inspiryum sırasında hastaya taze gaz iletilir. Taze gaz akımı hastanın dakika hacmine eşit veya daha fazla olmalıdır. Taze gaz akımı ne kadar fazlaysa kullanılmadan atmosfere atılan O₂, azot protoksit (N₂O) ve anestezi ajan miktarları o kadar fazladır. Mapleson devreleri gibi akım denetimli yeniden solutmasız sistemler bu gruba dahildir (12).

2.1.1.3. Yarı-kapalı solutma sistemleri

Yarı-kapalı solutma sistemlerinde inspirasyon ve ekspirasyon valfleri ile kolları ayrı ayrıdır. Bir miktar yeniden solutma mevcuttur; ekspire edilen gaz karışımının bir kısmı tekrar solunarak sisteme alınır, bir kısmı ise atmosfere atılır. Sistemde rezervuar balonu mevcuttur ve CO₂ absorbanına ihtiyaç duyulur. Anestezi ajan tüketimi yarı açık sisteme göre daha düşüktür; nemli ve ısısı daha iyi korunmuş

gaz karışımı sağlar. Taze gaz akışı dakika solunum hacminden daha az olabilir. Taze gaz akışı ne kadar azaltılırsa yeniden solutma miktarı o kadar artacaktır (13). Hasta tarafından inhale edilen havadaki taze gaz oranının yüksek olduğu 4 L/dk akımda yeniden solutma oranı yaklaşık %20 civarı iken, taze gaz akımı 2 L/dk ve altında ise bu oran %80 değerine kadar çıkabilir. Yarı kapalı yeniden solutmalı bir sistemde, taze gaz akımı kesinlikle alınım miktarı ve solutma sistemindeki kaçak nedeniyle olan kayıplardan daha az olmamalıdır. Solutma sistemindeki gaz hacmini yeterli düzeyde tutabilmek için kaybolan gaz miktarı karşılanmalıdır (14).

2.1.1.4. Kapalı solutma sistemleri

Kapalı solutma sistemlerinde, hastanın aldığı gaz hacmine tam olarak eşit miktarda taze gaz hacminin verilmesi söz konusudur. Hasta tarafından ekspire edilen gaz hacminin tamamı CO₂ absorbanınca temizlendikten sonra devamında inspirasyonda tekrar hastaya geri döner. Gaz fazlası atılım valfinin kapalı olması ve sistemde kaçak olmaması halinde gaz hacmi sabit tutulur (12).

Yeniden solutmalı sistemlerin akılcı kullanımı ile anestezi ajan tüketiminin ve beraberinde maliyetin düşürülmesi, anestezi gazlardan yararlanımın daha fazla olması, daha iyi ısı ve nem oranının elde edilmesi ve atmosfer kirliliğinin azaltılması sağlanabilir (14).

2.1.2. Teknik açıdan solutma sistemleri

2.1.2.1. Anestezi Gaz Rezervuarı Olmayan Solutma Sistemleri

Bu sistemler basit bir teknik tasarıma sahiptir. Anestezi gazlar ortam havasına karışmaktadır; bu nedenle hastaya gönderilen anestezi ajanın konsantrasyonu tam olarak takip edilemez. İlk anestezi sistemlerdendir; eter ve kloroform kullanımında tercih edilen anestezi damla maskeleri ya da Boyle-Davies havayolu insüflasyon sistemleri örnek olarak verilebilir (12).

2.1.2.2. Yeniden solutmasız sistemler

Yeniden solutmasız sistemlerde hastanın ekspirasyonu sonucu ortaya çıkan tüm anestezi gaz karışımı ve CO₂ sistemden uzaklaştırılarak atmosfere atılır ve sistem taze gaz akışı ile doldurulur.

Bu sistemler akım denetimli ve valf denetimli olarak kategorize edilebilir.

2.1.2.2.1. Akım denetimli yeniden solutmasız sistemler

Karbondiyoksit atılımı taze gaz akışına bağlı olan akış kontrollü solunum sistemleri olarak bilinirler. Hastanın ekspirasyonu sonucu ortaya çıkan gaz, yüksek taze gaz akımı ile solutma sisteminden uzaklaştırılır. Taze gaz akımı ile ekspirasyondaki hava akımının yönü aynı veya zıt olabilir. Bu sistemlerin yarı açık solutma sistemlerinde kullanımı uygundur. Mapleson tarafından sınıflandırılmıştır (15);

Mapleson A: Ekspirasyon sırasında taze gaz akımı, ekspire edilen havanın tersi yönündedir. Ekspirasyondaki gaz, hastanın havayoluna yakın bir ekspiratuar valf yoluyla sistemden uzaklaştırılır. Magill ve Lack sistemleri Mapleson A'ya örnek gösterilebilir.

Mapleson B ve C: Taze gaz girişi ve ekspiratuar valf, hastanın havayolu bağlantısına yakın konumlanmıştır. Rezervuar balon hasta havayolu bağlantısının uzağındadır ve ekspire edilen gaz ile taze gaz karışımını içerir. Anestezi pratiğinde sık tercih edilmezler. Bu sistemde CO₂'nin yeniden solunmasını önlemek için fazla taze gaz akışına ihtiyaç vardır.

Mapleson D: Taze gaz girişi hasta havayolu bağlantısına yakın; rezervuar balon ve ekspiratuar valf ise uzak konumdadır. Bain ve Penlon sistemleri Mapleson D'ye örnek gösterilebilir.

Mapleson E: Taze gaz girişi havayolu bağlantısına yakındır. Rezervuar balon ve ekspiratuar valf yoktur. Yeniden solumanın engellenmesi için yüksek taze gaz akışı gerekmektedir (16). Bu gruba Ayre'nin T parçası örnek verilebilir.

Mapleson F: Ekspirasyonda ortaya çıkan gaz, rezervuar balonun ucundaki valf yoluyla uzaklaştırılır. İşlevsel olarak Mapleson D sistemine benzerdir (15).

2.1.2.2.2. Valf denetimli yeniden solutmasız sistemler

Bu sistemde hastanın havayoluna yakın konumlanmış yeniden solutmayı engelleyen valf mevcuttur, ekspirasyonla çıkarılan gaz buradan uzaklaştırılır ve

yeniden solutulma gerçekleşmez. İnspirasyonla verilen taze gaz akımı dakika hacmine eşittir. Kapalı ya da yarı-kapalı sistemlerde kullanımı uygun değildir (12).

2.1.2.3. Yeniden Solutmalı Sistemler

Yeniden solutma; hastanın ekspirasyonla çıkardığı havadaki kullanılmış anestezi ajanların CO₂'den temizlenip üzerine bir miktar taze gaz eklendikten sonra devamındaki inspirasyonda tamamen veya kısmen hastaya geri döndürüldüğü sistem olarak tanımlanabilir. Bu sistemlerde ekspire edilen havadaki CO₂'yi temizleyecek bir parça olması zorunludur (12, 14).

2.1.3. Karbondioksit absorbanları

Karbondioksit absorbanlı solunum sistemleri ilk kez 1930'da Brian Sward tarafından tanımlanmıştır (2). Yeniden solutmalı sistemlere entegre edilmiş kanisterler içerisinde ekspire edilen havadaki CO₂'yi temizlemek için granüller mevcuttur. Bu granüller ekspire edilen hava ile kimyasal tepkimeler oluşturarak CO₂'nin temizlenmesini sağlarlar. Klasik absorbanlar; soda-lime ve baryum hidroksit-lime'dır.

Soda-lime; %80 kalsiyum hidroksit, %15 su, %4 sodyum hidroksit (NaOH), %1 potasyum hidroksit (KOH)'ten oluşur. İçeriğinde az miktarda silika vardır. Soda-lime'in CO₂ absorpsiyonu için katalizörü NaOH'tır. Silika eklenmesi soda-lime sertliğini artırır ve solunum yollarına toksik olan NaOH tozunun inhalasyonunu önler. Soda-lime ne kadar kuru olursa volatil anestezi ajanları absorbe etme ve parçalama ihtimali o kadar artar. Granül boyutu, absorbe edici yüzey alanı ve gaz akışına direnç nedeniyle emilimi etkiler. Granül boyutu küçük ise emilim fazladır fakat gaz akımına direnç vardır. Sıklıkla tercih edilen Soda-lime'in granül çapı 4–8 mesh (0.125 inç ile 0.25 inç)'dir. Saatte ortalama 12–18 L CO₂ çıkaran bir erişkin hastaya göre, 1 kg soda-lime yaklaşık 10 saat yeterli olabilir. Renksiz olan Soda-lime'ların kullanılabilirlik süresini tamamladığı, indikatörler sayesinde pH'ın düşmesine bağlı renklenme ile anlaşılır. En sık kullanılan indikatör mor renk değişiminin gözlemlendiği etil viyole'dir. Etil viyole, absorbanın fonksiyonelliği açısından her zaman güvenilir değildir; boya florasan ışığı altında deaktive olabileceğinden absorban tükenince de beyaz görülebilir.

Baryum hidroksit-lime; %20 baryum hidroksit, %80 kalsiyum hidroksit, %1-4 KOH içerir. İçeriğinde kristalizasyon suyu mevcut olduğundan serttir ve silika eklenmesine ihtiyaç yoktur (2, 17).

Baryum hidroksit-lime, sevofluran ile etkileşimiyle yüksek miktarda ısı artışına sebep olması ve bu durumun patlamalara sebebiyet verebileceği kaygısı nedeniyle kullanımdan kaldırılmıştır (18).

Anestezik ajanların CO₂ absorbanları ile etkileşimi sonucu Compound A ve karbonmonoksit (CO) bileşenleri ortaya çıkar.

Compound A oluşumunu arttıran faktörler (19);

- Baryum hidroksit-lime kullanımı (Soda-lime'dan daha fazla)
- Absorbanın ısısının yükselmiş olması
- Yüksek sevofluran konsantrasyonu
- Düşük taze gaz akımı veya kapalı devre kullanımı
- Uzun süreli anestezi uygulanması

Compound A'nın hayvanlarda nefrotoksisite yaptığı gösterilmiştir; ancak yapılan insan çalışmalarında klinik açıdan önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür (20, 21).

CO oluşumunu arttıran nedenler (19);

- Absorbanın tipi (Baryum hidroksit-lime > Soda-lime)
- İnhaler ajanın tipi (desfluran > isofluran > sevofluran)
- Absorbanın kuruması
- Yüksek ısı
- Sigara kullanımı

Absorban içeriğinde bulunan NaOH bileşeninin %2 altına düşürülmesi ve KOH kullanılmaması, Compound A ve CO üretiminde belirgin azalma sağlayacaktır (22).

Yeni nesil CO₂ absorbanlarından olan Amsorb; kalsiyum hidroksit, düşük oranlarda kalsiyum klorid ve kalsiyum sitrattan oluşur. İçeriğinde NaOH ve KOH bulunmamaktadır. Amsorb ile yapılan çalışmalarda yeterli CO₂ emilimi sağladığı,

düşük miktarlarda Compound A ve CO üretimine neden olduğu görülmüştür (17, 23). Dezavantaj olarak sık değişim yapma zorunluluğu ve maliyet artışı gösterilebilir.

2.2. İnhalasyon Anestezikleri

2.2.1. İnhalasyon Anesteziklerinin Farmakokinetiği

İnhalasyon anestezisinin amacı, cerrahi girişimler sırasında bilinci ve refleksleri baskılamaktır. Bunun için anestezik ajan, solutma sistemi aracılığıyla hastanın akciğerlerine ulaştırılır. Pasif difüzyon ile alveol membranından perialveolar kapillerlere geçer. Kandan da beyin dahil tüm organ ve dokulara taşınır. Anestezi süresince amaç, ilacın etki yeri olan santral sinir sisteminde yeterli konsantrasyona erişmesini sağlamak ve bu düzeyi idame ettirmektir (1, 2).

Bir anestezik vaporizatörü ile anestezinin beyinde depolanması arasında birçok basamak vardır;

2.2.1.1. İnspire Edilen Konsantrasyon

Anestezi cihazından çıkan taze gaz, inspire edilmeden önce solunum devresindeki gazlarla karışır. Bu sebeple, hastalar vaporizatörde ayarlanmış konsantrasyonu alamazlar. İnspire edilen taze gaz karışımının gerçek niteliği; taze gaz akımının miktarına, solunum devresinin volümüne ve absorpsiyonuna bağlıdır. Taze gaz akımı ne kadar fazla, solunum devresi ne kadar küçük ve devre absorpsiyonu ne kadar az ise, inspire edilen gaz konsantrasyonu taze gaz konsantrasyonuna o kadar yakın olacaktır. Klinik olarak bu nitelikler, daha hızlı indüksiyon ve derlenme süresi anlamına gelir (1, 2).

2.2.1.2. Alveolar Konsantrasyon

Anesteziklerin alınımını; gazların kanda çözünürlükleri, alveolar kan akımı ve alveolar gaz ile venöz kan arasındaki parsiyel basınç farkı belirler.

Kan/gaz partisyon katsayısı ne kadar büyükse anestezinin erirliği de o kadar büyüktür ve pulmoner dolaşım tarafından alınımı da o kadar fazladır. Bu yüksek çözünürlüğün sonucu olarak, alveolar parsiyel basınç daha yavaş yükselir ve indüksiyon uzun olur.

Pulmoner şantlaşmanın olmadığı durumlarda kalp debisi alveolar kan akımına eşittir. Kalp debisi yükseldikçe anestezi alımı artar, alveolar parsiyel basınç artışı yavaşlar ve indüksiyon gecikir.

Alveolar gaz ile venöz kan arasındaki parsiyel basınç farkı doku alımına bağlıdır. Anestezikler dokulara geçmezse venöz ve alveoler basınçlar aynı olur, pulmoner alım olmaz.

İnhalasyon anesteziklerinin alım ve dağılımını daha iyi anlamak için dokular, çözünürlük ve kan akımına göre gruplandırılmıştır. Damardan zengin grup (beyin, kalp, karaciğer, böbrekler, endokrin organlar) anesteziklerin önemli miktarını alan ilk gruptur. Kısa sürede anesteziklere doyarlar. Kas grubu iyi perfüze olmadığı için alımı yavaştır, uzun zamanda doyuma ulaşılır. Yağ grubunun perfüzyonu kas grubuna benzer; ancak anesteziklerin yağdaki yüksek çözünürlüğü nedeniyle bu grubun ajanları tutma kapasiteleri çok yüksektir ve doyum çok uzun sürer. Damardan fakir grupta (kemik, ligament, kıkırdak, diş, saç) perfüzyon çok az olduğu için anestezik alım önemsizdir.

Pulmoner alım nedeniyle alveolar parsiyel basıncın azalması; alveolar ventilasyon ve inspirasyon konsantrasyonu artırılarak dengelenebilir (1, 2).

2.2.1.3. Arteriyel Konsantrasyon

Alveolar ve arteriyel anestezik parsiyel basınçlarının eşit olduğu varsayılır; fakat alveolar ölü boşluk ve venöz karışım nedeniyle arteriyel parsiyel basınç daima ekspiryum sonu gazından daha düşüktür. Ventilasyon/perfüzyon uyumsuzluğunun bulunması, alveolar parsiyel basıncı yükseltip arteriyel parsiyel basıncı düşürerek bu farkı artırır (1).

2.2.1.4. Redistribüsyon ve Eliminasyon

İnhalasyon ajanları; beyin dokusundan, kan akımı göreceli olarak daha az olan organlara doğru denge oluşuncaya kadar yeniden dağılır. Anestezi süresi uzadıkça çeşitli dokulardaki anestezik madde oranları birbirine yaklaşır ve dağılım azalır. Bu sırada bağırsaklar, cilt ve opere edilen dokulardan kayıplar olmakta, indüksiyon sırasındaki gereksinim azalarak sabit bir düzeye inmektedir.

İnhalasyon anesteziğinin en önemli eliminasyon yolu alveollerdir. Anesteziğin alınımında etkili olan benzer faktörler eliminasyonunda da etkili olmaktadır. İnhalasyon ajanı kesilince inspirasyon havasındaki anesteziğin konsantrasyonu sıfıra iner, alveolar konsantrasyon düşer ve kandan alveollere geçiş artar. Kandaki konsantrasyonun azalması beyindeki, yağ dokusundaki ve diğer dokulardaki genel anesteziğin maddenin kana geçişini ve atılmasını artırır. Kan akımının fazlalığı ile ilacın beyinden uzaklaştırılması daha hızlı olur (1, 2).

2.2.2. İnhalasyon Anesteziğinin Farmakodinamiği

İnhalasyon ajanları, santral ve periferik sinir sisteminde bulunan birçok iyon kanalı ile etkileşir. İnhibitör iyon kanallarının aktivitesini artırıp, eksitator iyon kanallarının aktivitesini azaltmak yoluyla sinir sisteminde depresyon sağladığı konusunda genel bir görüş birliği vardır (1).

2.2.2.1. Minimum Alveolar Konsantrasyon

Bir inhalasyon anesteziğinin, hastaların %50'sinde standart bir uyarıya (örn; cerrahi kesi) yanıt olarak gelişen hareketi engelleyen, bir atmosfer basıncındaki alveolar konsantrasyonu olarak tanımlanmıştır. Minimum alveolar konsantrasyon (MAK), anesteziğin etki yeri olan beyindeki parsiyel basınçlarını yansıtmada ve potenslerini kıyaslamada kullanılan yararlı bir ölçümdür. Pek çok fizyolojik ve farmakolojik etmen tarafından değişebilir (1);

MAK değerini artıran etkenler; hipertermi, genç yaş, hipernatremi, semptomimetikler, kronik alkolizm.

MAK değerini azaltan etkenler; hipotermi, ileri yaş, hiponatremi, hiperkalsemi, sempatolitikler, gebelik, akut alkol zehirlenmesi, anemi, hipoksi, hiperkarbi, hipotansiyon, benzodiazepinler, barbitüratlar, opioidler, lokal anesteziğler (kokain hariç), ketamin, verapamil, lityum.

MAK değerini değiştirmeyen etkenler; cinsiyet, anestezi süresi, hipotiroidi, hipertiroidi.

