

AMELİYATHANEDE ELEKTRİK GÜVENLİĞİ VE ELEKTRİK KAÇAKLARI



EDİTÖRLER

Prof. Dr. Emine Didem Evcı Kiraz

Doç. Dr. Belgin Yıldırım

BİDGE Yayınları

Ameliyathanede Elektrik Güvenliği ve Elektrik Kaçakları

Editörler: Prof. Dr. Emine Didem Evcı Kiraz & Doç. Dr. Belgin Yıldırım

ISBN: 978-625-8989-33-5

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 05.01.2026

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara



İÇİNDEKİLER

AMELİYATHANEDE VE YOĞUN BAKIMDA Dİ(2-ETİLHEKSİL) FTALAT (DEHP) MARUZİYETİ: ANESTEZİYOLOJİ PERSPEKTİFİNDEN MEKANİZMA VE KLİNİK YANSIMALARI	4
MUSTAFA GÖKHAN BAYRAM.....	4
AMELİYATHANEDE İLAÇ GÜVENLİĞİ.....	25
OĞUZHAN KARAYAKA.....	25
AMELİYATHANEDE HİPOTERMİ VE ÖNLEME YÖNTEMLERİ.....	40
BÜŞRA ŞABANO	40
AMELİYATHANEDE CERRAHİ DUMAN VE GÜVENLİK.....	59
DİRENÇ UZUNGELİŞ	59
AMELİYATHANEDE SKOPİ VE RADYASYON GÜVENLİĞİ	77
CEREN UZUNGELİŞ	77
AMELİYATHANEDE ELEKTRİK GÜVENLİĞİ VE ELEKTRİK KAÇAKLARI	97
DİNÇER FIRAT ŞEKER	97

AMELİYATHANEDE VE YOĞUN BAKIMDA Dİ(2-ETİLHEKSİL) FTALAT (DEHP) MARUZİYETİ: ANESTEZİYOLOJİ PERSPEKTİFİNDEN MEKANİZMA VE KLİNİK YANSIMALARI

MUSTAFA GÖKHAN BAYRAM¹

Giriş

Ameliyathane, hastanın perioperatif süreç boyunca sayısız cihaz ve sarf malzemeye temas halinde bulunduğu; bu nedenle iyatrojenik kimyasal maruziyet risklerinin en yoğun gerçekleşebileceği klinik alanlardan biridir. İntravenöz ilaç uygulamalarından mekanik ventilasyon devrelerine, intra-arteriyel monitörizasyondan santral venöz kateterizasyona dek uzanan geniş ekipman yelpazesi; anesteziğin doğrudan kullandığı ve hastanın uzun süreli temas halinde olduğu polivinil klorür (PVC) bazlı malzemeleri kapsamaktadır. Bu malzemelerin büyük çoğunluğu, Di(2-etilheksil) ftalat (DEHP) adı verilen kimyasal plastikleştiriciyi içermekte olup DEHP; lipofilik yapısı nedeniyle temas ettiği ilaç solüsyonlarına, kan ürünlerine ve anestezi devre sıvılarına kolaylıkla geçebilmektedir (Tickner ve ark., 2001).

¹ Uzman Doktor, Zonguldak Atatürk Devlet Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Bölümü, ORCID: 0000-0001-5461-7944

Anestezi uygulamaları özelinde DEHP maruziyeti; propofol başta olmak üzere lipid bazlı intravenöz anesteziklerin PVC setler üzerinden infüzyonu, epidural ve spinal anestezi malzemeleri, inhalasyon anestezisi devre hatları, uzun süreli intravenöz hat kullanımı ve yoğun bakım ünitelerinde (YBÜ) uygulanan sedasyon ile analjezi protokolleri aracılığıyla gerçekleşmektedir. Propofolün lipid emülsiyon yapısı; bu ilacı, PVC setten DEHP çözme kapasitesi en yüksek klinik formülasyonlar arasına yerleştirmekte ve total intravenöz anestezi (TIVA) protokollerini DEHP maruziyeti açısından kritik bir odak noktası haline getirmektedir (FDA, 2001; Loff ve ark., 2000).

Reanimasyon ünitelerinde ise mekanik ventilasyon devrelerinin uzun süreli kullanımı, vazoaktif ilaç infüzyonları, parenteral beslenme hatları, sürekli renal replasman tedavisi (SRRT) devreleri ve ekstrakorporeal membran oksijenasyon (EKMO) uygulamaları; kümülatif DEHP maruziyetini dramatik düzeylere taşıyabilmektedir. Reanimasyon hastası; cerrahi hastanın aksine günlerce hatta haftalarca eş zamanlı birden fazla PVC kaynağına maruz kalmakta ve bu durum, özellikle çoklu organ yetmezliği varlığında ciddi bir biyobirikim riskini beraberinde getirmektedir. Bu bölüm; PubMed ve EMBASE veri tabanlarında gerçekleştirilen kapsamlı literatür taramasına dayanan anlatsal bir derleme niteliğinde olup anesteziyoloji ve reanimasyon perspektifinden DEHP konusunu bütüncül biçimde ele almaktadır.

Bölümde; DEHP'in kimyasal özellikleri, anestezi pratiğindeki başlıca maruziyet kaynakları, propofol ve lipid bazlı ajanlarla DEHP etkileşimi, perioperatif maruziyetin nicelleştirmesi, metabolizma ve biyobirikim mekanizmaları, toksikolojik etkiler, yoğun bakım hastalarındaki özel durumlar, mevcut düzenlemeler, kan transfüzyonundaki paradoksal rolü ve risk azaltma stratejileri ele alınmaktadır.

DEHP'in Kimyasal Yapısı ve Anesteziyoloji Pratiğiyle Bağlantısı

Di(2-etilheksil) ftalat (DEHP), ftalik asit ile 2-etil-1-heksanol'ün esterleşmesiyle elde edilen bir aromatik dikarboksilik asit esteridir. Kimyasal formülü $C_{24}H_{38}O_4$ olan DEHP, 390,56 g/mol molekül ağırlığıyla oda sıcaklığında renksiz ve yağlı görünümlü bir sıvıdır. Log Kow değeri 7,60 olması; DEHP'in son derece yüksek lipofilisiteye sahip olduğunun göstergesidir. Bu özellik, maddenin propofol, etomidat lipuro ve diğeri yağ bazlı çözücüler gibi lipid içerikli ilaç solüsyonlarıyla güçlü bir afinite sergilemesini açıklamakta ve anestezi pratiği açısından özgün bir güvenlik riski doğurmaktadır (Koch ve ark., 2004).