2.2.3. İnhalasyon Anesteziklerinin Klinik Farmakolojisi

2.2.3.1. Sevofluran

Metil izopropil eterin yüksek florürlü türevi olan sevofluran, 1990'lı yıllarda klinik kullanıma giren bir inhalasyon anestezikdir. Patlamaz ve alev almaz. Keskin kokulu olmaması nedeniyle inhalasyon indüksiyonu için ideal ajandır. Solunumsal iritan etkisinin olmayışı, respiratuar komplikasyon olasılığını düşürür. Düşük buhar basıncı sayesinde konvansiyonel vaporizatör teknolojisi ile kullanılabilir. Düşük kan/gaz partisyon katsayısı, indüksiyon sırasında alveoler anestezik konsantrasyonunun hızla yükselmesine ve anesteziden hızlı derlenmeye katkı sağlar.

Sevofluran, katkı maddesi ve koruyucu madde gerektirmez. Plastiklerde daha az çözünmesi nedeniyle anestezide devrelerinde ekstraksiyona uğrama oranı düşüktür.

Sevofluran doza bağımlı olarak solunumsal ve kardiyovasküler sistemler üzerine depresif etki gösterir. Normokarbi durumunda serebral kan akımını ve intrakraniyal basıncı hafif derecede artırabilir. Yüksek konsantrasyonları (>1.5 MAK) serebral otoregülasyonu bozabilir.

Sevofluran, inhalasyon indüksiyonundan sonra çocukların entübasyonu için yeterli kas gevşemesi sağlayabilir.

Sevofluran, portal ven kan akımını azaltırken, hepatik arter kan akımını ise artırır; böylece total karaciğer kan akımı ve O₂ sunumu korunur.

Sevofluran, renal kan akımını hafif derecede düşürür. CO₂ absorbanları ile etkileşimi sonucunda oluşan yıkım ürünü (Compound A) hayvanlarda nefrotoksik bulunmuştur. Yapılan insan çalışmalarında bu yıkım ürününün klinik açıdan önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür (1, 20, 21, 24).

2.3. Düşük Akımlı Anestezi

Düşük akımlı anestezi yöntemlerine ilgi son yıllarda giderek artmıştır. Bununla ilgili terminoloji taze gaz akım hızına dayandırılmaktadır. Düşük akımlı anestezi; yarı kapalı yeniden solutmalı bir sistemle uygulanan ve CO₂ absorpsiyonundan sonra ekshale edilen gaz karışımının en az %50'sinin akciğerlere geri dönmesiyle sonuçlanan bir inhalasyon anestezisi tekniğidir (4). İlk olarak 1952 yılında Foldes ve

ark. 1 L/dk'lık taze gaz akımını düşük akımlı anestezi olarak tanımlamıştır (25). İlerleyen süreçte 1974 yılında R. Virtue, taze gaz akımının 0.5 L/dk'nın üzerine çıkılmadığı minimal akım adını verdiği tekniği öne sürmüştür (26).

Düşük akımlı anestezi tekniklerine karşı tedirginlik nedenleri arasında anestezistin tekniği bilmemesi veya yeterli deneyiminin olmaması, bu teknikler için anestezi ajanlarının dozu ve anestezi cihazlarının uygunluğu konusunda belirsizlik olması sayılabilir. Modern anestezi cihazları düşük ve minimal akımlı anestezilerin güvenle uygulanabileceği biçimde dizayn edilmiştir. Teknolojik alandaki gelişmeler neticesinde anestezi cihazlarının yüksek standarda sahip olması, anestezi ajan bileşimini sürekli ve ayrıntılı bir biçimde analiz eden monitörlerin varlığı, inhalasyon anesteziklerinin farmakodinami ve farmakokinetiği konusunda bilgi artışı, düşük akımlı anestezinin güvenli şekilde uygulanabilmesine zemin hazırlamıştır (5, 27).

Yeniden solutmalı sistemler, tercih edilen taze gaz akımına göre; yarı açık, yarı kapalı ya da kapalı olabilir. Yarı kapalı yeniden solutmalı bir sistemde hastanın dakika ventilasyon hacminin altındaki bir değerde taze gaz akımı ayarlanabilir. Fakat hastanın alınımlı ve beraberinde solutma sisteminde oluşabilecek kaçağa bağlı kayıplarından daha düşük miktarda bir taze gaz akımı kullanılmamalıdır. Solutma sisteminde gaz hacminin yeterli seviyede korunabilmesi için kaybolan gaz miktarı mutlaka yerine konmalıdır. Yeniden solutmalı bir sistemde taze gaz akımı hastanın dakika ventilasyonuna eşit düzeyde ise yeniden solutma oranı ihmal edilebilir seviyede düşük olur. Taze gaz akımı 4 L/dk ayarlandığında yaklaşık %20; 2 L/dk ve altı olduğunda ise %50 ve daha fazla oranda yeniden solutma gerçekleşir. Taze gaz akımı ne kadar azaltılırsa yeniden solutma oranı o kadar artar ve sonuç olarak sistemden atılan gaz miktarı da düşer (8).

Düşük ve minimal akımlı anestezi tekniklerinin özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Düşük ve minimal akımlı anestezi teknikleri (8)

	Düşük Akımlı Anestezi	Minimal Akımlı Anestezi
Taze gaz akımı	Sabit 1 L/dk	Sabit 0.5 L/dk
Taze gaz bileşimi	%50 O ₂ , %50 hava/N ₂ O	%60 O ₂ , %40 hava/N ₂ O
Yeniden solutma	Kısmen	Yüksek oranda
Gaz fazlası	Var	Az
Anestezi gaz bileşimi	Anestezi süresince değişir	Anestezi süresince değişir
Teknik sınıflandırma	Yarı-kapalı sistem	Yarı-kapalı sistem

Genel anestezi idamesinde tercih edilen taze gaz akımlarına göre anestezi tekniklerinin tanımları değişmektedir. Baker-Simionescu sınıflamasına göre akım hızları;

- Çok yüksek akım > 4 L/dk
- Yüksek akım 2-4 L/dk
- Orta akım 1-2 L/dk
- Düşük akım 500-1000 mL/dk
- Minimal akım 250-500 mL/dk
- Metabolik akım < 250 mL/dk şeklinde tanımlanmıştır (28).

Düşük akımlı anestezi uygulaması için; 1985 yılında F. Foldes ve Duncalf yeterli denitrojenasyonu sağlayabilmek açısından başlangıçta 10 dk süre ile yüksek taze gaz akımı (2 L/dk O₂, 3 L/dk N₂O) uygulandıktan sonra düşük akımlı (0.5 L/dk O₂, 0.5 L/dk N₂O) anesteziye geçilmesi gerektiğini belirtmiştir (8). Minimal akımlı anestezi ise indüksiyon sonrası 15-20 dk süre ile yüksek taze gaz akımı uygulanır, yüksek alımı karşılamak için inhalasyon anesteziği de ona uygun olarak ayarlanır. Bu dönemden sonra gaz bileşimi %60 O₂ (0.3 L/dk) ve %40 N₂O (0.2 L/dk) şeklinde düzenlenir (26). Anestezi uygulanma süresine bağımlı olarak inspiratuar O₂ konsantrasyonunda düşme olabileceği için yakın takibi önerilmektedir. Güvenli yazılım özelliklerine sahip gelişmiş anestezi cihazları kullanıldığında önemli bir sorun yaşanmadan kolaylıkla bu yöntemler uygulanabilir (14).

2.3.1. Düşük Akımlı Anestezi Uygulamasının Avantajları

2.3.1.1. Hasta için avantajları

Normal fizyolojik koşullarda; inspire edilen hava burun ve üst solunum yollarından geçerken ısıtılır ve nemlendirilir. Endotrakeal entübasyon veya trakeotomi uygulanmış hastalarda bu koruyucu mekanizmalar bypass edilir. Bu duruma bağlı olarak kuru ve soğuk gaz karışımının inspirasyonu, solunum sisteminden önemli ölçüde su ve ısı kaybına neden olur; mukosilyer aktiviteyi bozarak solunumsal problemlere zemin hazırlar. İnspire edilen gazın sıcaklığının ve neminin yetersiz olması sekresyonları kurutur, mukus retansiyonu yapar. Sonuç olarak bronşiyollerde kısmi tıkanıklık ile mikroatelektaziler meydana gelebilir ve enfeksiyon riski artar. Anestezi süresi uzadığında, inhale edilen havadaki düşük nem ve ısı oranı da postoperatif hipotermi gelişme olasılığını artırır (29-31).

Anestezik gazların uygun şekilde nemlendirilmesinin ve ısıtılmasının, silyalı epitelin işlevi ve mukosilyer aktivite için önemi büyüktür. Düşük akımlı yöntem sayesinde soğuk ve kuru taze gaz oranının düşürülmesi; aynı zamanda nemlenmiş ve ısınmış olarak ekshale edilen gazın yeniden soluma oranının artırılması ile anestezik gaz iklimi önemli düzeyde iyileştirilebilir (30, 31). Trakeabronşiyal iklimdeki iyileşme, solunum yolundan ısı ve sıvı kaybını azaltır. Solutulan gazın sıcaklık ve nemlilik yönünden daha uygun hale getirilmesi postoperatif boğaz ağrısının azalmasını sağlar (29).

Yapılan çalışmalar, düşük akımlı anestezi ile sıcaklık değerleri ve nemlilik oranının yüksek akımlı yöntemle göre daha iyi korunduğunu göstermektedir (32, 33).

2.3.1.2. Ekonomik avantajları

Hastane toplam ilaç tüketiminin %5.7'sini anestezik ilaçların ve bunun da %20'sini volatil anesteziklerin oluşturduğu bildirilmiştir (34). Sevofluran ve desfluran gibi anestezik ajanlar birçok avantajının yanı sıra maliyeti yüksek ajanlardır (35). İnhalasyon sırasında yüksek taze gaz akımı ile verildiklerinde daha fazla miktarda kullanılırlar (36).

Bir volatil anestezinin maliyetini belirleyen faktörler; ajanın satış fiyatı, potensi, ajanın her bir mililitresi tarafından oluşturulabilen buhar miktarı ve taze gaz akımıdır.

Taze gaz akımının oranı anestezi uygulamasında değiştirilebilir bir parametredir. Taze gaz akımı azaltılarak yeniden solutma yolu ile tüketilen ve atık sistemine aktarılan gaz miktarı en aza indirilir. Dolayısıyla inhalasyon anesteziğinin maliyetinin belirlenmesindeki en önemli faktör akım hızı olup, taze gaz akımı düşürüldükçe tüketim de azaltılabilmektedir (7, 34). 5 L/dk ile yüksek akımlı anestezi uygulamasında, inhaler ajanın yaklaşık %80'inin boşa harcandığı belirtilmiştir (37).

Genel anestezi uygulamalarında düşük akımlı yöntemlerin tercih edilmesi volatil anestezik ajanlarının tüketimini, dolayısıyla maliyeti azaltan uygun bir alternatif olarak görülmektedir (38, 39). Yıldırım ve ark. (40) taze gaz akımının 4 L/dk'dan 1 L/dk'ya düşürülmesi ile anestezik gazların tüketiminde sevofluran için %67 ve desfluran için %66 azalma olduğunu göstermişlerdir. Igarashi ve ark. (41)'nin çalışmasında, düşük akımlı anestezinin kullanıldığı pediyatrik hasta grubunda sevofluran tüketiminin %86 gibi ciddi bir oranda düştüğü görülmüştür.

Düşük akımlı anestezi uygulamalarında anestezik gaz maliyetini düşürmenin yanı sıra soda-lime tüketiminin artması akla gelmektedir. Baum (4) yaptığı bir çalışmada, iki saat süreli minimal akımlı anestezi uygulamasında soda-lime tüketimine bağlı maliyet artışının; volatil ajan tüketimine bağlı oluşan maliyetteki azalmaya kıyasla ihmal edilecek düzeyde olduğunu bildirmiştir.

2.3.1.3. Ekolojik avantajları

İnhaler ajanların kullanımı ilk olarak anestezi ve diğer ameliyathane çalışanları için risk taşımaktadır. Her ne kadar kaçak kontrolü yapılsa ve atık sistemler kullanılsa da volatil anesteziklere maruziyet oluşabilmektedir. Bu atık gazlara olan maruziyet ameliyathane personeline spontan abortus, konjenital anomali, karaciğer, böbrek hastalıkları ve kanser insidansını arttırmaktadır (19, 33).

Genel anestezi uygulamalarında kullanılan inhalasyon anesteziklerinin belirgin sera gazı etkisi olduğu bildirilmiştir (42, 43). Karbondioksit referans alınarak 100 yıllık süre zarfındaki sera gazlarının küresel ısınmaya etkisi, Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) olarak tanımlanmaktadır (44). Anestezik ajanların GWP değerlerine bakıldığında N₂O ve desfluranın diğerlerine göre sera gazı etkisinin belirgin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ajanların atmosferik ömürlerinin

sevofluran için 1.1 yıl ve desfluran için 14 yıl iken; N₂O için 114 yıl olduğu dikkati çekmektedir (45). Gaya da Costa ve ark. (46) inhaler anesteziikleri son derece güçlü sera gazları olarak tarif etmiş ve anesteziik tüketimini, dolayısıyla atık gazı en aza indirmek için yeni teknolojilerin geliştirilmesine yatırım yapılmasını önermiştir.

Modern ve ileri teknolojiye sahip anestezi cihazları ile düşük akımlı anestezi yönteminin tercih edilmesi, inhalasyon ajanların maliyetini düşürmesinin yanı sıra sera gazı etkileri yoluyla sebep oldukları atmosfer kirliliğinin de azalmasını sağlar (38).

2.3.2. Düşük Akımlı Anestezi Uygulamasının Dezavantajları

Düşük akımlı anestezi uygulamasında, solutma sisteminde yer alan gazlar ile hastaya verilen taze gazın içeriği arasındaki fark artar. Akım hızı düşürüldükçe sistem dışına atılacak olan gaz miktarı da düşer ve ekspirasyonda verilen gazların eliminasyonu azalır, bu da düşük akımlı anestezi risklerini ortaya çıkarır. Bu riskler aşağıda belirtilmiştir;

2.3.2.1. Hipoksi

Düşük akımlı anestezi uygulamasında, hastaya verilen taze gaz akımı azaltıldıkça inspire edilen havadaki O₂ konsantrasyonu ve taze gaz içindeki O₂ konsantrasyonu arasındaki fark giderek açılır. Yeniden soluma miktarındaki artışa bağlı olarak inspirasyon yolu ile verilen O₂ konsantrasyonunda azalma gerçekleşir; devrede hipoksik gaz karışımı meydana gelebilir (28). Düşük akımlı anestezi yönteminde inspiratuar O₂ konsantrasyonu devamlı olarak takip edilmeli; alarm düzeylerinin alt sınırı doğru ayarlanmalıdır. Kullanılan teknik malzemelerin özelliklerine göre taze gaz akımı miktarı ve gazların içeriği uygun şekilde düzenlenmelidir (47).

2.3.2.2. Hipoventilasyon

Taze gaz akımı, toplam gaz alınımı ve kaçaklardan kaynaklanan hacmi karşılayamazsa gaz hacim eksikliği ortaya çıkabilir. Gaz hacimindeki eksiklik hem dakika hacminde hem de tepe ve plato basınçlarında azalmaya neden olur. Bunun sonucunda hipoventilasyon görülebilir ve böyle bir durumda taze gaz akımı en az 1–2 dk süreyle yükseltilmelidir. Bu gaz hacim eksikliğinin oluşmaması için düşük akımlı anestezi uygulanacak vakalarda anestezi makinesi, solunum devresi ve ventilatöre

yönelik kaçak testi yapılmalıdır. Avrupa ortak standardında kaçağa bağlı gaz kaybı için izin verilen en yüksek miktar 3 kPa (30 cmH₂O) basınçta 150 mL/dk olarak belirlenmiştir (48-50).

Gaz kaçağına bağlı hipoventilasyon gelişme riskine yönelik hava yolu basınçlarının yakından takip edilmesi ve alarm limitlerinin uygun şekilde ayarlanması önemlidir (47).

2.3.2.3. Karbondioksit birikimi

Düşük akımlı anestezi uygulamalarında bir absorban aracılığıyla sistemdeki CO₂'nin uzaklaştırılması önem arz etmektedir. Yeniden solutulan hacim fazla olduğundan, absorbanın hızlı tükenmesiyle CO₂ konsantrasyonunda artış görülür. CO₂ absorbanın tükenme hızı yeniden solutulan gaz miktarıyla doğrudan ilişkilidir (27, 47).

Hasta güvenliği açısından inspirasyon ve ekspirasyon sırasındaki CO₂'nin mutlaka kapnograf ile monitörize edilmesi gerekir. (47). Minimal akımlı anestezi yöntemi tercih edildiğinde absorban tüketiminde artış daha belirgindir (51).

2.3.2.4. Hava yolu basınç artışı

Eski model anestezi cihazlarında, gaz rezervuarı olmadığından ekspiryum sırasında körüğün doluşunun desteklenmesi gerekir. Gaz kaçağını engellemek için, düşük akımlı anestezi kullanılacağı zaman pozitif ekspiryum sonu basınç (PEEP) uygulanması önerilmiştir. Kaçak nedenli kayıplar az miktarda ise PEEP valfinde yeniden ayarlama yapılabilir. PEEP valfi ayarlanmadığı takdirde ani basınç artışları ile karşılaşılabilir. Eğer obstrüksiyon ve dekonneksiyon alarmları doğru biçimde ayarlanırsa makine kaynaklı bu tarz sorunlar en kısa zamanda tespit edilerek çözülebilir. Hava yolu basıncını sınırlayıcı ayarlanabilir basınç giderme (APL) valfi, barotravmalar ile sonuçlanan hava yolu basıncı artışlarına karşı önlem almak için gerekli olan diğer bir güvenlik sistemidir. APL valfi, solutma sistemi içerisindeki pozitif basıncın belirlenen değere ulaşması ile birlikte açılır ve havayolu basıncının sınırlanmasını sağlar (47).

2.3.2.5. Uzun Zaman Sabitesi

Düşük akımlı anestezi uygulamalarında solutma sistemi içerisindeki inhaler anestezi ajan konsantrasyonlarının değişim hızı yavaştır; hedef değere ulaşmak için daha fazla zaman gerekir. Fakat istenildiği zaman yüksek akımlı anesteziye geçilerek hedef gaz konsantrasyonuna kısa sürede ulaşılabilir veya i.v anestezi ajanlar kullanılarak gerekli anestezi derinliği sağlanabilir (47).

2.3.2.6. İnhaler anestezi ajan doz aşımı

Düşük akımlı anestezi uygulamalarında yeniden solumadaki artışa bağlı olarak anestezi ajan konsantrasyonu ayarlanan değerin üzerine çıkabilir. Bu yüzden anestezi ajan konsantrasyonunun monitörize edilemediği durumlarda taze gaz akımının 1 L/dk'nın altına düşürülmemesi gerekir. Düşük akımlı anestezi uygulaması sırasında yeniden yüksek taze gaz akımına geçilmek istenilirse, vaporizatör ayarının zaman sabitesi daha kısa olan yüksek akımlı anesteziye göre tekrar ayarlanması önemlidir. Aksi halde anestezi ajan doz aşımı gelişebilir (47).

2.3.2.7. Yabancı gaz birikimi

Düşük akımlı anestezi sırasında CO, volatil haloalkenleri, nitrojen, aseton, etanol, argon, metan ve hidrojen gibi gazların birikimi görülebilir. Temel neden, ekspire edilen bu atık gazların düşük akımlı anestezide yeniden solunmasıdır (4, 47).

- **Karbonmonoksit:** Hemoglobine afinitesi yüksektir ve normal şartlarda CO oluşumu ihmal edilebilir düzeydedir. Aşırı sigara içen hastalarda, hemoliz, anemi veya porfiria gibi durumlarda klinik olarak anlamlı değerler gözlenebilir. Anestezi süresi uzun olan ve çoğunlukla sigara kullanan hastalarda karboksihemoglobin düzeyinin yüksek olduğu izlenmiştir. CO₂ absorbanları ile volatil anestezi ajanlarının etkileşimi sonucunda da CO birikimi gelişebilir. Volatil anesteziklerden öncelikli olarak desfluran, izofluran ve enfluran sorumlu tutulmuştur. CO birikimini önlemek için NaOH ve KOH içermeyen absorbanlar tercih edilmelidir. Absorban sık aralıklarla değiştirilmelidir (47, 52, 53).

- **Volatil haloalkenleri:** Özellikle sevofluran ve halotanın CO₂ absorbanları ile kimyasal reaksiyonu sonucunda haloalken birikimi görülebilir. Absorban içeriğinde

bulunan NaOH bileşeninin %2 altına düşürülmesi ve KOH kullanılmaması bu durumu engeller (20, 22).

- **Nitrojen:** Düşük veya minimal akımlı anestezi uygulamalarında nitrojen birikimi olabilir. Hipoksi olasılığının dışlanması halinde hasta açısından risk oluşturmaz. Anestezi başlangıcında 10–20 dk boyunca yüksek taze gaz akımıyla yapılan denitrojenasyon çoğu zaman yeterlidir (4, 54, 55).

- **Aseton:** Serbest yağ asitlerinin oksidasyonu sonucunda ortaya çıkar. Uzun süren açlıkta, dekompanse diabetes mellitus ve artan anti-insulin hormonları varlığında aseton birikimi gözlenebilir. Suda ve yağda çözünürlüğü yüksek olması nedeniyle artmış aseton konsantrasyonu, aralıklı yüksek taze akımı uygulanarak düşürülemez. Bu yüzden dekompanse diabetes mellitusu olan hastalarda 1 L/dk'dan daha düşük taze gaz akımı kullanımı güvenli değildir (54).

- **Etanol:** Asetona benzer şekilde çözünürlüğü yüksektir ve aralıklı yüksek taze gaz akımı uygulanarak konsantrasyonu düşürülemez. Bu nedenle alkollü bir hastanın anestezi yönetiminde devredeki yeterli yıkamayı sağlamak için taze gaz akımının 1 L/dk'nın altına düşürülmemesi önerilmektedir (47).

- **Argon:** Klinik açıdan birikimi zararlı değildir ve inhaler anestezik ajan izlemini etkilemez.

- **Metan:** Bağırsaklarda yıkım reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan fizyolojik bir gazdır. Medikal gazların içerisinde çok düşük düzeyde bulunabilir. O₂ ve N₂O ile karşılaşırsa yanıcı olabilir. Fakat uzun süreli kapalı sistem anestezilerinde bile yanıcı düzeylere ulaşmadığı bildirilmiştir (47, 54).

- **Hidrojen:** Uzun süreli kapalı sistem anestezisinde dahi patlamalara sebep olabilecek düzeyde birikmez (47).

2.3.2.8. Bakteriyel Kontaminasyon Riski

Düşük akımlı anestezide yeniden solutmaya bağlı anestezik gazların sıcaklığı ve nemi artar. Bu durum bakteri üremesini kolaylaştırabilir. Bakteri-nem filtresi kullanımı, rezervuar balon ve hortumların değiştirilmesi ile risk azaltılır (47).

Bengston ve ark. (56)'nın yaptığı çalışmada düşük akımlı anestezi yönteminde mikrobiyal kontaminasyon riskinin artmadığı bildirilmiştir.

2.3.3. Düşük Akımlı Anestezinin Kontrendikasyonları (8, 28)

2.3.3.1. Rölatif kontrendikasyonlar

- Operasyon süresinin kısa olması (< 30 dk)
 - o Yetersiz denitrojenasyon
 - o Yetersiz anestezi derinliği
- Toksik gaz birikme ihtimali olan hastalar
 - o Dekompanse diabetes mellitus
 - o Akut alkol intoksikasyonu
 - o Kronik alkol kullanımı
 - o Uzun süreli açlık
 - o Masif kan transfüzyonu
 - o Klinik olarak belirgin bölgesel/genel dolaşım bozukluğu
 - o Yoğun sigara içiciliği
- Kaçağın fazla olduğu durumlar
 - o Maske ile ventilasyon
 - o Kafsız endotrakeal tüp kullanımı
 - o Bronkoskopi
- Anestezi cihazı ile ilgili yetersizlikler
 - o Gaz ayarının hassas olmaması
 - o Sistem uygunsuzluğu

2.3.3.2. Mutlak kontrendikasyonlar

- Septik durumlar
- Malign hipertermi
- İnhalasyon zehirlenmeleri
- Monitörizasyon yetersizliği (gaz analizörü)
- Sodalime tükenmesi

2.3.4. Düşük Akımlı Anestezi Uygulaması İçin Teknik Gereksinimler

Ulusal standartların birbiriyle uyumlu hale getirilmesi amacıyla Avrupa Birliği ülkelerindeki bütün üretici firma ve anesteziistleri ilgilendiren “Anestezi Makineleri ve Modülleri - Temel Gereksinimler” başlıklı ortak Avrupa standardı olan EN-740, Haziran 1998’de kabul edilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (57).

Bu standarda göre anestezi makinelerinde bulunması gereken güvenlik özellikleri;

- Hava yolu basıncı izlemi
- İnhalasyon anesteziği konsantrasyon izlemi
- Ekspire edilen gaz hacmi izlemi
- İnspire edilen CO₂ konsantrasyon izlemi
- İnspire edilen O₂ konsantrasyon izlemi
- O₂ desteği yetersizlik alarmı
- O₂ oranı denetleyicisi
- O₂ bypass valfi
- N₂O akım durdurucusu
- Tek bir vaporizatör çalışmasını güvenceye alma
- Enerji yetersizlik alarmı

2.3.5. Düşük Akımlı Anestezi Yönteminin Klinik Uygulaması

Düşük akımlı anestezi teknikleri uygun monitörizasyonun varlığında, alarm sınırları dikkatle ayarlandığında ve bu alarmlar çalışabilir durumda olduğunda uygulanmalıdır. EKG, kan basıncı, pulse oksimetre, kapnograf, vücut sıcaklığı, hava yolu basıncı, dakika volümü, inspire edilen O₂ ve anestezi ajan konsantrasyonu monitörize edilmelidir. İnspire edilen O₂ konsantrasyonunun alt alarm sınırı %28-30’a, bağlantı ayrılma alarmı tepe basıncından 5 cmH₂O daha aşağıya, tıkanıklık alarmı 30 cmH₂O’ya ve ekspire edilen gaz hacmi alt alarm sınırı da istenen dakika hacminin 0.5 L/dk altına ayarlanmalıdır. Kaçak testinin sonucu 3 kPa (~30 cmH₂O) basınçta 150 mL/dk’nın altında olmalıdır (6, 48, 49).

Düşük akımlı anestezi uygulamasında premedikasyon ve indüksiyon alışlageldiği şekilde yapılabilir. Preoksijenasyondan sonra i.v bir hipnotik ajan ve

gerekirse kas gevşetici verilerek endotrakeal tüp ya da laringeal maske yerleştirilir ve hasta solutma sistemine bağlanır. Bağlantılar iyi kontrol edilmeli, kaf yeterince şişirilmeli ve solunum devresi mümkünse anestezi bitimine kadar oda havasına açılmamalıdır (6, 58). Başlangıç döneminde yeterli gaz hacmi oluşturmak ve denitrojenasyonu sağlamak için 6-8 dk boyunca 4 L/dk O₂-hava ya da O₂-N₂O karışımı ile yüksek akım uygulaması yapılır. Minimal akımlı anestezi uygulanması planlanıyorsa bu süre yaklaşık 15 dk'ya uzatılmalıdır. Solutma sisteminin içini istenilen gaz bileşimi ile doldurmak ve hedeflenen ajan konsantrasyonuna ulaşmak için gereken süre; yüksek taze gaz akım hızı kullanılarak, vaporizatör kadran ayarı artırılarak veya nitroz oksidin ikinci gaz etkisinden yararlanılarak kısaltılabilir. Kişisel tecrübeye göre uygulayıcılar tarafından çeşitli taze gaz akım hızı ve vaporizatör kadran ayarı kombinasyonları kullanılmaktadır. İstenilen konsantrasyonu elde etmek aynı zamanda ajanın çözünürlüğüne ve farmakokinetiğine bağlıdır. Hedef EtAA konsantrasyonuna (0.8-1 MAK) ulaşıldığında düşük veya minimal akım anestezisi başlatılabilir (4, 58, 59). Dengeleme süresi, yüksek akımdan minimal akıma geçiş için etkili bir parametredir. İnhaler anestezi ajanına ait ekspiratuar konsantrasyon (Fe) ve inspiratuar konsantrasyon (Fi) arasındaki denge zamanı, %80'lik bir Fe/Fi oranına ulaşma zamanı olarak tanımlanır. Yüksek akımdan minimal akıma geçiş noktası olarak dengelenme süresinin referans alınması, minimal akım anestezisini daha verimli kullanmamızı sağlayabilir Sevofluran ve desfluran gibi ajanlar, düşük kan/gaz çözünürlükleri ve dengeleme noktasına erken ulaşılması nedeniyle sık tercih edilmektedir (60-62).

Yüksek akımdan düşük veya minimal akıma geçildiğinde yeniden solutma oranında belirgin bir artış olur. İnspire edilen oksijen fraksiyonu (FiO₂) değerini %30'un üzerinde tutabilmek için taze gazın O₂ içeriği en az %50 değerine ayarlanmalıdır. İnspiyumdaki volatil anestezi konsantrasyonu da taze gaz akımı düşürüldüğünde azalmaktadır. Bu nedenle hedef MAK değerini koruyabilmek için taze gaz içindeki anestezi ajan konsantrasyonu artırılmalıdır.

Düşük akımlı anestezi uygulamasında cerrahinin bitiminden 15 dk önce vaporizatör kapatılabilir. Taze gaz akımı değiştirilmeyip düşük veya minimal akımla devam edilmesi halinde sistemdeki anestezi ajan konsantrasyonu gecikmeli olarak düşer. Taze gaz akımı ne kadar düşük ise anestezi ajan konsantrasyonundaki düşüş

de o derece yavaş gerçekleşir. Ekstübasyondan yaklaşık 5 dk önce yüksek taze gaz akımıyla saf O₂ verilerek anestezi ajan sistemden uzaklaştırılır (4, 19, 59).

2.3.6. Otomatik Gaz Kontrollü Düşük Akımlı Anestezi

Birçok alanda olduğu gibi anestezi uygulamalarında da teknoloji giderek daha fazla kullanılmaktadır. Güvenliği artırmak ve tekrar eden görevleri azaltmak için otomatik kontrol sistemleri geliştirilmiştir (63).

Düşük akımlı anestezi yöntemi, manuel veya otomatik gaz kontrol şeklinde uygulanabilir. Manuel gaz kontrollü yöntemde; güvenli ve uygun anesteziyi sağlamak için uygulayıcının yakın monitörizasyon takibi yaparak anestezi ajan ve O₂ konsantrasyonlarına yönelik çok sayıda ayarlama yapması gerekmektedir. Otomatik gaz kontrollü yöntemde ise; taze gaz akımı, hedeflenen EtAA ve O₂ konsantrasyonları cihaz tarafından otomatik olarak sağlanmaktadır (9, 10).

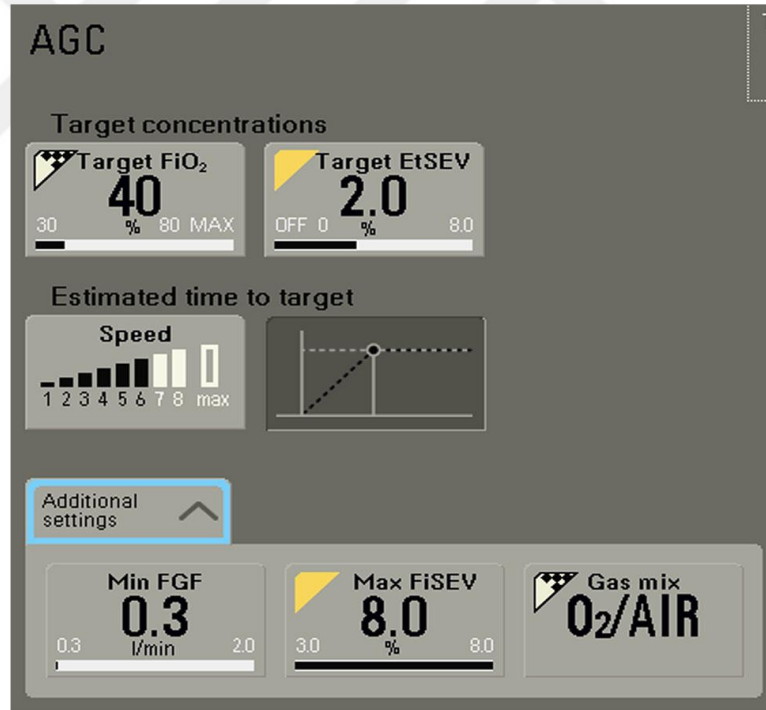
End-tidal anestezi ajan konsantrasyonunun otomatik geri beslemeli kontrol sistemiyle takibi; düşük akımlı anesteziyi kolaylaştırabilir. Zeus (Draeger Medical, Lubeck, Almanya), türbin sürükleyicili bir ventilasyon devresiyle birlikte solunum devresine doğrudan buhar enjeksiyonu sistemi kullanarak, inhaler ajan iletiminin otomatik kontrolünü sağlayan ilk anestezi cihazıdır (64, 65).

İlerleyen zamanlarda yeni otomatik gaz kontrollü modüller içeren cihazların sayısı artmıştır. GE Aisys Carestation™ (GE Healthcare, Madison, WI, ABD) anestezi cihazı, dengeleme süresini azaltmak için kompakt bir solunum devresiyle birlikte hem taze gaz akımı hem de vaporizatör çıkışı için dijital kontrole sahip bir cihazdır. Bu cihazda hedef end-tidal konsantrasyona ulaşmak için gaz akımı ve vaporizatör çıkışını otomatik olarak ayarlayan isteğe bağlı bir EtControl™ modülü tanıtılmıştır. Bu modülde taze gaz ve inhaler ajan konsantrasyonlarının yazılım tarafından ayarlanan değerlerle uyumlu olduğunu doğrulamak için sık aralıklarla gaz analizi yapılmaktadır (64-67).

AGC modu, FLOW-i anestezi cihazında (Maquet Flow-i® C20 Getinge AB, Göteborg, İsveç) end-tidal ajan kontrollü minimal akımlı anestezi uygulanmasına imkan veren bir seçenektir. İstenilen sürede hedef EtAA konsantrasyonuna ulaşma sırasında taze gaz akımı, O₂ ve anestezi ajan sunumunun otomatik kontrolünü

sağlayan bir sistemdir. Dolayısıyla bu parametrelere yönelik devamlı manuel ayar ihtiyacını azaltır. Başlangıçta yapılan tek bir hedef FiO₂ ayarı ile tüm anestezi sürecinde O₂ sunumunun kontrolünü kolaylaştırır ve bu hedefin altına düşmeme garantisi ile hipoksi riskini azaltır. Hedef EtAA konsantrasyonuna ulaşıldığında; AGC modu otomatik olarak taze gaz akımı ve anestezi ajan sunumunu minimal düzeye indirir. Böylece daha az anestezi ajan kullanımı ile tasarruf sağlar (9, 68).