DEHP, PVC polimer zinciriyle kimyasal bağ kurmaksızın yalnızca fiziksel etkileşim (van der Waals kuvvetleri) yoluyla plastik matris içinde tutulmaktadır. Bu nedenle PVC yüzeyiyle temas eden her sıvı; sıcaklık, akış hızı, temas süresi ve sıvının lipofilik karakterine bağlı olarak değışen miktarlarda DEHP'i bünyesine çekebilmektedir. Tickner ve ark. (2001), farklı PVC tıbbi cihaz bileşenlerinde DEHP elüsyonunu ölçerek lipid içerikli solüsyonlarda göç hızının kristalloid solüsyonlara kıyasla belirgin biçimde yüksek olduğunu göstermiştir. Anestezi uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan etkenler arasında; ısıtılmış infüzyon solüsyonları, kan ürünleri ve lipid içerikli ilaçlar DEHP göçünü hızlandırmaktadır. Buna karşın izotonik salin ya da %5 dekstrozu gibi su bazlı solüsyonlardan kaynaklanan DEHP göçü klinik açıdan önemsiz düzeyde kalmaktadır (FDA, 2001).

Tıbbi alanda PVC kullanımı 1950'li yıllarda başlamış; DEHP ise kan torbalarının ve infüzyon setlerinin üretiminde standart plastikleştirici olarak hızla benimsenmiştir. Bu tercihin temelinde; düşük maliyet, biyolojik uyumluluk görüntüsü, sterilizasyon dayanımı (gama ışınlaması, etilen oksit, buharla sterilizasyon) ve uzun raf ömrü gibi pratik avantajlar yatmaktadır. Avrupa

Kimyasallar Ajansı (ECHA), DEHP'i üreme toksisitesi açısından Kategori 1B tehlikeli madde olarak sınıflandırmakta ve Son Derece Yüksek Endişe Verici Madde (SVHC) listesinde bulundurmaktadır (ECHA, 2022). Bu sınıflandırma; anesteziyoloji kliniklerinin tıbbi cihaz tedarik süreçlerinde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir referans noktasını oluşturmaktadır.

Tablo 1. DEHP'in Anesteziyoloji Pratiği Açısından Kritik Fizikokimyasal Özellikleri

Özellik	Değer / Klinik Anlamı
Kimyasal Formül	$C_{24}H_{38}O_4$
Molekül Ağırlığı	390,56 g/mol
Log Kow (lipofilisite)	7,60 — Propofol ve lipid emülsiyonlarla yüksek afinite
Suda Çözünürlük (25°C)	0,27 mg/L — Kristalloidlerden minimal göç
Kaynama Noktası	385°C — Termal kararlılık yüksek
PVC ile bağ türü	Fiziksel (van der Waals) — Kolayca sıvıya göç eder
IARC Sınıflandırması	Grup 2B — İnsanlarda muhtemelen kanserojen
AB/REACH Tehlike Sınıfı	Üreme Toks. Kat. 1B; SVHC listesinde
Anestezi açısından kritik özellik	Lipid bazlı IV ajanlarda hızlı ve yoğun DEHP göçü

Kaynak: FDA (2001), ECHA (2022), Koch ve ark. (2004), Tickner ve ark. (2001).

Anestezi Pratiğindeki Başlıca DEHP Maruziyet Kaynakları

Bir anesteziist; preoperatif hazırlıktan hasta derlenme odasına çıkana kadar geçen süre içinde hastanın onlarca PVC bileşeniyle temas etmesine doğrudan aracılık etmektedir. Bu ekipmanların DEHP içeriği ve yarattığı maruziyet şiddeti, kullanılan sıvının lipid karakteri ve temas süresiyle doğru orantılı biçimde değişmektedir. Enjektörler, uzatma hatları ve üç yollu musluklar; standart bir IV anestezi kurulumunda eş zamanlı olarak birden fazla DEHP kaynağı

oluşturmaktadır. Santral venöz kateterler ise uzun temas süresi ve yüksek DEHP içeriği nedeniyle özellikle dikkat gerektirmektedir (Tickner ve ark., 2001).

Ventilasyon açısından değerlendirildiğinde; PVC endotrakeal tüpler, PVC bileşen içeren anestezi devreleri ve aktif nemlendirme sistemleri başlıca maruziyet kaynaklarını oluşturmaktadır. Mekanik ventilatöre bağlı yoğun bakım hastalarında uzun süreli solunum devresi maruziyetinin pulmoner DEHP yüküne katkısı; özellikle prematüre bebeklerde erken çalışmalarda raporlanmıştır (Roth ve ark., 1988). Uzun süreli inhalasyon anestezisi uygulamalarında devre içindeki nem ve ısı artışı DEHP göçünü kolaylaştırabilmektedir. Silikon veya polietilen bazlı devre hatları bu riski anlamlı biçimde azaltmakla birlikte, klinik uygulamada PVC devrelerin kullanımı yaygınlığını korumaktadır.

Rejyonel anestezi alanında epidural kateterler ve set bileşenlerinin DEHP içeriği de göz ardı edilmemelidir. Doğum analjezisi kapsamında saatler boyunca sürdürülen epidural infüzyonlarda hem annenin hem de fetüsün eş zamanlı maruziyet riski taşıdığı bilinmektedir. Obstetrik anestezi pratiğinde DEHP-içermeyen ekipman kullanımına öncelik verilmesi; fetal gelişim açısından kaçınılabilir bir kimyasal yükün ortadan kaldırılması anlamına gelmekte ve hem klinik etik hem de SCENIHR (2016) tavsiyeleri açısından güçlü bir gerekçe oluşturmaktadır.