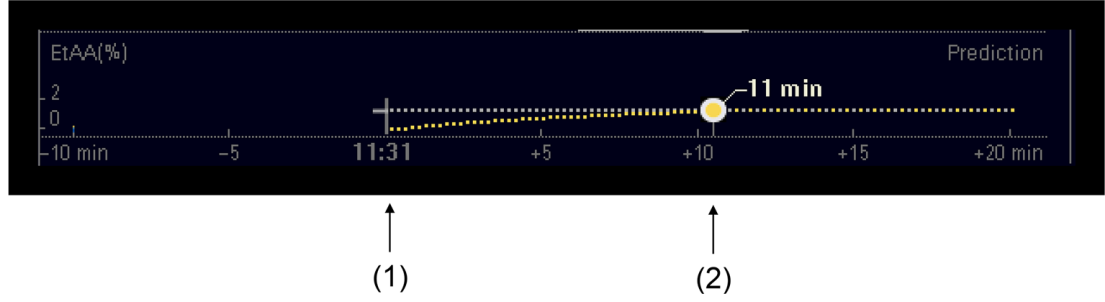
Anestezi indüksiyonu öncesi bekleme modundayken AGC ayarları düzenlenebilir. Bunlar; hedef FiO₂, hedef EtAA, maksimum inspire edilen sevofluran fraksiyonu (FiSEVO) konsantrasyonları, taze gaz karışımı, cihazın düşebileceği minimum taze gaz akımı miktarı ve hedefe ulaşma süresini belirleyen hız ayarlarıdır (Şekil 1). Bu ayarların önceden düzenlenmesi ve tek müdahale ile AGC modunun aktifleşmesi, indüksiyon sırasındaki meşguliyeti azaltmaya yönelik ergonomik bir avantaj sağlar (9).



Şekil 1. AGC ayarları (9)

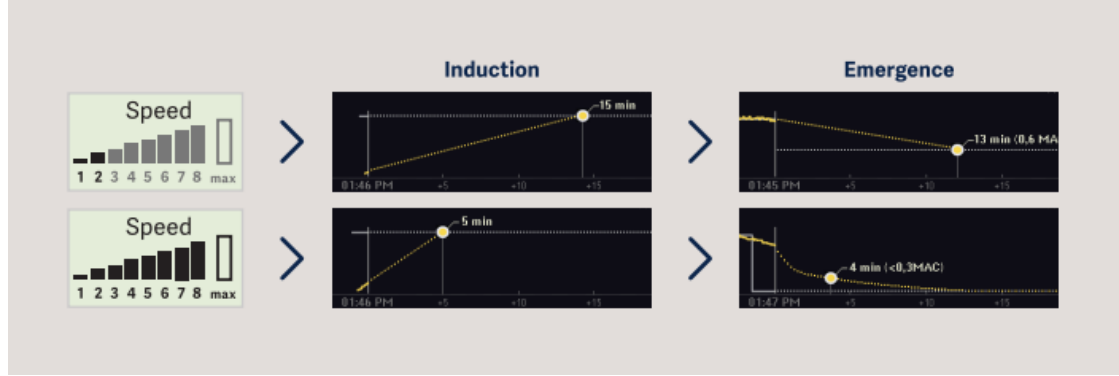
AGC modu, hedeflenen EtAA konsantrasyonuna istenilen hızda ulaşmayı sağlar. Aynı zamanda tahmin aracı özelliği ile EtAA konsantrasyonunun geçmiş, şimdiki ve tahmin edilen seyrini gösterir. Seçilen hız ayarına bağlı olarak (hız:1-8 birim arası ve maksimum hız ayarı seçenekleri mevcut) hedef konsantrasyona ulaşmak

için gerekli tahmini süreyi önceden bildirir (Şekil 2). Dolayısıyla anestezi ajan uygulamasının hastanın durumu ve cerrahi insizyon süresine adaptasyonunu kolaylaştırır. Böylece düşük veya yüksek doz ajan uygulanmasını önlemeye yardımcı olur (9, 68).



Şekil 2. AGC tahmin aracı-1. (1): şimdiki zaman, (2): hedef EtAA konsantrasyonuna ulaşılması için gereken tahmini süre

Tahmin aracı, indüksiyonun yanı sıra uyandırma fazında da EtAA konsantrasyonundaki değişikliğin seyrini ve gerekli süreyi bildirerek klinisyene kolaylık sağlar (Şekil 3).



Şekil 3. AGC tahmin aracı-2. İndüksiyon ve uyandırma fazları

Literatürdeki bir çalışmada anesteziistlerin mesailerinin %15'ten fazla kısmının taze gaz akımı ve vaporizatör ayarlarının kontrolü ile harcandığı belirtilmiştir (69). Düşük akım uygulamalarında AGC modun hedef konsantrasyonları otomatik sağlaması nedeniyle daha uyumlu olduğu ve yine hedef FiO₂ değerini sağlamaya verdiği öncelik nedeniyle daha güvenli bir mod olduğu vurgulanmıştır (9, 67).

Otomatik gaz kontrol modunda hasta güvenliği için çeşitli mekanizmalar mevcuttur. Sistemde kaçak saptanması gibi geçici bir problem oluştuğunda yüksek

taze gaz akımı uygulanması da bu güvenlik mekanizmalarının içinde yer alır. Benzer şekilde AGC modu devredeyken yüksek inspiratuar CO₂ alarmı etkinleşirse, güvenlik amaçlı sistem taze gaz akışını artırır. Sorun çözüldükten sonra, AGC moduna geri dönülür (9, 70).

2.4. Bispektral İndeks

Cerrahi operasyon geçirecek birçok hasta yetersiz anesteziye bağlı olarak işlem sırasında uyanık kalma, ağrı duyup hareket edememe ihtimaline karşı korku ve endişe duyar. Anestezi sırasında uyanıklık ve sonrasında bunu net bir şekilde hatırlama durumu, post-travmatik stres bozukluğuna neden olan tedirgin edici bir durumdur (71, 72).

Anestezi derinliğini etkin olarak ölçme yönündeki arayışlar santral sinir sisteminin monitörizasyonu için yeni tekniklerin bulunmasına yardımcı olmuştur. Bu konudaki güvenilir değişkenlerden biri olarak nitelendirilen bispektral indeks (BİS), özel bir elektroensefalogram (EEG) parametresidir. Elektroensefalogramı basit ve güvenilir bir şekilde değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda bulunmuştur (73, 74). Bispektral indeks, kortikal derin yapılarıdaki aktiviteyi gösterdiği için dolaylı olarak anestezi derinliğini ölçmede kullanılmaktadır (75). Alın ve temporal bölgeye uygulanan yapışkan elektrotlar aracılığı ile EEG sinyallerini algılar. Günümüzde kullanılan versiyonunda dört derivasyonlu toplayıcı sensör, monitör ve dijital sinyal toplayıcı kablo bulunmaktadır (Şekil 4) (74).



Şekil 4. BIS monitörizasyonu ([www.covidien.com/pace/clinical education](http://www.covidien.com/pace/clinical_education))

BİS monitörü; baskılanma oranı, EEG aktivitesi, sinyal kalite indeksi ve EEG dalga şekli hakkında bilgi verir. Monitör algıladığı EEG dalgalarını işleyerek bunları 0 ile 100 arasında sayısal bir ölçeğe dönüştürür (Tablo 2) (76).

Tablo 2. BİS algoritmi

BİS	Klinik durum
80 - 100	Uyanık
60 - 80	Sedasyon
40 - 60	Genel anestezi, Derin sedasyon
20 - 40	Derin hipnotik durum
0 - 20	Kortikal sessizlik

BİS değerinin 100 civarında olması hastanın uyanık olduğunu gösterirken 0 değeri izoelektirik EEG'yi gösteririr. Değer 70'in altına indikçe anestezi sırasındaki farkındalık olasılığı azalır; 60'ın altında ise hastanın bilinçli olma olasılığı çok düşüktür. BİS değeri 40'ın altına indiğinde EEG'de kortikal nöron baskılanması artmaktadır. Prospektif çalışmalarda BİS indeks değerlerinin genel anestezi sırasında 40-60 değerleri arasında tutulmasının yeterli hipnotik etkiyi sağladığı bildirilmiştir (74, 77).

Literatüre bakıldığında maliyetin kontrolü için de anestezi derinliğinin monitörizasyonuna ilgi gösterilmektedir. Bu monitorizasyon eşliğinde anestezi ajanların titre edilmesiyle pahalı anesteziklerin tüketimi azaltılabilmektedir (75). Elektif cerrahi geçiren hastalarda yapılan bir çalışmada, BİS monitörizasyonunun intraoperatif sevofluran gereksinimini %29 azalttığı gösterilmiştir (78).

Düşük akımlı anestezi uygulamasında hastalara daha az oranda inhalasyon ajanı ulaşma ihtimali nedeniyle intraoperatif farkındalık kaygısı olabilir (79). İntraoperatif dönemde gelişebilecek bu farkındalığı önlemeye yönelik anestezi derinliğinin takibinde BİS monitörizasyonu kullanımının güvenilir sonuçlar sağladığı belirtilmiştir (80).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamız, fakülte etik kurul izni (toplantı tarihi: 10.03.2021, protokol no: 2021/05-12), Clinical Trials onayı (NCT05404269) ve hastaların yazılı onamları alındıktan sonra 15.03.2021-10.03.2022 tarihleri arasında, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'nde randomize kontrollü olarak gerçekleştirildi.

Çalışmaya ameliyat süresi 1 ile 4 saat arasında değişen, elektif şartlarda genel anestezi altında meme cerrahisi planlanan, Amerikan Anestezistler Derneği (ASA) I-II risk grubunda ve 18-65 yaş aralığında olan hastalar dahil edildi. Örneklem büyüklüğü ve istatistiksel güç, yapılan g-power analizi ile belirlendi. %10 takipte kayıp göz önünde bulundurularak toplam 99 hasta çalışmaya alındı. Koroner arter hastalığı, konjestif kalp yetmezliği, dekompanse diabetes mellitus, böbrek veya karaciğer yetmezliği, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, opioid duyarlılığı, malign hipertermi, sigara, alkol ya da ilaç bağımlılığı öyküsü olanlar, belirgin anemi, sepsisi olanlar, vücut kitle indeksi (VKİ) >35 olanlar, gebe ve emzirenler, çalışmada kullanılan ilaçlara karşı alerjisi olanlar çalışma dışında bırakıldı.

Çalışmamızda tüm hastaların yaş, boy ve kilo gibi demografik özelliklerinin yanında ASA risk skorları kaydedildi. Çalışmadaki bütün veriler aynı araştırmacı (G.Ç.) tarafından takip edildi ve kayıt altına alındı. Her hasta için aynı model anestezi cihazı (Maquet Flow-i® C20 Getinge AB, Göteborg, İsveç) kullanıldı. Operasyona alınacak olan her hasta öncesinde anestezi devrelerinin kaçak kontrolü ve gaz monitörlerinin kalibrasyonu yapıldı. Bütün alarmlar için standart güvenli sınır değerler belirlendi. FiO₂ alt sınırı %30 olarak ayarlandı. Her hastada tek kullanımlık anestezi devresi ve bakteri filtresi kullanıldı. CO₂ absorbanı olarak soda-lime (KNG-Lime® KNGMED, İzmir, Türkiye) kullanıldı ve her çalışma hastasından sonra değiştirildi.

Operasyon odasına alınan hastaların kalp atım hızı (KAH), non-invaziv ortalama arter basıncı (OAB), periferik oksijen satürasyonu (SpO₂), BİS, dörtlü uyarı dizisi (TOF) (IntelliVue® MX 550, Philips, Amsterdam, Hollanda) ve nazofarengeal prob ile vücut sıcaklığı monitörizasyonu yapıldı. Ameliyathane oda sıcaklığı 22 ile 24°C arasında tutuldu. Bütün hastalara antekübital bölgeden veya el sırtından 18-20 gauge branül ile damar yolu açıldı ve 10 mL/kg/st'lik hızda % 0.9 salin infüzyonuna başlandı.

Bütün hastalara yüz maskesi ile 6 L/dk %100 FiO₂ verilerek 3 dk boyunca tidal volüm yöntemiyle preoksijenasyon uygulandı. İndüksiyonda standart olarak; 1 mg/kg lidokain (Jetmonal® %2, Osel ilaç, İstanbul, Türkiye), 2.5 mg/kg propofol (Propofol %1® Fresenius Kabi AG Hamburg, Almanya) ve 1 mcg/kg fentanil sitrat (Talinat®, Vem ilaç, Ankara, Türkiye) i.v uygulandı. Ardından 0.6 mg/kg rokuronyum bromür (Esmeron® MSD ilaç, Hameln, Almanya) i.v verilerek kas gevşemesi sağlandı ve TOF sıfır olduğunda uygun çaplı bir tüple endotrakeal entübasyon yapıldı. İndüksiyon sonrası 0.05 mcg/kg/dk dozunda remifentanil hidroklorür (Ultiva®, GlaxoSmithKline Manufacturing S.p.A, İtalya) i.v infüzyonu başlandı. Anestezi süresince tidal volüm 6-8 mL/kg, frekans 12-14/dk, inspiryum ekspiryum oranı 1:2, PEEP 5 cmH₂O ve end-tidal karbondioksit (EtCO₂) 30-40 mmHg olacak şekilde solunumsal parametreler ayarlanarak ventilasyon sağlandı.

Çalışmaya alınma kriterlerine uyan hastalar kapalı zarf yöntemi ile randomize edilerek 3 gruba ayrıldı: AGC modu ile gaz akımı uygulanan hastalar Grup 1 (n:30), manuel gaz kontrol yöntemi ile minimal akım uygulanan hastalar Grup 2 (n:30) ve kontrol grubu amacıyla orta akım uygulanan hastalar ise Grup 3 (n:30) olarak adlandırıldı. Anestezi idamesi Sevofluran (Sevorane® %100, Abbvie, Campoverde di Aprilia, İtalya) ve i.v remifentanil infüzyonu ile sağlandı. Taşıyıcı gaz olarak medikal hava kullanıldı.

Grup 1’de entübasyondan önce anestezi cihazında AGC mod ön ayarları (minimum taze gaz akımı: 0.5 L/dk, hız: 4, hedef EtAA konsantrasyonu 1.0 MAK’ı sağlayan değer, hedef FiO₂: %40) yapıldı. Entübasyondan hemen sonra ise AGC moda geçildi. Grup 2 ve Grup 3’te ise entübasyondan sonra taze gaz akımı 4 L/dk (%50 O₂ - %50 hava) ve vaporizatör %2.5 sevofluran şeklinde manuel ayarlanarak 10-15 dk devam edilip 1.0 MAK değerine ulaşılması hedeflendi. 1.0 MAK değeri sağlandıktan sonra akım hızları; Grup 2’de 0.5 L/dk ve Grup 3’te 2 L/dk olarak ayarlandı.

Her üç grupta da idamede taze gaz akım miktarı değiştirilmeden BIS 40-60 arasında olacak şekilde sevofluran vaporizatör ayarlaması ve hedef FiO₂: %40’ı sağlayacak şekilde O₂ konsantrasyon ayarına yönelik gerekli müdahaleler yapıldı.

Hastaların intraoperatif takiplerinde; OAB 65 mmHg altına düştüğünde 5-10 mg efedrin i.v, KAH değeri 50 atım/dk altına indiğinde 0.5 mg atropin i.v verilmesi

planlandı. FiO₂'nin % 30'un altına inmesi, EtCO₂'in 45 mmHg üzerine çıkması ya da SpO₂'un 93'ün altına düşmesi halinde taze gaz akımının 4 L/dk düzeyine yükseltilmesi ve bu hastaların çalışma dışı bırakılması planlandı.

Hastalara postoperatif ağrı kontrolü amacıyla multimodal analjezi yaklaşımı uygulandı. Bu amaçla operasyon bitiminden 20 dk önce 1 mg/kg tramadol (Madol®, Koçak Farma, İstanbul, Türkiye), 10 mg/kg parasetamol (Paracerol®, 10 mg/ml i.v flakon, Polifarma, Türkiye) ile bulantı-kusma profilaksisi için 10 mg metoklopromid (Metpamid®, Sifar ilaç, İstanbul, Türkiye) i.v yapıldı.

Tüm hastalarda cerrahi bitiminden 15 dk önce vaporizatör kapatıldı. Ancak Grup 1'de AGC modu (hız: 2 ayarlanıp) ile devam edilirken; Grup 2 ve Grup 3'te mevcut taze gaz akımı sabit tutuldu. Cerrahi son sütürasyondan hemen sonra tüm gruplarda taze gaz akımı 4 L/dk'ya yükseltildi ve %100 O₂ ile hastanın spontan solunumu geri dönünceye kadar manuel olarak ventilasyon sağlandı. Spontan solunumun başlamasıyla kas gevşetici etkisini antagonize etmek amacıyla 0.02 mg/kg atropin (Atropin sülfat ampul®, Galen, Türkiye) i.v verilmesini takiben 0.05 mg/kg neostigmin (Neostigmin ampul®, Adeka, Türkiye) i.v yapıldı. Yeterli spontan solunumu olan, TOF $\geq$ 0.9 ve BİS değeri 80'in üzerine çıkan hastalar ekstübe edildi. Derlenme ünitesine alındıktan sonra tüm hastalara yüz maskesi ile 4 L/dk O₂ standart olarak uygulandı. Derlenme sonrası Visual Analog Skala (VAS)>3 olan hastalara 20 mg tenoksikam (Tilcotil, 20mg/2mL im/iv flakon, Deva Holding, Türkiye) i.v eklendi.