Tablo 2. Anesteziyoloji ve Reanimasyon Pratiğinde DEHP İçeren Ekipmanlar ve Maruziyet Profili

Ekipman / Prosedür	DEHP İçeriği*	Maruziyet Şiddeti	Kritik Etken
IV infüzyon seti (genel)	%30–60	Orta	Sıvı lipidisitesi, akış hızı
Propofol TIVA seti	%30–60	Çok Yüksek	Lipid emülsiyonu DEHP göçünü artırır

Endotrakeal tüp (PVC)	%25–40	Orta	Temas süresi ve ortam ısısı
Anestezi devre hattı (PVC)	%20–35	Orta–Yüksek	Uzun süre, nem, ısı
Santral venöz kateter seti	%30–50	Yüksek	Çok lümenli, uzun kalış süresi
Arteriyel basınç hattı	%30–50	Orta	Sürekli basınç, flush sıvısı
Epidural kateter ve set	%25–40	Orta	Obstetrikte fetüs de maruz kalır
Kan / TDP transfüzyon seti	%30–40	Orta–Yüksek	Lipid içerikli kan ürünleri
Kardiyopulmoner baypas devresi	%40–60	Çok Yüksek	Saatler boyunca, büyük temas yüzeyi
EKMO devresi	%40–60	Çok Yüksek	Günler–haftalar, sürekli akış
SRRT / Hemodiyaliz hattı	%30–50	Yüksek	YBÜ'de sürekli uzun süreli kullanım
Parenteral beslenme seti	%40–80	Yüksek	Lipid emülsiyon içeriği yüksek

** Ağrılıkça PVC içindeki yaklaşık DEHP oranı. Kaynak: Tickner ve ark. (2001), FDA (2001), Sampson ve de Korte (2011).*

Propofol ve Lipid Bazlı İntravenöz Anesteziklerde DEHP Etkileşimi

Anesteziyoloji pratiğinde DEHP maruziyeti bağlamındaki en kritik klinik mesele; propofol ve diğer lipid bazlı intravenöz anestezik ajanların PVC infüzyon setleriyle temasından kaynaklanan yüksek DEHP göçüdür. Propofol %1'lik formülasyonu; %10 soya yağı, %1,2 saflaştırılmış yumurta lesitini, %2,25 gliserol içinde hazırlanmış yağ-su emülsiyonu olup pH ayarı sodyum hidroksit ile yapılmıştır. Bu lipid emülsiyon yapısı, propofolü PVC infüzyon seti boyunca geçişi sırasında DEHP'i çözme kapasitesi en yüksek intravenöz ilaçlar arasına yerleştirmektedir. Deneysel çalışmalar;

propofolün PVC hatlardan geçişinin kristalloid solüsyonlarla karşılaştırıldığında DEHP göçünü istatistiksel olarak anlamlı biçimde artırdığını ve bu etkinin temas süresi ile sıcaklıkla doğru orantılı olarak yükseldiğini ortaya koymaktadır (FDA, 2001; Tickner ve ark., 2001).

Perioperatif maruziyet nicelleştirmesi açısından değerlendirildiğinde; Loff ve ark. (2000), PVC infüzyon setlerinin lipid içerikli solüsyonlarla kullanımı sırasında klinik olarak anlamlı DEHP miktarlarının taşındığını, parenteral beslenme ve lipid emülsiyonlarının uygulandığı yenidoğan hastalarında günlük DEHP yüklenimine bu setlerin katkı sağladığını göstermiştir. Benzer biçimde Plonait ve ark. (1993), kan ürünü içeren PVC sistemlerde müdahale başına önemli DEHP maruziyetleri ölçmüştür. Erişkin hastalarda Propofol'ün standart indüksiyon dozu (2 mg/kg bolus) sonrasında idame infüzyonu (genel anestezi idamesinde 4–12 mg/kg/saat) ya da YBÜ'de kullanılan rutin sedasyon dozları (0,3–4 mg/kg/saat) sırasında kümülatif DEHP yüklenmesi temas süresi uzadıkça artmaktadır (FDA, 2001).

TIVA protokolleri kapsamında propofol ile opioid (remifentanil, fentanil, sufentanil) infüzyonunun eş zamanlı uygulandığı uzun süreli cerrahilerde kümülatif DEHP maruziyeti saate bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle TIVA uygulamalarında polietilen (PE) ya da polipropilen (PP) iç yüzeyli özel propofol setlerinin kullanımı; özellikle pediatrik TIVA uygulamalarında öncelikli bir güvenlik standardı olarak değerlendirilmektedir. Etomidat lipuro formülasyonunun propofole kıyasla DEHP göçü açısından farklı bir profil oluşturup oluşturmadığı sorusu ise henüz yeterli klinik veriyle yanıtlanamamıştır ve araştırma boşluğu oluşturmaktadır.

Yoğun bakım ünitesinde propofol bazlı sedasyon protokollerinin uzun süreli uygulanması; ameliyathanedeki kısa süreli maruziyetin çok ötesine geçen kümülatif bir DEHP yükü

yaratmaktadır. YBÜ'de propofol infüzyon hızının 4 mg/kg/saat üzerinde uzun süre sürdürülmesi; propofol infüzyon sendromu riskinin yanı sıra kümülatif DEHP yüklenmesi açısından da ek bir güvenlik endişesi oluşturmaktadır (FDA, 2001). Deksmetomidin, midazolam ve ketamin gibi non-lipid bazlı sedatif alternatiflerin propofole kıyasla DEHP maruziyeti açısından daha düşük riskli olabileceği değerlendirilmektedir.

Perioperatif DEHP Metabolizması ve Biyobirikim

DEHP, vücuda girdikten sonra karaciğer ve bağırsak mukozasındaki esterazlar aracılığıyla hızla birincil metaboliti olan mono(2-etilheksil) ftalat'a (MEHP) hidroliz edilmektedir. MEHP; ardından sırasıyla mono(2-etil-5-hidroksiheksil) ftalat (MEHHP), mono(2-etil-5-oksoheksil) ftalat (MEOHP) ve mono(2-etil-5-karboksipentil) ftalat (MECPP) gibi oksidatif metabolitlere dönüştürülmekte ve bu metabolitler glukuronidasyon yoluyla idrarla atılmaktadır. Koch ve ark. (2004), tek oral DEHP dozundan sonra 24 saat içinde verilen dozun büyük bölümünün metabolitler halinde idrarla atıldığını göstermiş; bu metabolitler özellikle MEHP, MEHHP ve MEOHP idrar örneklerinde analitik olarak ölçülebilmekte ve perioperatif DEHP maruziyetinin doğrulanmış biyogöstergeleri olarak kullanılmaktadır.

Perioperatif dönem; DEHP metabolizması açısından fizyolojik olarak farklı bir pencere sunmaktadır. Genel anestezi sürecinde hepatik perfüzyon ve glomerüler filtrasyon hızı; kullanılan anestezi ajanlara, hemodinamik koşullara ve cerrahi manipülasyona bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Karaciğer perfüzyonunun azaldığı hipotansif dönemlerde ya da splanknik kan akımının baskılandığı uzun süreli mekanik ventilasyon uygulamalarında DEHP ve MEHP'in hepatik klerensi yavaşlayabilmekte; bu durum plazmadaki aktif metabolit konsantrasyonunu artırabilmektedir. Özellikle propofol ile yürütülen

uzun süreli TIVA olgularında bu etkinin kümülatif biçimde belirginleşmesi beklenmektedir.

Yenidoğan ve prematüre bebeklerde karaciğer glukuronidasyon kapasitesinin henüz gelişmemiş olması; MEHP ve diğer aktif metabolitlerin eliminasyonunu belirgin biçimde yavaşlatmakta ve doku birikimi riskini artırmaktadır. Neonatal yoğun bakım birimlerinde yürütülen klinik çalışmalar; yoğun tıbbi müdahaleye maruz kalan yenidoğanların idrarındaki DEHP metaboliti düzeylerinin, düşük maruziyet grubundaki akranlarına kıyasla anlamlı biçimde yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Green ve ark., 2005). Plonait ve ark. (1993) de kan ürünleri uygulanan yenidoğanlarda klinik olarak anlamlı DEHP maruziyetini belgelemiştir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, pediatrik anestezi ve neonatal yoğun bakım pratiğinde DEHP-içermeyen ekipman tercihinin biyolojik ve klinik dayanağı güçlü biçimde ortaya konmuştur.

DEHP'in Toksikolojik Etkileri

Anesteziyoloji perspektifinden DEHP'in toksikolojik etkilerini ele almak; bu kimyasal tehlikeyi soyut bir biyokimyasal bilgi olarak değil, perioperatif fizyopatoloji ve klinik hasta yönetimi bağlamında pratik bir çerçevede kavramayı gerektirmektedir. DEHP ve MEHP'in en kapsamlı biçimde belgelenen etkileri; endokrin sistemi bozucu aktivite, üreme toksisitesi ve hepatotoksisitedir. MEHP; peroksisom proliferatör ile aktive olan reseptörler (PPAR- α ve PPAR- γ) üzerinden etki göstermekte, steroidogenez enzimlerini inhibe etmekte ve androjen reseptörleri üzerinde antagonist etkinlik sergilemektedir. Leydig hücrelerinde testosteron sentezinin baskılanması; özellikle uzun süreli EKMO ya da kardiyopulmoner baypas (KPB) desteği gören hastalarda perioperatif hormonal denge açısından değerlendirilmesi gereken bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Gray ve ark., 2000).

Pulmoner toksisite bağlamında Roth ve ark. (1988), mekanik ventilatöre bağlı prematüre bebeklerde PVC solunum devrelerinin kullanımı sırasında akciğer fonksiyonlarında olası olumsuz etkiler saptamış; bu bulgu solunum devresi DEHP maruziyetinin klinik önemine dair ilk kanıtlar arasında yerini almıştır. Epidemiyolojik çalışmalarda iç ortam ftalat düzeyleriyle astım ve alerjik hastalık gelişimi arasında anlamlı ilişkiler saptanmış olması (Bornehag ve Nanberg, 2010); bu mekanizmanın yoğun bakım hastasındaki pulmoner süreçlere yansımaları açısından da dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Üreme toksisitesi açısından değerlendirildiğinde; gebelik döneminde yüksek ftalat metaboliti düzeyine maruz kalan annelerden doğan erkek bebeklerde anogenital mesafenin belirgin biçimde kısaldığı gösterilmiştir (Swan ve ark., 2005). Bu bulgu; obstetrik anestezi sırasındaki DEHP maruziyetinin hem anne hem de fetüs üzerinde klinik sonuçlar yaratma potansiyeli taşıdığını kanıtsal düzeyde ortaya koymuş; obstetrik anestezi protokollerinde DEHP-içermeyen ekipman kullanımını güçlü bir kanıta dayalı öneri haline getirmiştir. IARC'ın DEHP'i Grup 2B (insanlarda muhtemelen kanserojen) olarak sınıflandırması; uzun süreli iyatrojenik maruziyetin yaşam boyu kanser riski açısından da gözetilmesini gerektirmektedir.

Reanimasyon Ünitesinde DEHP Maruziyeti: Özel Durumlar ve Klinik Riskler

Reanimasyon (yoğun bakım) hastası; DEHP maruziyetinin ameliyathanede sona ermediği, aksine günlerce ya da haftalarca kesintisiz sürebildiği kritik bir klinik profili temsil etmektedir. Mekanik ventilasyon devresi, vazoaktif ajan infüzyon setleri, parenteral beslenme hatları, SRRT devreleri, EKMO hatları ve mesane sondası gibi çok sayıda PVC bileşeninin eş zamanlı kullanımı; günlük kümülatif DEHP yükünü çarpıcı düzeylere

taşımaktadır. Bu tabloya propofol bazlı uzun süreli sedasyon protokollerinin eklenmesi söz konusu riski daha artırmaktadır (Tickner ve ark., 2001).