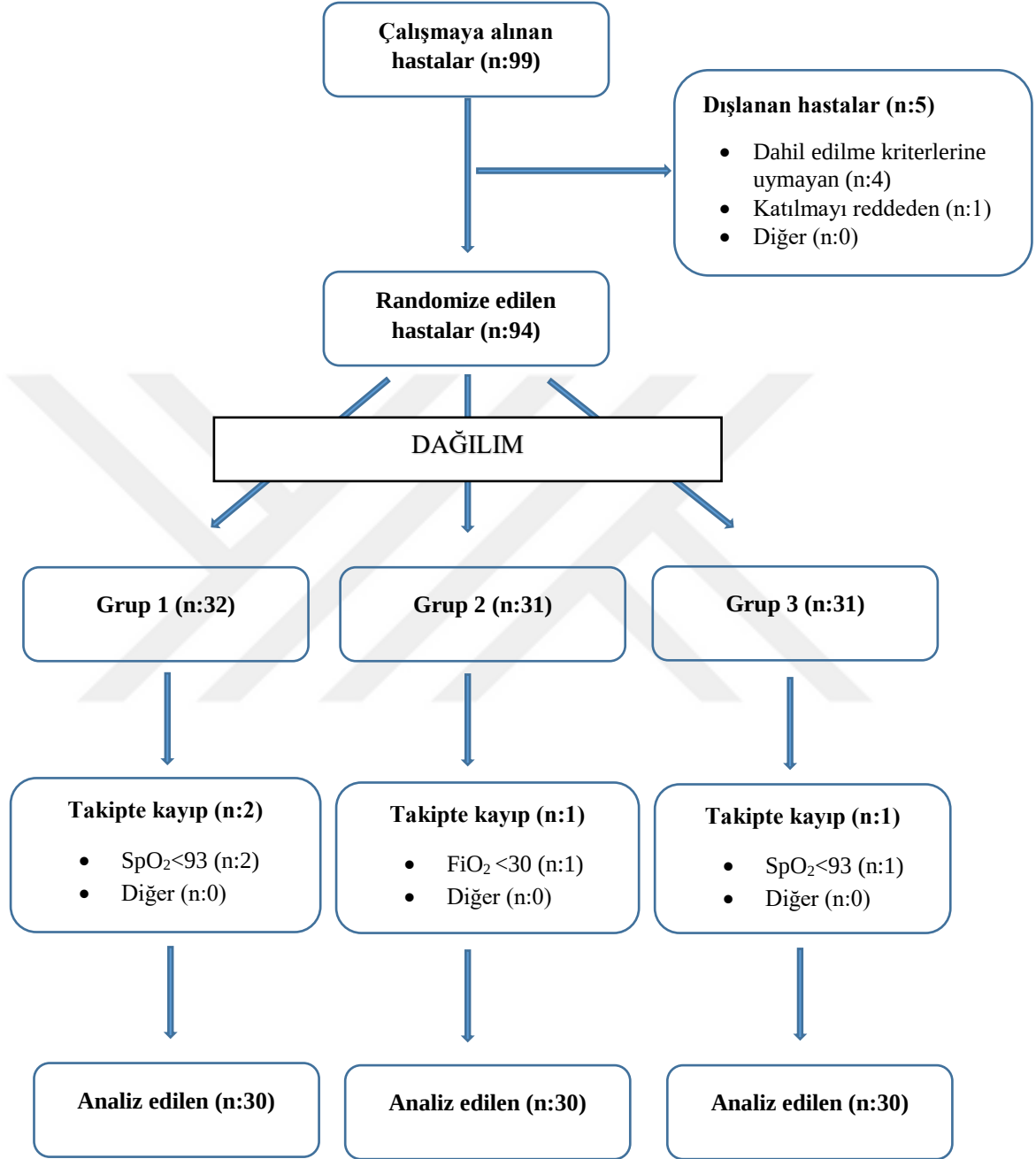
Hastaların indüksiyon öncesi OAB, KAH ve SpO₂ değerleri; entübasyon sonrası 5., 10., 15., 20., 30., 60. ve 90. dk OAB, KAH, SpO₂, BİS, FiSEVO, ekspire edilen sevofluran fraksiyonu (FeSEVO), EtCO₂, nazofarengeal vücut sıcaklığı ve anlık sevofluran tüketim değerleri kaydedildi. Vaporizatörün kapatılmasından ekstübasyona kadar geçen süre ekstübasyon süresi ve ekstübasyondan sonra Modifiye Aldrete Skoru (MAS) $\geq$ 9 olana kadar geçen süre derlenme süresi olarak adlandırıldı ve kaydedildi. Cerrahi kesinin başlangıcından son sütürasyona kadar geçen süre cerrahi süre; indüksiyondan ekstübasyona kadar geçen süre ise anestezi süresi olarak tanımlandı ve kaydedildi. Her vaka sonunda toplam tüketilen sevofluran miktarı (mL) belirlendi. Maliyet analizi, Mayıs 2022 tarihinde 1 şişe sevofluran (250 ml) fiyatı (920 TL) baz alınarak yapıldı.

3.1. İstatistiksel Yöntem

Yaklaşık örneklem büyüklüğü çalışmaya başlamadan önce pilot çalışma yapılarak ANOVA testi ile hesaplandı. Her gruptan 10 hasta alındıktan sonra, tüketilen sevofluran miktarı üzerinden; Tip 1 hata 0.05, tip 2 hata 0.2, etki büyüklüğü 0.33 referans alınarak yapılan örneklem büyüklüğü analizinde ulaşılması gereken minimum sayı grup başına 30 olarak bulunmuştur.

Çalışmamızdaki verilerin istatistiksel analizi için R tabanlı jamovi istatistik programı kullanılmıştır (The jamovi Project, 2021, Jamovi: Version 2.2.5, <https://www.jamovi.org>). Sürekli veriler merkezi dağılım eğilimleri; histogram grafiği ve Shapiro Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Normal dağılım gösteren sürekli veriler ortalama $\pm$ standart sapma ($\text{ort} \pm \text{SS}$), normal dağılım göstermeyen veriler ise median (interkuartil aralık: İKA, 25 persentil- 75 persentil) ile raporlanmıştır. Bağımsız üç veya daha fazla grubun sürekli verilerinin karşılaştırılmasında öncelikle normalite değerlendirmesi yapılmış, aykırı ve aşırı değerlerin varlığı kutu çizgi grafikleri yardımıyla incelenmiştir. Normal dağılıma ve diğer ANOVA ön şartlarına uyum sağlayan sürekli verilerin varyanslarının homojenitesi Levene testi ile değerlendirilmiş ve bu testin sonucuna göre Fisher ya da Welch'in tek yönlü ANOVA testi ile analize devam edilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı olduğu görülen değişkenlerin post hoc ikili karşılaştırmaları Tukey veya Games Howell testleriyle yapılmıştır. Normal dağılmayan (ya da ANOVA ön şartlarına uyumsuz) sürekli verilerin analizi için Kruskal Wallis testi kullanılmış ve post hoc karşılaştırmalar için Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF) testleri kullanılmıştır. Kategorik veriler sayı (n) ve frekans (%) ile raporlanmış, analizleri için Pearson'ın Ki-Kare testi ya da Fisher'in kesin testi kullanılmıştır. Analizler sırasında $p < 0.05$ istatistiksel anlamlılık derecesi olarak kabul edilmiştir.

Hasta alımı akış diyagramı Şekil 5’te sunulmuştur.



Şekil 5. Hasta alımı akış diyagramı

4. BULGULAR

Çalışmamız 90 hasta ile tamamlandı. Hastaların demografik özellikleri ve ASA risk sınıflamaları açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmadı ($p>0.05$) (Tablo 3).

Tablo 3. Gruplar arası demografik veriler ve ASA skorlarının karşılaştırılması

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p
Yaş (yıl)	49.5 (41.5-58.0)	52.5 (41.2-59.7)	53.0 (44.2-62.0)	0.517 ^a
Boy (cm)	161.9±5.9	160.7±5.1	162.2±5.2	0.519 ^b
Ağırlık (kg)	72.0 (62.0-80.0)	69.0 (65.0-73.8)	68.0 (56.8-79.5)	0.621 ^a
ASA I/II (n)	6/24	14/16	7/23	0.050 ^c

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri ort±SS, medyan (25 persentil-75 persentil) veya sayı (n) olarak belirtilmiştir

^a: Kruskal-Wallis testi, ^b: Fisher'in tek yönlü ANOVA testi, ^c: Pearson Ki Kare testi

Gruplar arasında cerrahi, anestezi ve derlenme süreleri açısından anlamlı fark saptanmadı ($p>0.05$). Ekstübasyon süreleri açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmıştır ($p<0.001$) (Tablo 4). İkili karşılaştırmalarda bu sürenin Grup 2'de; Grup 1 ve Grup 3'ten daha uzun olduğu (sırasıyla $p<0.001$, $p<0.001$); Grup 1 ve Grup 3 değerlerinin ise benzer olduğu ($p>0.05$) görülmüştür.

Tablo 4. Ameliyat bilgilerine ait klinik özellikler

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p
Cerrahi süre (dk)	117.5 (97.5-135.0)	107.5 (95.0-130.0)	110.0 (96.3-125.0)	0.586 ^a
Anestezi süresi (dk)	132.5 (112.5-150.0)	125.0 (115.0-150.0)	125.0 (111.3-140.0)	0.651 ^a
Ekstübasyon süresi (dk)	14.0±1.2	19.4±3.1	14.1±1.4	<0.001 ^b
Derlenme süresi (dk)	2.5 (2.0-3.0)	3.0 (2.5-3.0)	2.5 (2.0-3.0)	0.097 ^a

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri ort±SS veya medyan (25 persentil-75 persentil) olarak belirtilmiştir

^a: Kruskal-Wallis testi, ^b: Welch'in tek yönlü ANOVA testi

Gruplar arası sevofluran tüketimleri açısından anlamlı fark saptandı ($p<0.001$) (Tablo 5). Grup 1’de saatlik sevofluran tüketiminin Grup 2 ve Grup 3’ten az olduğu (sırasıyla $p<0.001$, $p<0.001$); Grup 2 değerlerinin de Grup 3 değerlerinden az olduğu ($p<0.001$) gözlenmiştir.

Sevofluran tüketimine bağlı oluşan maliyet hesabı yapıldığında; üç grup arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılık olduğu saptandı ($p<0.001$) (Tablo 5). Grup 1 değerlerinin Grup 2 ve Grup 3 değerlerine göre anlamlı düşük olduğu (sırasıyla $p<0.001$, $p<0.001$); Grup 2 değerlerinin de Grup 3 değerlerine göre düşük olduğu ($p<0.001$) görülmüştür.

Tablo 5. Gruplar arası sevofluran tüketimi ve maliyet değerlerinin karşılaştırılması

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p
Sevofluran tüketimi (mL/saat)	7.01±1.10	9.80±1.54	15.05±1.28	<0.001^a
Sevofluran maliyet (TL/saat)	24.6 (23.7-29.1)	35.6 (31.9-40.1)	55.7 (51.7-59.6)	<0.001^b

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri ort±SS veya medyan (25 persentil-75 persentil) olarak belirtilmiştir

^a: Fisher’ın tek yönlü ANOVA testi, ^b: Kruskal-Wallis testi

Gruplar arası anlık ve toplam sevofluran tüketimleri açısından anlamlı fark saptandı ($p<0.001$) (Tablo 6). Post-Hoc analizde 5., 10. ve 20. dakikalarda Grup 2 ve Grup 3 arasında anlık sevofluran tüketimleri benzer olup ($p>0.05$); gruplar arası diğer tüm ikili karşılaştırmalarda Grup 1 değerlerinin Grup 2 ve Grup 3 değerlerine göre anlamlı düşük olduğu (sırasıyla $p<0.05$, $p<0.05$); Grup 2 değerlerinin de Grup 3 değerlerine göre düşük olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Tablo 6. Gruplar arası anlık sevofluran tüketim değerleri karşılaştırılması

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p
Sevofluran tüketimi 5. dk (mL)	1.5 (1.4-1.6)	2.4 (2.3-2.4)	2.4 (2.2-2.4)	<0.001*
Sevofluran tüketimi 10. dk (mL)	2.9 (2.7-3.2)	4.8 (4.7-4.8)	4.8 (4.6-5.0)	<0.001*
Sevofluran tüketimi 15. dk (mL)	3.8 (3.3-4.0)	7.2 (7.1-7.4)	6.8 (6.3-6.9)	<0.001*
Sevofluran tüketimi 20. dk (mL)	4.3 (4.0-4.9)	8.2 (7.9-9.1)	7.9 (7.5-8.4)	<0.001*
Sevofluran tüketimi 30. dk (mL)	5.5 (5.0-6.2)	9.3 (8.9-10.8)	10.4 (9.6-10.9)	<0.001*
Sevofluran tüketimi 60. dk (mL)	8.3 (7.8-9.5)	12.2 (11.8-14.1)	16.9 (15.6-18.3)	<0.001*
Sevofluran tüketimi 90. dk (mL)	11.2 (10.9-12.8)	15.4 (14.6-18.9)	24.5 (22.8-25.8)	<0.001*
Toplam sevofluran tüketimi (mL)	14.1±3.5	18.1±4.3	28.8±6.6	<0.001 ^b

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri ort±SS veya medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi, ^b: Welch'in tek yönlü ANOVA testi

Gruplar arasında tüm zaman aralıklarında OAB değerleri açısından anlamlı bir fark saptanmamıştır (p>0.05) (Tablo 7).

Tablo 7. Gruplar arası ortalama arter basıncı değerlerinin karşılaştırılması (mmHg)

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p*
İndüksiyon öncesi	105.0 (90.5-110.0)	96.0 (89.8-104.8)	99.0 (93.5-109.5)	0.303
Entübasyon sonrası 5. dk	86.0 (78.8-92.8)	90.5 (80.0-101.5)	90.5 (79.8-95.0)	0.840
Entübasyon sonrası 10. dk	79.0 (74.0-83.0)	79.0 (71.0-87.8)	78.5 (71.2-87.5)	0.967
Entübasyon sonrası 15. dk	75.5 (72.0-82.8)	76.0 (70.2-83.0)	77.0 (70.5-80.0)	0.900
Entübasyon sonrası 20. dk	77.5 (70.0-81.5)	76.0 (71.2-87.5)	77.5 (72.5-80.8)	0.823
Entübasyon sonrası 30. dk	74.5 (71.0-78.8)	75.5 (68.2-81.8)	74.5 (70.2-79.0)	0.907
Entübasyon sonrası 60. dk	72.0 (68.0-77.8)	71.5 (68.2-80.5)	73.0 (70.2-79.8)	0.425
Entübasyon sonrası 90. dk	74.0 (71.0-81.0)	72.0 (70.0-79.0)	71.0 (70.0-72.0)	0.197
Ekstübasyon öncesi	89.0 (84.5-97.5)	89.0 (82.0-95.5)	90.0 (83.5-96.0)	0.868

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi

Gruplar KAH değerleri açısından karşılaştırıldığında; entübasyon sonrası 5. dakika dışında ($p=0.042$) diğer tüm zamanlarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı (Tablo 8).

Tablo 8. Gruplar arası kalp atım hızlarının karşılaştırılması (atım/dk)

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p*
İndüksiyon öncesi	83.0 (74.2-89.0)	86.0 (80.0-91.8)	80.5 (72.0-90.0)	0.204
Entübasyon sonrası 5. dk	83.0 (73.2-89.5)	86.0 (81.2-93.0)	81.0 (73.5-86.0)	0.042
Entübasyon sonrası 10. dk	75.5 (70.2-83.0)	79.0 (74.0-83.8)	77.5 (66.8-83.8)	0.348
Entübasyon sonrası 15. dk	71.5 (68.0-77.8)	75.0 (70.2-78.8)	71.5 (66.2-78.8)	0.428
Entübasyon sonrası 20. dk	70.0 (65.0-76.0)	72.0 (70.0-77.8)	71.0 (68.0-75.8)	0.350
Entübasyon sonrası 30. dk	67.0 (62.0-71.8)	70.5 (68.0-74.0)	68.5 (63.2-74.8)	0.309
Entübasyon sonrası 60. dk	64.0 (59.2-70.0)	67.5 (64.2-70.0)	66.0 (60.2-73.8)	0.239
Entübasyon sonrası 90. dk	64.0 (59.5-70.0)	69.0 (65.0-70.0)	68.0 (60.0-71.0)	0.254
Ekstübasyon öncesi	83.0 (78.0-91.5)	83.0 (78.0-91.5)	82.0 (72.0-88.0)	0.315

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi

Gruplar arasında tüm zaman aralıklarında periferik oksijen satürasyon değerleri açısından anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p>0.05$) (Tablo 9).

Tablo 9. Gruplar arası periferik oksijen satürasyon değerlerinin karşılaştırılması (%)

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p*
İndüksiyon öncesi	100 (99-100)	100 (99-100)	99 (98-100)	0.413
Entübasyon sonrası 5. dk	100 (100-100)	100 (100-100)	100 (100-100)	0.758
Entübasyon sonrası 10. dk	100 (100-100)	100 (100-100)	100 (100-100)	0.221
Entübasyon sonrası 15. dk	100 (100-100)	100 (100-100)	100 (100-100)	0.224
Entübasyon sonrası 20. dk	100 (100-100)	100 (100-100)	100 (100-100)	0.307
Entübasyon sonrası 30. dk	100 (100-100)	100 (100-100)	100 (100-100)	0.843
Entübasyon sonrası 60. dk	100 (100-100)	100 (100-100)	100 (100-100)	0.314
Entübasyon sonrası 90. dk	100 (100-100)	100 (100-100)	100 (100-100)	0.272
Ekstübasyon öncesi	100 (100-100)	100 (100-100)	100 (100-100)	0.674

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi

Gruplar arasında entübasyon sonrası 5.- 20. dk zaman aralıklarında ölçülen inspiratuar sevofluran konsantrasyon değerleri açısından istatistiksel anlamlı fark saptanmıştır ($p<0.05$) (Tablo 10).

Tablo 10. Gruplar arası inspiratuar sevofluran konsantrasyonlarının karşılaştırılması (%)

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p*
Entübasyon sonrası 5. dk	2.0 (1.9-2.0)	2.1 (2.0-2.2)	2.1 (2.1-2.2)	<0.001
Entübasyon sonrası 10. dk	2.5 (2.4-2.6)	2.3 (2.1-2.3)	2.3 (2.2-2.4)	<0.001
Entübasyon sonrası 15. dk	2.2 (1.9-2.4)	2.4 (2.3-2.5)	2.3 (2.1-2.4)	0.009
Entübasyon sonrası 20. dk	2.3 (2.1-2.5)	2.3 (2.1-2.5)	2.2 (2.0-2.3)	0.039
Entübasyon sonrası 30. dk	2.2 (2.1-2.5)	2.2 (2.1-2.3)	2.0 (1.9-2.3)	0.058
Entübasyon sonrası 60. dk	2.1 (2.0-2.3)	2.0 (1.8-2.2)	2.0 (1.8-2.1)	0.053
Entübasyon sonrası 90. dk	2.2 (1.9-2.3)	2.0 (1.9-2.2)	2.0 (1.9-2.1)	0.218

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi

Gruplar arasında entübasyon sonrası 5., 10. ve 60. dk ölçümlerinde ekspiratuar sevofluran konsantrasyon değerleri açısından istatistiksel anlamlı fark saptanmıştır ($p<0.05$) (Tablo 11).