EKMO tedavisi; reanimasyon pratiğinde en yüksek DEHP maruziyetine yol açan prosedürler arasında yer almaktadır. Venövenöz (VV-EKMO) veya venoarteriyel (VA-EKMO) konfigürasyonunda çalışan devreler; oksijenatör, ısı değiştirici ve pompa hattıyla birlikte büyük bir PVC temas yüzeyi oluşturmaktadır. Birkaç günden birkaç haftaya uzayan EKMO seansları boyunca sistemik MEHP birikimini prospektif olarak inceleyen çalışmalar son derece sınırlıdır; bu boşluk, kardiyak ve pulmoner reanimasyon alanında öncelikli araştırma gereksinimini açıkça ortaya koymaktadır (Sampson ve de Korte, 2011). SRRT uygulamaları da yüksek kümülatif maruziyet yaratmaktadır; akut böbrek yetmezliği ve karaciğer yetmezliğinin birlikte seyrettiği çoklu organ disfonksiyonu sendromlu hastalarda eliminasyon kapasitesinin düştüğü ve DEHP/MEHP birikiminin hızlandığı bilinmektedir (Koch ve ark., 2004).

Sepsis ve septik şok nedeniyle takip edilen hastalarda inflamatuvar yanıt, endotelial hasar ve mikrodolaşım bozuklukları DEHP metabolizmasını olumsuz etkileyebilmektedir. Reanimasyon uzmanının bu hasta grubunda rutin olarak kullandığı norepinefrin, dobutamin ve vazopressin infüzyon setleri de DEHP içerebilmekte; çoklu vazoaktif ajan kullanımı kümülatif maruziyeti artırmaktadır. Pediatrik yoğun bakım ve neonatal reanimasyon birimlerinde ise bu riskler; gelişmekte olan organ sistemleri ve yetersiz metabolik kapasite nedeniyle yetişkin popülasyona kıyasla çok daha fazla önem kazanmakta olup mevcut klinik kanıtlar bu grupta DEHP-içermeyen ekipmanların öncelikli biçimde kullanılmasını desteklemektedir (SCENIHR, 2016).

Anesteziyoloji Pratiğinde Özellikle Risk Altındaki Hasta Grupları

Pediyatrik anestezi pratiği, DEHP maruziyeti açısından en kritik alanlardan birini oluşturmaktadır. Daha önce metabolizma bölümünde ele alındığı üzere; yenidoğan ve prematüre bebeklerde MEHP eliminasyonu yavaşlamakta ve aktif metabolitlerin dokuda birikmesi kolaylaşmaktadır. Neonatal yoğun bakım birimlerinde yürütülen klinik çalışmalarda, yoğun tıbbi müdahaleye maruz kalan yenidoğanların DEHP metaboliti idrar düzeyleri; düşük maruziyet grubundaki akranlarına kıyasla anlamlı biçimde yüksek saptanmıştır (Green ve ark., 2005; Loff ve ark., 2000). Neonatal ve pediyatrik cerrahide kullanılan PVC ekipmanların DEHP içerip içermediğinin sorgulanması ve uygun alternatiflerin tercih edilmesi; pediyatrik anestezi protokollerinin ayrılmaz bir parçası olmalıdır.

Obstetrik anestezi pratiğinde epidural analjezi setleri, sezaryen cerrahisinde kullanılan IV hatlar ve kan transfüzyon setleri; hem anneyi hem de fetüsü DEHP'e maruz bırakmaktadır. DEHP'in plasentayı geçebildiği ve fetal dokulara ulaşabildiği deneysel çalışmalarda gösterilmiştir. Gebelik döneminde fetalat metaboliti düzeyleriyle doğan erkek bebeklerdeki anogenital mesafenin kısalması arasında saptanan istatistiksel ilişki (Swan ve ark., 2005) ve SCENIHR (2016) tavsiyeleri birlikte değerlendirildiğinde; obstetrik anestezi pratiğinde DEHP-içermeyen ekipman kullanımı kanıta dayalı güçlü bir öneri niteliği taşımaktadır.

Kardiyovasküler cerrahi anestezisi kapsamında KPB uygulanan hastalar da yüksek riskli grubu oluşturmaktadır. KPB devresi; yüksek akış hızları, uzun temas süresi ve büyük PVC yüzey alanıyla birlikte masif DEHP yklenimine zemin hazırlamaktadır. Bu grupta DEHP'in miyokard oksidatif stresi ve postoperatif kardiyak iyileşme süreçlerine olan olası katkısı; kardiyak anestezi literatüründe sistematik araştırmayı bekleyen öncelikli bir alan olarak öne çıkmaktadır.

Kan Transfüzyonu Güvenliği ve DEHP'in Paradoksal Rolü

Anesteziyoloji ve reanimasyon pratiğinde DEHP tartışması yalnızca bir toksisite meselesi değil, aynı zamanda pratiğin vazgeçilmezi olan kan ürünü güvenliğiyle doğrudan bağlantılı karmaşık bir risk-fayda dengesidir. DEHP'in eritrosit membranına entegre olarak hemolizi önlediği ve depolama süresi boyunca eritrosit canlılığını koruduğu bilinmektedir (Sampson ve de Korte, 2011). Büyük volümlü transfüzyon gerektiren majör kardiyovasküler cerrahi, travma, obstetrik kanama ve transplantasyon cerrahisi gibi klinik senaryolarda bu yarara yönelik farkındalık; DEHP-içermeyen alternatiflere geçişin kan hizmetleri açısından titizlikle planlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Avrupa Birliği Tıbbi Cihazlar Yönetmeliği (MDR 2017/745) kapsamında kan torbalarında DEHP kullanımının kademeli olarak kısıtlanması öngörülmektedir. Bu geçiş sürecinde di(2-etilheksil) tereftalat (DEHT) ve diizononi sikloheksan-1,2-dikarboksilat (DINCH) bazlı alternatiflerin eritrosit depolama kalitesini koruma kapasitesi araştırılmaktadır. Masif transfüzyon protokollerinin (MTP) sık uygulandığı kardiyovasküler, travma ve karaciğer transplantasyonu anestezi pratiklerinde bu geçişin klinik sonuçlara yansımaları yakından izlenmelidir (Bernard ve ark., 2015).

Taze donmuş plazma (TDP) ve trombosit süspansiyonu dahil hemostaz yönetim ürünlerinin de PVC torba ve setler aracılığıyla uygulandığı göz önüne alındığında; perioperatif koagülopati yönetiminde çok sayıda kan ürünü kullanan anestezistlerin kümülatif DEHP maruziyetine ilişkin bütüncül bir risk değerlendirmesi yapması gerekmektedir. Bu değerlendirme; özellikle pediatrik kardiyak cerrahi, karaciğer transplantasyonu ve masif obstetrik kanama yönetiminde klinik karar süreçlerine doğrudan katkı sağlayacaktır.

Uluslararası Düzenlemeler ve Anesteziyoloji Pratiğine Yansımaları

Avrupa Birliği Tıbbi Cihazlar Yönetmeliği (MDR 2017/745); üreticilerin DEHP içeren tıbbi cihazlar için kapsamlı risk yönetim planları hazırlamasını ve ürün etiketlerinde DEHP içeriğini açıkça belirtmesini zorunlu kılmaktadır. REACH yönetmeliği kapsamında DEHP'in SVHC listesine alınması; tıbbi cihaz üreticilerini alternatif plastikleştiricilere geçişe yönlendirmekte ve satın alma kararlarını doğrudan etkilemektedir. Avrupa Bilimsel Komitesi (SCENIHR, 2016), yenidoğanlar, prematüre bebekler ve hamile kadınlarda mevcut DEHP içerikli cihazlar yerine uygun alternatiflerin kullanılmasını açıkça tavsiye etmiştir; bu tavsiye pediatrik ve obstetrik anestezi protokollerini doğrudan ilgilendirmektedir.

Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA, 2001), kapsamlı güvenlik değerlendirme raporunda yenidoğanlar ve erkek fetüsler başta olmak üzere yüksek riskli popülasyonlarda DEHP içerikli PVC tıbbi cihaz kullanımına ilişkin endişelerini kamuoyuyla paylaşmış; klinisyenlerin hasta bazında risk-fayda değerlendirmesi yapmasını ve uygun alternatifler mevcut olduğunda bunları tercih etmesini tavsiye etmiştir. Türkiye'de ise tıbbi cihaz mevzuatı, AB Direktifleriyle uyumlu olarak T.C. Sağlık Bakanlığı Tıbbi Cihaz Yönetmeliği çerçevesinde yürütülmektedir. DEHP içerikli PVC cihazlara ilişkin ulusal düzeyde özgül bir kısıtlama henüz bulunmamakla birlikte; REACH ve MDR uyum sürecinin bir parçası olarak kamu alım mevzuatında DEHP-içermeyen ürünlere yer verilmesi yönünde adımlar atılmaktadır.

Anesteziyoloji ve Reanimasyon Uzmanına Yönelik Risk Azaltma Stratejileri

Anesteziyoloji pratiğinde DEHP maruziyetinin azaltılmasına yönelik en doğrudan strateji; yüksek riskli hasta gruplarında ve yüksek lipid içerikli ilaç uygulamalarında DEHP-içermeyen

infüzyon setlerinin tercih edilmesidir. TIVA uygulamalarında polietilen (PE) ya da polipropilen (PP) iç yüzeyli özel propofol setlerinin kullanımı, DEHP göçünü klinik açıdan önemli ölçüde azaltmaktadır. Pediatrik ve neonatal cerrahide tüm anestezi sarf malzemelerinin tedarik aşamasından itibaren DEHP-içermeyen ürün olarak talep edilmesi; bölüm politikalarına yansıtılması gereken kurumsal bir standart haline getirilmelidir (SCENIHR, 2016).

Kanıtı dayalı pratik öneriler şöyle sıralanabilir: TIVA protokollerinde DEHP-içermeyen ya da düşük göçlü PE/PP setler tercih edilmeli; lipid emülsiyon ve propofol infüzyon süreleri gereksiz uzatılmamalı; KPB ve EKMO kurulumlarında mümkün olduğunda DEHP-içermeyen devre alternatifleri değerlendirilmeli; obstetrik anestezi birimlerinde epidural ve IV setler tedarik aşamasında DEHP içeriği açısından sorgulanmalı; pediatrik anestezi protokolleri güncel SCENIHR önerileri doğrultusunda düzenli biçimde gözden geçirilmeli ve mekanik ventilasyon devre değişim protokollerine DEHP maruziyeti değişkeni dahil edilmelidir. YBÜ'de klinik uygunluk mevcut olduğunda propofol yerine non-lipid bazlı alternatifler (deksmedetomidin, ketamin) tercih edilmelidir.

Kurumsal düzeyde anesteziyoloji ve reanimasyon klinikleri; tedarik politikalarını DEHP-içermeyen ürün tercihini yansıtacak biçimde güncellemeli, asistan, hemşire ve perfüzyonistlere DEHP riskine ilişkin periyodik eğitimler düzenlemeli ve biyogösterge (idrar MEHP, MEHHP) takibini araştırma protokollerine dahil etmeyi değerlendirmelidir. Perioperatif DEHP maruziyetini ve klinik sonuçları prospektif olarak değerlendiren çok merkezli çalışmalar; anesteziyoloji literatürüne kazandırılmasını bekleyen öncelikli araştırma alanları arasındadır.

DEHP-İçermeyen Alternatif Plastikleştiriciler ve Malzeme Seçenekleri

DEHP'e yönelik artan düzenleyici baskı ve klinik endişeler; alternatif plastikleştirici ve polimer geliştirme çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu alanda öne çıkan başlıca alternatifler; di(2-etilheksil) tereftalat (DEHT/DOTP), diizoononil sikloheksan-1,2-dikarboksilat (DINCH), n-butil-tri-n-heksil sitrat (BTHC), trimellit asit esterleri (TOTM) ve sitrat bazlı plastikleştiricilerdir. DEHP-içermeyen PVC'ye ek olarak poliolefin, poliüretan, silikon ve etilen vinil asetat (EVA) gibi polimer sınıflarına dayalı tüp ve ekipmanlar anestezi ve yoğun bakım alanında giderek yaygınlaşmaktadır (Bernard ve ark., 2015).