Tablo 11. Gruplar arası ekspiratuar sevofluran konsantrasyonlarının karşılaştırılması (%)

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p*
Entübasyon sonrası 5. dk	1.3 (1.2-1.3)	1.4 (1.3-1.4)	1.4 (1.4-1.5)	<0.001
Entübasyon sonrası 10. dk	1.8 (1.7-1.9)	1.5 (1.5-1.7)	1.7 (1.6-1.7)	<0.001
Entübasyon sonrası 15. dk	1.6 (1.5-1.8)	1.7 (1.7-1.8)	1.8 (1.6-1.8)	0.486
Entübasyon sonrası 20. dk	1.8 (1.6-1.9)	1.7 (1.6-1.9)	1.6 (1.5-1.8)	0.116
Entübasyon sonrası 30. dk	1.8 (1.6-1.9)	1.7 (1.5-1.8)	1.6 (1.5-1.8)	0.066
Entübasyon sonrası 60. dk	1.7 (1.5-1.8)	1.6 (1.4-1.8)	1.6 (1.4-1.7)	0.036
Entübasyon sonrası 90. dk	1.8 (1.5-1.8)	1.6 (1.5-1.8)	1.6 (1.5-1.7)	0.199

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi

Gruplar arasında tüm zaman aralıklarında EtCO₂ değerleri açısından anlamlı bir fark saptanmamıştır (p>0.05) (Tablo 12).

Tablo 12. Gruplar arası EtCO₂ değerlerinin karşılaştırılması (mmHg)

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p*
Entübasyon sonrası 5. dk	32.5 (32.0-34.8)	33.0 (31.0-34.0)	33.0 (31.0-34.0)	0.826
Entübasyon sonrası 10. dk	32.0 (31.0-33.0)	32.0 (30.2-33.8)	32.5 (30.0-33.0)	0.904
Entübasyon sonrası 15. dk	31.0 (30.0-32.0)	32.0 (31.0-32.0)	32.0 (30.0-33.0)	0.724
Entübasyon sonrası 20. dk	31.0 (30.0-32.0)	31.0 (30.0-32.8)	32.0 (31.0-32.0)	0.359
Entübasyon sonrası 30. dk	31.0 (30.0-32.0)	32.0 (30.0-32.0)	31.0 (31.0-32.0)	0.902
Entübasyon sonrası 60. dk	32.0 (30.2-32.0)	31.0 (30.0-32.0)	31.0 (30.0-32.0)	0.641
Entübasyon sonrası 90. dk	31.0 (30.0-33.0)	31.0 (31.0-32.0)	31.0 (31.0-32.0)	0.854

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi

Gruplar arası vücut sıcaklığı değerleri açısından karşılaştırıldığında; ekstübasyon öncesi dışında ($p=0.002$) diğer tüm zamanlarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı (Tablo 13). Ekstübasyon öncesi vücut sıcaklığı değerleri için yapılan gruplar arası ikili karşılaştırmalarda Grup 1 değerlerinin Grup 2 ve Grup 3 değerlerinden yüksek olduğu (sırasıyla $p=0.014$, $p=0.002$); Grup 2 ve Grup 3 değerlerinin ise benzer olduğu görülmüştür ($p>0.05$).

Tablo 13. Gruplar arası vücut sıcaklığının karşılaştırılması (°C)

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p*
Entübasyon sonrası 5. dk	36.4 (36.3-36.6)	36.5 (36.4-36.6)	36.5 (36.4-36.6)	0.199
Entübasyon sonrası 10. dk	36.4 (36.3-36.5)	36.5 (36.3-36.6)	36.5 (36.4-36.5)	0.540
Entübasyon sonrası 15. dk	36.4 (36.2-36.5)	36.4 (36.3-36.5)	36.4 (36.3-36.5)	0.883
Entübasyon sonrası 20. dk	36.3 (36.1-36.5)	36.4 (36.3-36.5)	36.3 (36.3-36.5)	0.793
Entübasyon sonrası 30. dk	36.3 (36.1-36.5)	36.4 (36.2-36.4)	36.4 (36.2-36.4)	0.937
Entübasyon sonrası 60. dk	36.2 (36.0-36.4)	36.2 (36.1-36.3)	36.2 (36.1-36.3)	0.817
Entübasyon sonrası 90. dk	36.2 (36.0-36.3)	36.1 (36.1-36.2)	36.2 (36.1-36.2)	0.346
Ekstübasyon öncesi	36.1 (36.0-36.3)	36.0 (35.9-36.1)	36.0 (35.9-36.1)	0.002

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi

Gruplar arasında BİS değerleri açısından anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p>0.05$) (Tablo 14).

Tablo 14. Gruplar arası BİS değerlerinin karşılaştırılması

	Grup 1 (n:30)	Grup 2 (n:30)	Grup 3 (n:30)	p*
Entübasyon sonrası 5. dk	52.0 (49.0-60.0)	51.5 (48.2-55.5)	50.5 (48.0-54.0)	0.110
Entübasyon sonrası 10. dk	45.5 (42.0-51.5)	47.0 (41.0-50.8)	45.0 (40.0-48.8)	0.081
Entübasyon sonrası 15. dk	42.5 (40.2-49.5)	42.0 (40.2-46.8)	41.0 (39.0-44.0)	0.312
Entübasyon sonrası 20. dk	42.0 (40.0-48.0)	42.0 (40.2-46.0)	41.0 (39.0-45.0)	0.386
Entübasyon sonrası 30. dk	43.0 (41.2-46.0)	42.0 (40.0-45.5)	42.0 (40.0-44.8)	0.396
Entübasyon sonrası 60. dk	45.0 (41.2-48.0)	44.0 (41.2-46.0)	44.0 (41.2-49.0)	0.845
Entübasyon sonrası 90. dk	44.0 (41.0-47.0)	44.0 (41.0-50.0)	42.0 (40.0-48.0)	0.489
Ekstübasyon öncesi	88.0 (86.2-89.0)	88.0 (86.0-89.8)	88.0 (85.0-88.8)	0.336

Verilerin merkezi dağılım ölçütleri medyan (25 persentil -75 persentil) olarak belirtilmiştir

*: Kruskal-Wallis testi

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada meme cerrahilerinde AGC modu ve manuel gaz kontrolünün yapıldığı minimal akım tekniğinin inhaler anestezi ajan tüketimi-maliyet, hemodinami ve derlenme üzerine etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Sevofluran tüketimi ve maliyetinin AGC modu uyguladığımız grupta en düşük; manuel gaz kontrol modu ile minimal akım uygulanan grupta ise orta akıma göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Hemodinamik parametreler ve derlenme sürelerinin ise gruplar arasında benzer olduğu görülmüştür.

Genel olarak çok kısa süreli operasyonlarda düşük akımlı anestezi uygulaması önerilmemektedir (8). Literatür taramasında 30 dk'nın altındaki operasyon süresine sahip vakaların düşük akımlı anestezi uygulaması için uygun olmadığı bildirilmiştir (4, 58). Çalışmamızda olguların anestezi süresi ortalama 132 dk. idi.

Genel anestezi uygulamalarında kullanılan inhalasyon ajanlarının pahalı olması ve atmosfere zararlı sera gazı etkilerinin bulunması gibi dezavantajları söz konusudur (5, 46). Son yıllarda genel anestezi maliyetlerinin düşürülmesi, çevre kirliliğinin azaltılması, sıcaklık-nem oranının fizyolojik hale getirilmesi ve ameliyathane ortamında sağlık çalışanlarının maruz kaldığı anestezi ajan miktarının azaltılması giderek önemli hale gelmektedir. Teknolojiyle beraber anestezi cihazları ve monitörizasyon yöntemlerindeki gelişmelerin de katkısıyla düşük akımlı anestezinin kullanımı, bu iyileştirmeleri sağlamaya yönelik önemli bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır (4, 38). Son yıllarda geliştirilmiş olan bazı anestezi cihazları, otomatik geri beslemeli kontrol sistemi ile uygun gaz konsantrasyonlarının verilmesini sağlayan ve istenen gaz karışımını güvenilir bir şekilde elde etmek için taze gaz akımını sürekli olarak optimize eden otomatik bir yazılıma sahiptir. Bu cihazlar, düşük veya minimal akımlı anestezi sırasında inhalasyon ajanı ve O₂ konsantrasyonlarının hedeflenen değerini korurlar (70, 81). Çalışmamızda bütün bu takip parametrelerine izin veren, taze gaz akımının elektronik olarak denetlendiği ve gaz kaçağının 150 mL/dk altında tutulabildiği Maquet FLOW-i anestezi cihazı kullanıldı.

Düşük akımlı anestezide birçok volatil ajan tercih edilebilmektedir. Sevofluran, düşük çözünürlüğü ve vaporizatör tarafından sağlanabilen yüksek konsantrasyonu nedeniyle düşük akımlı anestezi tekniklerinde en sık tercih edilen ajanlardan biridir (14). Ayanoğlu ve ark.'nın (82) çalışmasında, 0.5 L/dk ile minimal akım uygulanan sevofluran ve desfluran anestezilerinde hemodinamik açıdan anlamlı fark saptanmayıp; her iki inhalasyon ajanının da minimal akımlı anestezi uygulaması için güvenli olduğu bildirilmiştir. Sevofluran ile düşük akımlı anestezi uygulanan ve beş saatten uzun süren operasyonların alındığı bir çalışmada, Compound A ve Compound B birikiminin organlar açısından önemli bir problem olabileceği ancak bunun klinik veya laboratuvar değerleri açısından böbrek ve karaciğer fonksiyonlarında bozukluğa sebep olmadığı bildirilmiştir (21). Biz de bu kaygıları göz önünde bulundurarak 4 saati aşan vakaları çalışmamıza dahil etmedik. Lineburger ve ark. (24) kardiyak cerrahide yaptıkları bir çalışmada sevofluran ile minimal akımlı anestezi uygulanmasının, artmış postoperatif akut böbrek hasarı ile ilişkili olmadığını göstermişlerdir. Düşük veya minimal akımlı anestezide sevofluran kullanımının güvenli olduğu artık günümüzde bilinmektedir. Bu nedenle biz de çalışmamızda inhalasyon ajanı olarak sevofluranı tercih ettik.

Düşük akımlı anestezide taze gaz akımı ile orantılı olarak hastaya sunulan O₂ miktarı da düşer. Bu da hipoksi riskini ortaya çıkarır. Hastaya yeterli düzeyde O₂ sunulması ve dolayısıyla hipokseminin önlenmesi için inspiratuar O₂ konsantrasyonunun en az %30 olması önerilmektedir (14). Çalışmamızda hedef FiO₂ değeri %40 olarak belirlendi ve anestezi cihazında FiO₂ alarmı alt limiti %30 şeklinde düzenlendi. Grup 2'de 1 hasta FiO₂ oranı %30'un altında olması nedeniyle çalışma dışı bırakıldı. Çalışma süresince hastalara SpO₂ takibi yapıldı. Grup 1'de 2, Grup 3'te 1 hasta SpO₂ değeri %93'ün altına düşmesi nedeniyle çalışma dışı bırakıldı. Bunun dışında analiz edilen hastalarda en düşük değer %95 olarak ölçüldü.

Anestezi uygulamalarında farkındalık görülme sıklığı %0.1-0.2 arasındadır (71). Düşük akımlı anestezi uygulamasında hastalara daha az oranda inhalasyon ajanı ulaşma ihtimali nedeniyle intraoperatif farkındalık kaygısı olabilir. Dolayısıyla intraoperatif farkındalığı değerlendirmeye yönelik birçok parametre kullanılmıştır (79). Myles ve ark. (80) anestezi derinliğinin takibinde BIS monitörizasyonunun güvenilir sonuçlar sağladığını belirtmişlerdir. BIS değerinin <40 olması derin anestezi,

40-60 aralığında olması genel anestezi, 60-80 aralığında olması sedasyon ve >80 olması uyanıklık şeklinde sınıflandırılmıştır (76). Biz de anestezi derinliği takibi ve farkındalık kaygısını gidermek amacıyla çalışmamız boyunca hastalara BİS monitörizasyonu uyguladık. Çalışma esnasında 8 hastada BİS değeri >60 oldu. Bu hastalarda inspiratuar sevofluran konsantrasyonunu artırarak BİS değerinin <60 olması sağlandı. Gruplar arasında yapılan BİS değerleri karşılaştırılmasında ise istatistiksel olarak fark gözlenmedi.

Anestezi uygulamaları sırasında hemodinamik stabiliteyi sağlamak hasta güvenliği açısından oldukça önemlidir. Ceylan ve ark. (83) 1 L/dk taze gaz akımı ile yaptıkları bir çalışmada hemodinamik parametrelerin olumsuz etkilenmediğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Skalec ve ark. (84) otomatik ve manuel kontrol ile düşük akımlı anestezi uyguladıkları iki grubu karşılaştırmışlar ve hemodinamik parametrelerin olumsuz etkilenmediğini bildirmişlerdir. Yine düşük akımlı anestezi altında AGC modu ile manuel kontrol tekniklerinin karşılaştırıldığı başka bir çalışmada her iki düşük akım tekniğinde de hemodinamik parametrelerin olumsuz etkilenmediği görülmüştür (85). Çalışmamızda entübasyon sonrası 5. dk KAH değerleri dışında gruplar arası hemodinamik parametrelerin benzer olduğu saptandı. 5. dk değerlerine bakıldığında ise KAH'ın Grup 1'de 83, Grup 2'de 86 ve Grup 3'te 81 olduğu gözlenmiştir. Gruplar arasındaki bu farklılığın hastaların kliniğine olumsuz etkisinin olmadığını düşünmekteyiz.

Anestezi idamesine kısa etkili bir opioid agonisti olan remifentanil infüzyonu eklenmesi, hemodinamik stabilitenin sürdürülmesine oldukça önemli katkı sunar. Remifentanil infüzyonu tek başına hipnoz ve bilinç kaybı oluşturmaz ancak, anestezik ajanlarla birlikte kullanıldığında bu ilaçların etkilerini potansiyalize eder (86). Minimal akımın etkinliği üzerine yapılan, sevofluran ile desfluran tüketiminin karşılaştırıldığı bir çalışmada idamede remifentanil infüzyonu kullanımının hemodinamik stabilite üzerine oldukça önemli katkı sunduğu belirtilmiştir (87). Ülkemizde yapılan bir çalışmada AGC modu ve manuel kontrollü minimal akımlı anestezi yönteminin karşılaştırıldığı 60 hepatektomi hastasında remifentanil infüzyonu kullanımının intraoperatif analjezi yönetimine önemli katkı sunduğu belirtilmiştir (11). Biz de çalışmamızda hemodinamik stabiliteyi sağlamak amacıyla anestezi idamesinde 0.05 mcg/kg/dk dozunda remifentanil infüzyonu kullandık.

Hastaların genel anestezi den derlenme süresi, inhalasyon ajanının yağda çözünürlük derecesi, konsantrasyonu, uygulama süresi ve hastanın alveolar ventilasyon kapasitesi gibi birçok faktöre bağlıdır (34, 88). Anestezi pratiğinde hastaların derlenmelerini gösteren en önemli skorlama sistemi MAS'tır (89). Bu skorlama sisteminde bilinç, aktivite, solunum, dolaşım ve O₂ satürasyonu olmak üzere toplam beş parametre değerlendirilir. Her parametreye 0-2 arasında değer verilir; toplam skoru 9 ve üzeri olan hastalar derlenmiş olarak kabul edilir (90). Derlenme süresi açısından gruplara baktığımızda MAS $\geq$ 9'a ulaşma süreleri her üç grupta da benzerdi.

İnhalasyon ajanı olarak sevofluranın kullanıldığı bir çalışmada end-tidal kontrol ile manuel kontrol teknikleri karşılaştırılmış, sevofluranın kapatılmasından ekstübasyona kadar geçen süre uyanma süresi olarak belirtilmiş ve bu sürenin her iki grupta da benzer olduğu bildirilmiştir (91). Lortat ve ark. (65)'nin düşük akımlı desfluran anestezisi altında otomatik gaz kontrol ile manuel gaz kontrol gruplarını karşılaştırdıkları bir çalışmada ekstübasyon süresi her iki grupta da benzer bulunmuştur. Biz de çalışmamızda vaporizatörün kapatılmasından ekstübasyona kadar geçen süreyi ekstübasyon süresi olarak tanımladık. Çalışma sonunda ekstübasyon süresinin, Grup 2'de; Grup 1 ve Grup 3'ten daha uzun olduğu; Grup 1 ve Grup 3 değerlerinin ise benzer olduğu görüldü. Gruplar arasında ekstübasyon süreleri açısından farklılık olmasına rağmen derlenme süreleri açısından farklılık olmamasının sebebinin çalışmanın dizaynından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Grup 2'de bu sürenin uzunluğunun en önemli sebebinin minimal akımlı anestezi uygulamasında cerrahi bitiminden yaklaşık 10-15 dk önce vaporizatörün kapatılması ve son sütünasyona kadar taze gaz akımının artırılmaması olduğunu; dolayısıyla FiSEVO miktarının o sırada hala yüksek konsantrasyonda seyrettiğini düşünmekteyiz. Böylece inhalasyon ajan konsantrasyonunun yavaş yavaş azaldığı ve bunun sonucu olarak ekstübasyon süresinin manuel kontrollü minimal akımda uzadığı kanaatindeyiz.