Her alternatifin kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları mevcuttur. DEHT; DEHP ile karşılaştırılabilir mekanik özellikler sunmakta, toksikolojik profili daha elverişli bulunmakta ve özellikle kan torbalarında eritrosit depolama kalitesini koruma açısından umut verici sonuçlar vermektedir. DINCH ise Avrupa'da yenidoğan yoğun bakım üniteleri ve pediatrik anestezi ekipmanlarında yaygın biçimde kullanılmaya başlanmış ve genel kabul gören bir alternatif haline gelmiştir. Bununla birlikte, DINCH'in birincil metaboliti olan monoisononil sikloheksan-1,2-dikarboksilat'ın (MINCH) uzun vadeli biyolojik etkileri henüz DEHP kadar kapsamlı biçimde araştırılmamıştır; mevcut bazı çalışmalar MINCH'in de PPAR yolakları üzerinde aktivite gösterebileceğini ileri sürmekte ve bu konuda ihtiyatlı bir yaklaşımın sürdürülmesini önermektedir (Bernard ve ark., 2015). Silikon ve poliolefin bazlı tüpler; DEHP göçü açısından en düşük riski sunarken belirli klinik uygulamalarda mekanik esneklik ve maliyet dezavantajları barındırabilmektedir.

Anesteziyoloji ve reanimasyon birimlerinde DEHP-içermeyen alternatiflere geçiş planlanırken; ürün uyumluluğu (ilaç-set etkileşimi), sterilizasyon dayanımı, mekanik özellikler ve maliyet-fayda dengesi çok boyutlu olarak değerlendirilmelidir. Bu

süreçte tıbbi cihaz yöneticileri, klinik eczacılar, perfüzyonistler ve tedarik birimiyle iş birliği yapan çok disiplinli bir yaklaşım; uzun vadeli geçiş planının hem güvenli hem de sürdürülebilir biçimde hayata geçirilmesine katkı sağlayacaktır. Mevcut alternatiflerin hiçbirinin DEHP'in tüm özelliklerini tam olarak karşılamadığı ve bu alandaki araştırma sürecinin devam ettiği göz önünde bulundurulduğunda; klinisyenlerin güncel literatürü takip etmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç

DEHP içeren PVC tıbbi tüpler ve infüzyon setleri; anesteziyoloji ve reanimasyon pratiğinin olağan koşullarında hastalara yüklediği, ancak klinik farkındalığı hâlâ yetersiz kalan kimyasal bir maruziyet riskini temsil etmektedir. Propofolün lipid emülsiyon yapısının DEHP göçünü artırması, KPB ve EKMO devrelerinin geniş yüzey alanı ve uzun kullanım süresi, reanimasyon hastasının eş zamanlı çok sayıda PVC kaynağına maruziyeti ve pediatrik ile obstetrik anestezide yaşa özgü kırılganlıkların yarattığı ek riskler; bu konunun anesteziyoloji perspektifinden sistematik biçimde ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Mevcut bilimsel kanıtlar; DEHP ve birincil metaboliti MEHP'in endokrin sistemi bozucu ve üreme sisteminde toksik etkilere sahip olduğunu, bu etkilerin yenidoğan, prematüre, obstetrik ve yoğun bakım hastalarında özellikle belirginleştiğini göstermektedir. Öte yandan DEHP'in eritrosit depolama kalitesini korumadaki paradoksal rolü; masif transfüzyon yönetimini içeren anestezi uygulamalarında konuya bütüncül bir risk-fayda çerçevesinden yaklaşılmasını gerektirmektedir. Yeni plastikleştirici alternatiflerin (DEHT, DINCH) güvenlik profillerine ilişkin uzun vadeli klinik verilerin henüz sınırlı olduğu da akılda tutulmalıdır.

Anesteziyoloji ve reanimasyon uzmanları; perioperatif süreçte tıbbi cihaz tercihlerini en yakından yöneten hekimler olarak

DEHP riskinin azaltılmasında birincil sorumluluk üstlenmektedir. TIVA protokollerinde DEHP-içermeyen set kullanımı, pediatrik ve obstetrik anesteziye güvenli ürün tercihi, reanimasyon birimlerinde kurumsal DEHP azaltma protokollerinin oluşturulması ve bu alanda prospektif klinik araştırmaların desteklenmesi; hasta odaklı, kanıta dayalı ve etik temelli bir anestezi pratiğinin temel bileşenleri olarak değerlendirilmelidir.

Kaynakça

European Chemicals Agency (ECHA). (2022). SVHC support document: Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). ECHA. <https://echa.europa.eu/documents/10162/b8eba0ab-fdcc-4a68-b5a3-2f60e26cb5b0>

Bernard, L., Décaudin, B., Lecoœur, M., Richard, D., Bourdeaux, D., Cueff, R., & Odou, P. (2015). Analytical methods for the determination of DEHP plasticizer alternatives present in medical devices: A review. *Talanta*, 135, 38–53. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.12.008>

Bornehag, C. G., & Nanberg, E. (2010). Phthalate exposure and asthma in children. *International Journal of Andrology*, 33(2), 333–345. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.2009.01023.x>

Gray, L. E., Ostby, J., Furr, J., Price, M., Veeramachaneni, D. N., & Parks, L. (2000). Perinatal exposure to the phthalates DEHP, BBP, and DINP, but not DEP, DMP, or DOTP, alters sexual differentiation of the male rat. *Toxicological Sciences*, 58(2), 350–365. <https://doi.org/10.1093/toxsci/58.2.350>

Green, R., Hauser, R., Calafat, A. M., Weuve, J., Schettler, T., Ringer, S., Huttner, K., & Hu, H. (2005). Use of di(2-ethylhexyl) phthalate-containing medical products and urinary levels of mono(2-ethylhexyl) phthalate in neonatal intensive care unit infants. *Environmental Health Perspectives*, 113(9), 1222–1225. <https://doi.org/10.1289/ehp.7932>

Koch, H. M., Bolt, H. M., & Angerer, J. (2004). Di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) metabolites in human urine and serum after a single oral dose of deuterium-labelled DEHP. *Archives of Toxicology*, 78(3), 123–130. <https://doi.org/10.1007/s00204-003-0521-x>

Loff, S., Kabs, F., Witt, K., Sartoris, J., Münch, H., Lambrecht, W., & Langendörfer, W. H. (2000). Polyvinylchloride infusion lines expose infants to large amounts of toxic plasticizers. *Journal of Pediatric Surgery*, 35(12), 1775–1781. <https://doi.org/10.1053/jpsu.2000.19249>