Hipotermi, genel anestezi sırasında gelişebilecek önemli komplikasyonlardan biridir. Anestezi pratiğinde intraoperatif hipotermi önlenmesi amacıyla ısı ve nem değiştirici filtre, radyan ısıtıcı veya blanket kullanımı, operasyon odası sıcaklığının uygun aralıkta korunması, i.v sıvıların oda sıcaklığında tutulması veya gerektiğinde ısıtılması gibi yöntemler kullanılmaktadır (92, 93). Bu önlemlerin alınmaması

intraoperatif dönemde derin bir hipotermiye sebep olabilir. Böylece O₂ tüketiminde artış veya kanamaya eğilim gibi komplikasyonlar görülebilir (94, 95). Öte yandan inhalasyon ajanları da termoregülatuar eşiği bozar (96). Beraberinde soğuk ve kuru özellikteki bu gazların yüksek akımda verilmesi gibi nedenler hipotermi gelişimine katkı sunabilir (96, 97). Isı ve nem dengesinin sağlanması, aynı zamanda solunum yolunun fizyolojisini sürdürebilmek için silyalı epitel yapısının korunmasına da katkı sağlar (4). Bilgi ve ark. (30) desfluran ile düşük ve yüksek akımlı anestezi uyguladıkları bir çalışmada, solunum fonksiyonları ve mukosiliyer klirensin (sakkarin testi ile) düşük akımlı gruptaki hastalarda daha iyi korunduğunu saptamıştır. Çalışmamızda hastaların tümünde ısı ve nem filtresi kullandık. Ayrıca nazofarengeal bölgeden sıcaklık monitorizasyonu yaptık. Hastalarımızda en düşük vücut sıcaklığını 35.7°C; en yüksek ise 36.8°C ölçtük. Ekstübasyon öncesi vücut sıcaklığının Grup 1’de Grup 2 ve Grup 3’ten yüksek olması, AGC modu ile vücut sıcaklığının daha iyi korunduğunu düşündürmektedir.

Düşük akımlı anestezi uygulamasının solunum yoluna daha fizyolojik bir ortam sağlamasının yanında yüksek maliyetli ve sera gazı etkisi olan inhalasyon ajanların tüketimini de azalttığı literatürdeki birçok çalışmada belirtilmiştir (4, 7, 34, 82, 98). Lancet dergisinde 2019 yılında yayınlanan bir makalede iklim değişikliğinin, devletlerin almış olduğu önlemlerden çok daha hızlı seyrettiği ve bu problemin çözümü açısından yeni yaklaşımlara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir (99). Gaya da Costa ve ark. (46) inhalasyon ajanlarını son derece güçlü sera gazları olarak tanımlamış ve bu ajanların tüketimini azaltacak teknolojilere yatırım yapılmasını önermiştir. Öte yandan küresel ısınmayla beraber sera gazlarının çevreye olan zararlarını ölçümleyecek yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu yöntemlerden biri olan GWP, sera gazlarının 100 yıllık süre zarfında küresel ısınmaya etkisini CO₂ miktarını baz alarak ölçümler (44). Anestezik ajanların sera gazı etkisine baktığımızda N₂O ve desfluranın GWP değerlerinin çok daha yüksek olduğu bildirilmiştir (45). Ajanların atmosferik ömürlerine bakıldığında ise sevofluran için 1.1 yıl, desfluran için 14 yıl ve N₂O için 114 yıl olduğu görülmektedir (45, 46). Sherman ve ark. (100) inhalasyon ajanlarının sera gazı etkisine dikkat çekmek amacıyla anestezi uygulamalarında total intravenöz anestezi (TİVA), nöroaksiyel veya periferik sinir bloklarının mümkün olan her hastada kullanılmasını önerirken; Varughese ve ark. (101) düşük akımlı anestezi

uygulamasının, inhalasyon ajan tüketimini azaltarak iklim değişikliği ile mücadelede katkı sağlayacağını belirtmiştir. Biz de çalışmamızda desfluran ve N₂O'nin yüksek sera gazı etkisinden kaçınmak için bu gazları kullanmak yerine sevofluran ve remifentanil kullanmayı tercih ettik.

Düşük akımlı anestezi kullanımı, sera gazı etkisinin azaltılması gibi çevresel bakımdan olumlu etkilerin yanında, inhalasyon ajan tüketimindeki azalmaya bağlı ekonomik faydalar da sağlamaktadır. Maliyet analizinin yapıldığı bir çalışmada tüm hastane giderlerinin yaklaşık %1'inin anestezi bölümüne ait olduğu, hastane toplam ilaç tüketiminin %5.7'sinin anestezi ilaçlardan oluştuğu ve bunun da %20'sinin inhalasyon ajanları olduğu bildirilmiştir (34). Bir volatil anesteziğin maliyetini belirleyen en önemli faktörler; o ajanın satış fiyatı, potensi, vaporizatörden salınan gaz konsantrasyonu ve taze gaz akımıdır (34, 39). Taze gaz akımının oranı anestezi uygulamasında değiştirilebilir bir parametredir. Taze gaz akımı azaltılarak yeniden solutma yolu ile tüketilen ve atık sistemine aktarılan gaz miktarı en aza indirilebilir. Dolayısıyla inhalasyon ajanlarının maliyetinin belirlenmesindeki en önemli faktör akım hızı olup taze gaz akımı düşürüldükçe tüketim de azalacaktır (7, 34). Moody ve ark. (102) yaptıkları kapsamlı bir araştırmada düşük akımlı anesteziye yüksek akımlı anesteziye geçildikçe tüketilen inhalasyon ajan miktarının ve buna bağlı olarak da maliyetin arttığını belirtmiştir. Yıldırım ve ark. (40); taze gaz akımının 4 L/dk'dan 1 L/dk'ya düşürülmesi ile anestezi gazlarının tüketiminde sevofluran için %67 ve desfluran için %66 azalma olduğunu göstermişlerdir. Lindqvist ve Jakobsson (103) yaptıkları bir çalışmada 1 L/dk ve 0.3 L/dk taze gaz akımı uyguladıkları hastalarda sevofluran tüketimlerini sırasıyla 0.26 gr/dk ve 0.17 gr/dk olarak bulmuşlar.

Hastalarda düşük akımlı anestezi uygulayabilmek için iki yöntem vardır. Bu yöntemler AGC ve manuel kontrol yöntemidir. Bu iki yöntemin maliyet üzerine etkilerini tam olarak anlayabilmek için çalışma prensiplerini ortaya koymak gerekir. AGC yönteminde anestezi cihazı, hedeflenen inaler ajan konsantrasyonuna ulaşmak ve onu idame ettirmek için vaporizatör ve taze gaz akımını otomatik olarak ayarlar. Manuel kontrol yönteminde ise bu düzenlemeler bir cihaz yerine uygulayıcının müdahalelerini gerektirir (9). AGC yöntemi birçok deneysel uygulamada güvenlik açısından geçerlilik kazandıktan sonra klinik pratikte uygulanmaya başlamıştır. (64-66). Tay ve ark. (5), yaklaşık 3600 genel anestezi vakasını aldıkları çalışmada end-

tidal gaz konsantrasyonunun otomatik ile manuel kontrolünün ekonomik ve çevresel etkilerini karşılaştırmışlardır. Otomatik gaz kontrol grubunda inhalasyon ajan tüketiminin ortalama saatte 5 dolar daha az olduğu, anestezi maliyetinin %27 düştüğü ve sera gazı etkisinin de %44 azaldığı tespit edilmiştir. AGC ve manuel kontrol uygulamalarının karşılaştırıldığı başka bir çalışmada ise; manuel kontrol grubunda inhalasyon ajan tüketimi daha fazla olmasına rağmen istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Fakat yazarlar bu çalışmada manuel kontrol grubunda uygulayıcıların çok sık vaporizatör ve O₂ ayarı düzenlemesi yaptıklarını bildirmişlerdir (91). Wetz ve ark. (10); AGC modu ile manuel kontrol modunu karşılaştırdıkları bir çalışmada sevofluran tüketimi ve müdahale sayılarını hesaplamışlar. Ajan tüketiminin AGC grubunda (6.9 mL/st) manuel gruba (6.0 mL/st) göre daha fazla olduğunu saptamışlar. Ancak çalışma esnasında vaporizatör ve O₂ ayarlarına müdahale sayısının manuel modda çok daha fazla olduğunu ve AGC modunun daha pratik ve istikrarlı seyrettiğini belirtmişlerdir. Carette ve ark. (9) FLOW-i anestezi cihazı ile AGC modu uyguladıkları çalışmada; bu modun maliyeti azaltılabileceğinin yanı sıra vaporizatör ve O₂ ayarlarına yönelik sık müdahale ihtiyacı gibi düşük akımlı anestezinin getirmiş olduğu ergonomik yükü de minimize edeceğine vurgu yapmıştır. Potdar ve ark. (104)'nın sevofluran-N₂O anestezisi altında otomatik ve manuel kontrol uyguladıkları bir başka çalışmada tüm hastalara 1.5 L/dk taze gaz akımı uygulanmış; sevofluran tüketiminin otomatik kontrol grubunda 10.2 mL/st; manuel kontrol grubunda ise 12 mL/st olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Lortat ve ark. (65) desfluran anestezisi altında AGC ve manuel kontrol gruplarını karşılaştırdıkları çalışmada; AGC grubunun anestezik ajan tüketimini belirgin olarak azalttığını belirtmiştir. Bizim çalışmamızda ise sevofluran tüketimlerine baktığımızda; AGC modunda 7.01±1.10 mL/st, manuel kontrollü minimal akımda 9.80±1.54 mL/st ve manuel kontrollü orta akımda ise 15.05±1.28 mL/st olarak saptadık. Gruplar arası sevofluran maliyetine bakıldığında ise; Grup 1'de 24.6 TL/st, Grup 2'de 35.6 TL/st ve Grup 3'te 55.7 TL/st olarak hesaplandı. Dolayısıyla AGC modu kullanımının anestezi uygulamalarındaki maliyeti düşürmede etkili bir seçenek olduğu kanısındayız.

Çalışmamızda tüm hastalarda CO₂ absorbanı yenilenmiş olması nedeniyle absorban tüketimi maliyet analizine dahil edilmemiştir.

Etkin bir maliyet analizi açısından tüm grupta hastaların demografik verilerinin, cerrahi ve anestezi sürelerinin benzer olması, tüm hastalara aynı cerrahi türünde (meme cerrahisi) standart anestezi uygulanması ve aynı anestezi cihazının kullanılmasını çalışmamızın avantajları olarak görüyoruz.

Düşük akımlı anestezi yönteminde indüksiyon sonrası ve ekstübasyon öncesi belirli bir süre yüksek akım uygulanması gerekmektedir (58). Bu iki evre arasındaki süre boyunca etkin bir düşük veya minimal akım uygulaması yapılabilmektedir. Dolayısıyla bu süre ne kadar uzun olursa, düşük akımlı anestezi yönteminin maliyet etkinliği o oranda artacaktır. Çalışmamızın bir limitasyonu olarak tüm grupta analiz edilen hasta sayısı 70. dk'dan itibaren giderek azalmaktadır. Daha uzun süreli operasyonlarda inhalasyon ajanı tüketimi ve maliyet analizinde değişiklikler olabilir. Bu durum göz önüne alındığında; maliyet analizine yönelik daha fazla hasta sayısına sahip ve daha uzun süreli operasyonları kapsayan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmamızın diğer limitasyonları olarak; $ASA \geq III$ hastaların çalışmaya dahil edilmemesi ve gruplar arası belirli ortak standartları sağlamak adına sigara içen tüm hastaları çalışma dışı bırakmamız sayılabilir.

6. SONUÇLAR

Düşük akımlı anestezi uygulamasının ekonomik, çevresel ve klinik açıdan birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Fakat bu uygulama, intraoperatif hipoksi ve uygun inhaler anestezi ajan konsantrasyonunun sağlanmasına yönelik kaygıları da beraberinde getirmektedir. Bu kaygılar, düşük akımlı anestezi uygulamasının klinik pratikte kullanımını sınırlandırmaktadır. Son yıllarda gelişen teknolojinin bir ürünü olarak, bazı anestezi cihazlarında tanımlanan AGC yöntemi ile düşük akımlı anestezinin güvenli bir şekilde uygulanabileceği gösterilmiştir.

Meme cerrahilerinde AGC modu ve manuel gaz kontrolünün yapıldığı minimal akım tekniğinin inhaler anestezi ajan tüketimi-maliyet, hemodinami ve derlenme üzerine etkilerini karşılaştırmayı amaçladığımız çalışmamızda;

1) Sevofluran tüketimi ve maliyetinin AGC modu uyguladığımız grupta, manuel gaz kontrol modu ile minimal akım ve orta akım uygulanan gruplara göre daha düşük olduğu saptanmıştır.

2) Hemodinamik parametreler ve derlenme sürelerinin gruplar arasında benzer olduğu görülmüştür.

Hemodinami ve derlenme üzerine olumsuz bir etki göstermeyip inhaler anestezi ajan tüketimini azaltması nedeniyle AGC modu kullanımının manuel kontrol yöntemine göre daha üstün olduğu kanaatindeyiz.

AGC yönteminin sadece tüketimi azaltmasıyla değil; aynı zamanda literatürde belirtildiği gibi klinik takipte sağladığı güvenli zemin ve kullanım kolaylığı sayesinde düşük akımlı anestezi uygulamalarına olan yönelimi artıracak olması ile maliyet etkinliğini ön plana çıkaracağı düşüncesindeyiz.

7. KAYNAKLAR

1. Butterworth JF, Mackey DC, Wasnick JD. Morgan & Mikhail Klinik Anesteziyoloji (V. Baskı). (Cuhruk H, Çev.) Ankara, Güneş Kitabevi. 2015; Bölüm 8: İnhalasyon Anestezikleri; syf: 154-72.
2. Kayhan Z. Klinik Anestezi (IV. Baskı). Ankara: Logos Yayıncılık; 2019; 1-19, 65-125.
3. Brattwall M, Warrén-Stomberg M, Hesselvik F, Jakobsson J. Brief review: Theory and practice of minimal fresh gas flow anesthesia. Canadian Journal of Anaesthesia. 2012;59(8):785-97.
4. Baum JA. Low-flow anesthesia: Theory, practice, technical preconditions, advantages, and foreign gas accumulation. Journal of Anesthesia. 1999;13(3):166-74.
5. Tay S, Weinberg L, Peyton P, Story D, Briedis J. Financial and environmental costs of manual versus automated control of end-tidal gas concentrations. Anaesthesia and Intensive Care. 2013;41(1):95-101.
6. Baum JA, Aitkenhead AR. Low-flow anaesthesia. Anaesthesia. 1995;50 Suppl:37-44.
7. Edmonds A, Stambaugh H, Pettey S, Daratha KB. Evidence-Based Project: Cost Savings and Reduction in Environmental Release With Low-Flow Anesthesia. AANA Journal. 2021;89(1):27-33.
8. Baum JA. Düşük akımlı anestezi, minimal akımlı ve kapalı sistemle anestezide kuram ve uygulama. (Tomatır E, Çev.) İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri; 2002. p. 88-110.
9. Carette R, De Wolf AM, Hendrickx JF. Automated gas control with the Maquet FLOW-i. Journal of Clinical Monitoring and Computing. 2016;30(3):341-6.
10. Wetz AJ, Mueller MM, Walliser K, Foest C, Wand S, Brandes IF, et al. End-tidal control vs. manually controlled minimal-flow anesthesia: a prospective comparative trial. Acta Anaesthesiologica Scandinavica. 2017;61(10):1262-9.

11. Colak YZ, Toprak HI. Feasibility, safety, and economic consequences of using minimal flow anaesthesia by Maquet FLOW-i equipped with automated gas control. *Scientific Reports*. 2021;11(1):20074.
12. Kayhan Z: Anesteziye kullanılan araç-gereç: Klinik anestezi. 3. Baskı, Ankara: Logos Yayıncılık, 2004: 126-150.
13. Brockwell RC AJ. Inhaled anesthetic delivery systems. *Miller's Anesthesia 7th ed* Philadelphia, Pennsylvania: Churchill Livingstone. 2010:667-716.
14. Baum JA. (Tomatır E, Çev.) İstanbul: Nobel Tıp Kitapevi; 2002. p. 1-17.
15. Kaul TK, Mittal G. Mapleson's Breathing Systems. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2013;57(5):507-15.
16. Mapleson WW. The elimination of rebreathing in various semi-closed anaesthetic systems. 1954. *British Journal of Anaesthesia*. 1998;80(2):263-9.
17. Butterworth JF, Mackey DC, Wasnick JD. Morgan & Mikhail Klinik Anesteziyoloji (V. Baskı). (Cuhruk H, Çev.) Ankara, Güneş Kitabevi. 2015; Bölüm 3: Solunum Sistemleri; syf: 29-42.
18. Laster M, Roth P, Eger EI, 2nd. Fires from the interaction of anesthetics with desiccated absorbent. *Anesthesia and Analgesia*. 2004;99(3):769-74.
19. Andrews JJ: Inhaled anesthetic delivery system. In: Miller RD (ed), *Anesthesia*, Pennsylvania, Churchill Livingstone, 2000; 174-204.
20. Keller KA, Callan C, Prokocimer P, Delgado-Herrera L, Friedman MB, Hoffman GM, et al. Inhalation toxicity study of a haloalkene degradant of sevoflurane, Compound A (PIFE), in Sprague-Dawley rats. *Anesthesiology*. 1995;83(6):1220-32.
21. Bito H, Ikeda K. Closed-circuit anesthesia with sevoflurane in humans. Effects on renal and hepatic function and concentrations of breakdown products with soda lime in the circuit. *Anesthesiology*. 1994;80(1):71-6.