Plonait, S. L., Nau, H., Maier, R. F., Böttcher, M., & Obladen, M. (1993). Exposure of newborn infants to di-(2-ethylhexyl)-phthalate and 2-ethylhexanoic acid following exchange transfusion with erythrocyte concentrates. *Transfusion*, 33(7), 598–605. <https://doi.org/10.1046/j.1537-2995.1993.33793330070.x>

Roth, B., Herkenrath, P., Lehmann, H. J., Ohles, H. D., Hömig, H. J., Benz-Bohm, G., Schmücking, E., & Höffken, H. (1988). Di-(2-ethylhexyl)-phthalate as plasticizer in PVC respiratory tubing systems: Indications of hazardous effects on pulmonary function in mechanically ventilated, preterm infants. *European Journal of Pediatrics*, 147(1), 41–46. <https://doi.org/10.1007/BF00441889>

Sampson, J., & de Korte, D. (2011). DEHP-plasticised PVC: Relevance to blood services. *Transfusion Medicine*, 21(2), 73–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3148.2010.01056.x>

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. (2016). Final opinion on the safety of medical devices containing DEHP plasticized PVC or other plasticizers on neonates and other groups possibly at risk (2015 update). European Commission.

https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihhr_o_047.pdf

Swan, S. H., Main, K. M., Liu, F., Stewart, S. L., Kruse, R. L., Calafat, A. M., Mao, C. S., Redmon, J. B., Ternand, C. L., Sullivan, S., Teague, J. L., & Study for Future Families Research Team. (2005). Decrease in anogenital distance among male infants with

prenatal phthalate exposure. *Environmental Health Perspectives*, 113(8), 1056–1061. <https://doi.org/10.1289/ehp.8100>

Tickner, J. A., Schettler, T., Guidotti, T., McCally, M., & Rossi, M. (2001). Health risks posed by use of Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) in PVC medical devices: A critical review. *American Journal of Industrial Medicine*, 39(1), 100–111. [https://doi.org/10.1002/1097-0274\(200101\)39:1<100::AID-AJIM10>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1097-0274(200101)39:1<100::AID-AJIM10>3.0.CO;2-Q)

U.S. Food and Drug Administration. (2001). Safety assessment of di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) released from PVC medical devices. FDA. <https://www.fda.gov/media/71065/download>

AMELİYATHANEDE İLAÇ GÜVENLİĞİ

OĞUZHAN KARAYAKA¹

Giriş

İlaç hataları, sağlık hizmetlerinde önlenabilir hasta zararının en önemli nedenlerinden birini oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 2017 yılında başlattığı *Medication Without Harm* (Zararsız İlaç) girişimiyle ağır ve önlenabilir ilaç kaynaklı zararı azaltmayı küresel öncelik olarak tanımlamış (WHO, 2017); 2024 yılında yayımladığı politika özeti ise ilaç ilişkili zararın küresel hasta güvenliği yükünün en büyük bileşenlerinden biri olmayı sürdürdüğünü vurgulamıştır (WHO, 2024). Küresel düzeyde ilaç hatalarının yıllık ekonomik maliyetinin 42 milyar ABD dolarını aştığı ve bu hataların büyük çoğunluğunun önlenabilir nitelik taşıdığı bildirilmektedir (WHO, 2017).

Ameliyathane, bu riskin en yoğun biçimde yaşandığı klinik ortamlardan birini oluşturmaktadır. Aynı klinisyen kısa bir süre içinde onlarca farklı güçlü ilacı seçmek, hazırlamak, etiketlemek, uygulamak, belgelemek ve etkisini izlemek zorunda kalmaktadır. Yüksek hasta devir hızı, zaman baskısı, çok sayıda ilacın eş zamanlı

¹ Uzman Doktor, Van Özalp Devlet Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon. ORCID: 0000-0002-2660-5433

kullanımı, sözlü iletişimin yoğunluğu ve çok disiplinli ekip yapısı; hataların hem oluşmasını hem de tespit edilmesini zorlaştırmaktadır (ISMP, 2022). Perioperatif ilaç hatalarının önemli bir kısmının önlenabilir nitelik taşıdığı ve büyük bölümünün bireysel dikkatsizlikten değil, sistem tasarımındaki yapısal eksikliklerden kaynaklandığı artık yaygın biçimde kabul görmektedir (Stipp & ark., 2022).

Bu bölüm; anestezi uzmanları, cerrahlar, ameliyathane hemşireleri, anestezi teknisyenleri ve tüm perioperatif ekip üyelerini hedef alarak ilaç güvenliğini tanımlar, epidemiyoloji, hata mekanizmaları, yüksek riskli ilaçlar ve çok katmanlı önleme stratejileri çerçevesinde kapsamlı biçimde ele almaktadır. Nöromusküler bloke edici ajanlar ve traneksamik asit gibi güncel klinik güvenlik literatüründe öne çıkan kritik ilaç kategorilerine ve son dönem kılavuz güncellemelerine özel yer ayrılmaktadır.

Tanımlar ve Sınıflandırma

İlaç hatası, bir sağlık profesyonelinin ilaç tedavisinin herhangi bir aşamasında (reçete yazımı, doğrulama, hazırlama, etiketleme, dağıtım veya uygulama) yaptığı, önlenabilir nitelikteki yanlış eylem ya da ihmaldir (Wheeler & Wheeler, 2005). Advers ilaç olayı (adverse drug event-ADE) ise bir ilacın kullanımından kaynaklanan ve hasta zararıyla sonuçlanan her türlü olumsuz deneyimi kapsamakta; hem ilaç hatalarını hem de öngörülemeyen advers reaksiyonları birlikte içermektedir. İki kavram arasındaki ayrımın anlaşılması, güvenlik analizleri ve raporlama sistemleri açısından temel öneme sahiptir.

Yakın ıskalama, gerçekleşen ancak hastaya ulaşmadan fark edilen ya da tesadüfen zarar vermeden sonuçlanan hata durumunu ifade eder. Yüksek riskli ilaç ise hatalı kullanıldığında ciddi zarar ya da ölüme yol açma olasılığı yüksek olan ilaç gruplarını tanımlamak

için Güvenli İlaç Uygulamaları Enstitüsü (ISMP) tarafından kullanılan bir kavramdır (ISMP, 