22. Neumann MA, Laster MJ, Weiskopf RB, Gong DH, Dudziak R, Förster H, et al. The elimination of sodium and potassium hydroxides from desiccated soda lime diminishes degradation of desflurane to carbon monoxide and sevoflurane to compound A but does not compromise carbon dioxide absorption. *Anesthesia and Analgesia*. 1999;89(3):768-73.
23. Murray JM, Renfrew CW, Bedi A, McCrystal CB, Jones DS, Fee JP. Amsorb: a new carbon dioxide absorbent for use in anesthetic breathing systems. *Anesthesiology*. 1999;91(5):1342-8.
24. Lineburger EB, Módolo NSP, Braz LG, do Nascimento PJ. Minimal fresh gas flow sevoflurane anesthesia and postoperative acute kidney injury in on-pump cardiac surgery: a randomized comparative trial. *Brazilian Journal of Anesthesiology*. 2021. doi: 10.1016/j.bjane.2021.11.004.
25. Foldes FF, Ceravolo AJ, Carpenter SL. The administration of nitrous oxide-oxygen anesthesia in closed systems. *Ann Surg*. 1952;136(6):978-81.
26. Virtue RW. Minimal-flow nitrous oxide anesthesia. *Anesthesiology*. 1974;40(2):196-8.
27. Baum JA. Anaesthetic methods with reduced fresh gas flows. 2nd ed ed. *Anaesthesia IBJeLf*, editor. Oxford,2001:166-74
28. Baker AB. Low flow and closed circuits. *Anaesthesia and Intensive Care*. 1994;22(4):341-2.
29. Kleemann PP. Humidity of anaesthetic gases with respect to low flow anaesthesia. *Anaesthesia and Intensive Care*. 1994;22(4):396-408.
30. Bilgi M, Goksu S, Mizrak A, Cevik C, Gul R, Koruk S, et al. Comparison of the effects of low-flow and high-flow inhalational anaesthesia with nitrous oxide and desflurane on mucociliary activity and pulmonary function tests. *European Journal of Anaesthesiology*. 2011;28(4):279-83.
31. Baum JA. Düşük akımlı anestezi, minimal akımlı ve kapalı sistemle anestezi kuram ve uygulama (Tomatır E, Çev.) İstanbul, Nobel Tıp Kitabevleri. 2002; Bölüm VI: Anesteziye Yeniden Solutmalı Tekniğin Özellikleri; syf: 96-101.

32. Kleemann PP. The climatisation of anesthetic gases under conditions of high flow to low flow. *Acta Anaesthesiologica Belgica*. 1990;41(3):189-200.
33. Arkan A, Kuvaki B. Azaltılmış taze gaz akımlı anestezi yöntemleri. *Anestezi Dergisi*. 2001(9):1-18.
34. Odin I, Feiss P. Low flow and economics of inhalational anaesthesia. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 2005;19(3):399-413.
35. Tyagi A, Venkateswaran V, Jain AK, Verma UC. Cost analysis of three techniques of administering sevoflurane. *Anesthesiology Research and Practice*. 2014; doi: 10.1155/2014/459432.
36. Eger EI, 2nd. Economic analysis and pharmaceutical policy: a consideration of the economics of the use of desflurane. *Anaesthesia*. 1995;50 Suppl:45-8.
37. Lajunen M. What and why of low flow anesthesia. *Datex-Ohmeda*. 2001.
38. Epstein RH, Dexter F, Maguire DP, Agarwalla NK, Gratch DM. Economic and Environmental Considerations During Low Fresh Gas Flow Volatile Agent Administration After Change to a Nonreactive Carbon Dioxide Absorbent. *Anesthesia and Analgesia*. 2016;122(4):996-1006.
39. Ryu H-G, Lee J-H, Lee K-K, Gil N-S, Kim CS, Sim S-E, et al. The effect of low fresh gas flow rate on sevoflurane consumption. *Korean J Anesthesiol*. 2011;60(2):75-7.
40. Yıldırım A, Göksu H, Toprak Ç. İzofluran, desfluran ve sevofluran ile uygulanan düşük akımlı anestezinin, anestezi kalitesi ve güvenilirliğinin karşılaştırılması. *Fırat Tıp Dergisi* 2006;11(3):170-4.
41. Igarashi M, Watanabe H, Iwasaki H, Namiki A. Clinical evaluation of low-flow sevoflurane anaesthesia for paediatric patients. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 1999;43(1):19-23.
42. Vollmer M.K., Rhee T.S., Rigby M., Hofstetter D., Hill M., Schoenenberger F., Reimann S. Modern inhalation anesthetics: Potent greenhouse gases in the global atmosphere. *Geophys. Res. Lett*. 2015;42:1606-11.

43. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesthesia and Analgesia*. 2010;111(1):92-8.
44. Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Wallington TJ, Karpichev B, Sander SP. Medical intelligence article: assessing the impact on global climate from general anesthetic gases. *Anesthesia and Analgesia*. 2012;114(5):1081-5.
45. Özelsel TJ, Sondekoppam RV, Buro K. The future is now-it's time to rethink the application of the Global Warming Potential to anesthesia. *Canadian Journal of Anaesthesia*. 2019;66(11):1291-5.
46. Gaya da Costa M, Kalmar AF, Struys MMRF. Inhaled Anesthetics: Environmental Role, Occupational Risk, and Clinical Use. *J Clin Med*. 2021;10(6):1306.
47. Baum J. Düşük akımlı anestezi. Tomatır E (Çeviren). Düşük akımlı anesteziye hasta güvenliği boyutu. 2. Baskı. Nobel Tıp Kitapevleri. İstanbul: 2002: 191-219.
48. Sykes O. Metabolic oxygen requirements. *Anaesthesia*. 2017;72(3):415-6.
49. Sykes O. Oxygen monitoring during low flow anaesthesia. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2010;24(2):141.
50. Baum J. Düşük akımlı anestezi. Tomatır E (Çeviren). Düşük taze gaz akımlı anestezi uygulaması için teknik gereksinimler. 2. Baskı. Nobel Tıp Kitapevleri. İstanbul: 2002: 111-90.
51. Feldman JM, Lo C, Hendrickx J. Estimating the Impact of Carbon Dioxide Absorbent Performance Differences on Absorbent Cost During Low-Flow Anesthesia. *Anesthesia and Analgesia*. 2020;130(2):374-81.
52. Coppens MJ, Versichelen LF, Rolly G, Mortier EP, Struys MM. The mechanisms of carbon monoxide production by inhalational agents. *Anaesthesia*. 2006;61(5):462-8.
53. Baxter PJ, Garton K, Kharasch ED. Mechanistic aspects of carbon monoxide formation from volatile anesthetics. *Anesthesiology*. 1998;89(4):929-41.

54. Morita S, Latta W, Hambro K, Snider MT. Accumulation of methane, acetone, and nitrogen in the inspired gas during closed-circuit anesthesia. *Anesthesia and Analgesia*. 1985;64(3):343-7.
55. Kapoor MC, Sashank A, Vats A, Garg S, Puri A. Minimal flow anesthesia can be initiated early with the use of higher fresh gas flow to facilitate desflurane "Wash-in". *Journal of Anaesthesiology, Clinical Pharmacology*. 2019;35(4):487-92.
56. Bengtson JP, Brandberg A, Brinkhoff B, Sonander H, Stenqvist O. Low-flow anaesthesia does not increase the risk of microbial contamination through the circle absorber system. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 1989;33(1):89-92.
57. CEN-Comite Europeen de Normalisation, ed. *Anaesthetic Workstations and their modules- Particular requirements*. EN 740. Brussels, 1998.
58. Baum JA. Düşük akımlı anestezi, minimal akımlı ve kapalı sistemle anestezi kuram ve uygulama (Tomatır E, Çev.) İstanbul, Nobel Tıp Kitabevleri. 2002; Kısım X: Klinik Uygulamada Düşük Akımlı Anestezi; syf: 225-41.
59. Hönemann C, Hagemann O, Doll D. Inhalational anaesthesia with low fresh gas flow. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2013;57(4):345-50.
60. Toal P, Chiplonkar S, Panchal P. A randomised prospective comparison of equilibration point and changing gas composition during low-flow anaesthesia with sevoflurane vs desflurane. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2019;63(10):814-9.
61. Mallik T, Aneja S, Tope R, Muralidhar V. A randomized prospective study of desflurane versus isoflurane in minimal flow anesthesia using "equilibration time" as the change-over point to minimal flow. *Journal of Anaesthesiology, Clinical Pharmacology*. 2012;28(4):470-5.
62. Chatrath V, Khetarpal R, Bansal D, Kaur H. Sevoflurane in low-flow anesthesia using "equilibration point". *Anesth Essays Res*. 2016;10(2):284-90.

63. Biebuyck Julian F, O'Hara Dorene A, Bogen Daniel K, Noordergraaf A. The Use of Computers for Controlling the Delivery of Anesthesia. *Anesthesiology*. 1992;77(3):563-81.
64. Sieber TJ, Frei CW, Derighetti M, Feigenwinter P, Leibundgut D, Zbinden AM. Model-based automatic feedback control versus human control of end-tidal isoflurane concentration using low-flow anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia*. 2000;85(6):818-25.
65. Lortat-Jacob B, Billard V, Buschke W, Servin F. Assessing the clinical or pharmaco-economical benefit of target controlled desflurane delivery in surgical patients using the Zeus anaesthesia machine. *Anaesthesia*. 2009;64(11):1229-35.
66. Struys MM, Kalmar AF, De Baerdemaeker LE, Mortier EP, Rolly G, Manigel J, et al. Time course of inhaled anaesthetic drug delivery using a new multifunctional closed-circuit anaesthesia ventilator. In vitro comparison with a classical anaesthesia machine. *British Journal of Anaesthesia*. 2005;94(3):306-17.
67. Singaravelu S, Barclay P. Automated control of end-tidal inhalation anaesthetic concentration using the GE Aisys Carestation™. *British Journal of Anaesthesia*. 2013;110(4):561-6.
68. De Medts R, Carette R, De Wolf AM, Hendrickx JFA. Desflurane usage during anesthesia with and without N(2)O using FLOW-i Automatic Gas Control with three different wash-in speeds. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2018;32(4):763-9.
69. Avidan MS, Jacobsohn E, Glick D, Burnside BA, Zhang L, Villafranca A, et al. Prevention of intraoperative awareness in a high-risk surgical population. *The New England Journal of Medicine*. 2011;365(7):591-600.
70. Kalmar AF, Van Der Vekens N, De Rydt F, Allaert S, Van De Velde M, Mulier J. Minimizing sevoflurane wastage by sensible use of automated gas control technology in the flow-i workstation: an economic and ecological assessment. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10877-021-00803-z>.

71. Sebel PS, Bowdle TA, Ghoneim MM, Rampil IJ, Padilla RE, Gan TJ, et al. The incidence of awareness during anesthesia: a multicenter United States study. *Anesthesia and Analgesia*. 2004;99(3):833-9.
72. Lennmarken C, Bildfors K, Enlund G, Samuelsson P, Sandin R. Victims of awareness. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2002;46(3):229-31.
73. Sigl JC, Chamoun NG. An introduction to bispectral analysis for the electroencephalogram. *Journal of Clinical Monitoring*. 1994;10(6):392-404.
74. Rosow C, Manberg PJ. Bispectral index monitoring. *Anesthesiology Clinics of North America*. 2001;19(4):947-66.
75. Drummond John C, Weiskopf Richard B. Monitoring Depth of Anesthesia: With Emphasis on the Application of the Bispectral Index and the Middle Latency Auditory Evoked Response to the Prevention of Recall. *Anesthesiology*. 2000;93(3):876-82.
76. Avidan MS, Zhang L, Burnside BA, Finkel KJ, Searleman AC, Selvidge JA, et al. Anesthesia awareness and the bispectral index. *The New England Journal of Medicine*. 2008;358(11):1097-108.
77. Gan TJ, Glass PS, Windsor A, Payne F, Rosow C, Sebel P, et al. Bispectral index monitoring allows faster emergence and improved recovery from propofol, alfentanil, and nitrous oxide anesthesia. BIS Utility Study Group. *Anesthesiology*. 1997;87(4):808-15.
78. Aimé I, Verroust N, Masson-Lefoll C, Taylor G, Laloë PA, Liu N, et al. Does monitoring bispectral index or spectral entropy reduce sevoflurane use? *Anesthesia and Analgesia*. 2006;103(6):1469-77.
79. Shosholcheva M, Jankulovski N, Kuzmanovska B, Kartalov A. Incidence of Anesthetic Awareness may be Higher in Low Flow Anesthesia. *Journal of Anesthesia & Critical Care: Open Access*. 2016; Volume 4. DOI: 10.15406/jaccoa.2016.04.00147.

80. Myles PS, Leslie K, McNeil J, Forbes A, Chan MT. Bispectral index monitoring to prevent awareness during anaesthesia: the B-Aware randomised controlled trial. *Lancet*. 2004;363(9423):1757-63.
81. Mostad D, Klepstad P, Follestad T, Pleym H. Desflurane consumption with automated vapour control systems in two different anaesthesia machines. A randomized controlled study. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2021;65(7):895-901.
82. Ayanoglu Taş B, Şanlı Karip C, Abitağaoğlu S, Öztürk MC, Erdoğan Arı D. Comparison of minimal-flow sevoflurane versus desflurane anesthesia: randomized clinical trial. *Brazilian Journal of Anesthesiology*. 2022;72(1):77-82.
83. Ceylan A, Kırdemir P, Kabalak A, Aksu C, Baydar M, Göğüş N. Düşük akım desfluran ve sevofluran anestezisinde karboksihemoglobin, hemodinami ve uyanma kriterlerinin karşılaştırılması. *Gülhane Tıp Dergisi* 2004; 46: 291-7.
84. Skalec T, Górecka-Dolny A, Zieliński S, Gibek M, Stróżecki Ł, Kübler A. Comparison of anaesthetic gas consumption and stability of anaesthesia using automatic and manual control over the course of anaesthesia. *Anaesthesiology Intensive Therapy*. 2017;49(1):34-9.
85. Swami A, Arora K, Puppala P. Comparative Study of Automated End Tidal Control Versus Manual Fresh Gas Flow Adjustment with Respect to Gas Usage and Delivery during Low Flow Anesthesia. *Anesthesia and Critical Care*. 2020; 2 (2): 039-051
86. Van Delden PG, Houweling PL, Bencini AF, Ephraim EP, Frietman RC, van Niekerk J, et al. Remifentanyl-sevoflurane anaesthesia for laparoscopic cholecystectomy: comparison of three dose regimens. *Anaesthesia*. 2002;57(3):212-7.
87. Taşkın D, Gedik E, Kayhan Z. Effects of Minimal Flow Sevoflurane or Desflurane Anaesthesia on Hemodynamic Parameters, Body Temperature and Anaesthetic Consumption. *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation*. 2020;48(5):356-63.

88. Tomatır E. Düşük akımlı anestezi ve maliyet. *Anestezi Dergisi* 2002; 10: 149-56.
89. Kawagoe I, Hayashida M, Satoh D, Mitaka C. Comparison of desflurane and propofol in the speed and the quality of emergence from anesthesia in patients undergoing lung cancer surgery-a prospective, randomized study. *Translational Cancer Research*. 2022;11(4):736-44.
90. Aldrete JA. The post-anesthesia recovery score revisited. *Journal of Clinical Anesthesia*. 1995;7(1):89-91.
91. Lucangelo U, Garufi G, Marras E, Ferluga M, Turchet F, Bernabè F, et al. End-tidal versus manually-controlled low-flow anaesthesia. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2014;28(2):117-21.
92. Dikmen Y. Sıcaklık Monitörizasyonu ve Bozuklukları. In: Duke J. *Anestezinin Sırları*. Ankara: Nobel Tıp Kitabevi, 2006: 176-81.
93. Kayhan Z. Termoregülasyon ve Anestezi Altında Isı Değişiklikleri. In: Kayhan Z. *Klinik Anestezi*. Ankara: Logos Yayıncılık. 2004: 436-42.
94. Moola S, Lockwood C. Effectiveness of strategies for the management and/or prevention of hypothermia within the adult perioperative environment. *International Journal of Evidence-based Healthcare*. 2011;9(4):337-45.
95. Poveda VB, Nascimento AS. The effect of intraoperative hypothermia upon blood transfusion needs and length of stay among gastrointestinal system cancer surgery. *European Journal of Cancer Care*. 2017;26(6). DOI: 10.1111/ecc.12688.
96. Bindu B, Bindra A, Rath G. Temperature management under general anesthesia: Compulsion or option. *Journal of Anaesthesiology, Clinical Pharmacology*. 2017;33(3):306-16.

97. Braz JRC, Braz MG, Hayashi Y, Martins RHG, Betini M, Braz LG, et al. Effects of different fresh gas flows with or without a heat and moisture exchanger on inhaled gas humidity in adults undergoing general anaesthesia: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *European Journal of Anaesthesiology*. 2017;34(8):515-25.
98. Malhotra R, Kumar N, Jain A. Cost identification analysis of general anesthesia. *Journal of Anaesthesiology, Clinical Pharmacology*. 2020;36(2):219-26.
99. Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *Lancet*. 2019;394(10211):1836-78.
100. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesthesia and Analgesia*. 2012;114(5):1086-90.
101. Varughese S, Ahmed R. Environmental and Occupational Considerations of Anesthesia: A Narrative Review and Update. *Anesthesia and Analgesia*. 2021;133(4):826-35.
102. Moody AE, Beutler BD, Moody CE. Predicting cost of inhalational anesthesia at low fresh gas flows: impact of a new generation carbon dioxide absorbent. *Med Gas Res*. 2020;10(2):64-6.
103. Lindqvist M, Jakobsson J. Minimal flow anaesthesia for short elective day case surgery; high vaporiser settings are needed but still cost-effective. *Ambul Surg* 2011; 17: 27-9.
104. Potdar MP, Kamat LL, Save MP. Cost efficiency of target-controlled inhalational anesthesia. *Journal of Anaesthesiology, Clinical Pharmacology*. 2014;30(2):222-7.

8. EKLER

Ek 1: Etik Kurul Onayı



T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar
Etik Kurul Başkanlığı

TOPLANTI TARİHİ : 10/03/2021
TOPLANTI NO : 2021/05

KARARLAR :

- 12- Tıp Fakültesi Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı Başkanlığı'nın "Meme Cerrahilerinde AGC (Automatic Gas Control) Modu ile Minimal Akımın Karşılaştırılması" konulu çalışmasının Etik Kurul İlkelerine uygun olduğuna,

Oy birliği ile karar verilmiştir.

A S L I ~~E~~ İ B İ D İ R

Prof. Dr. Günnur ÖZBAKİŞ DENGİZ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanı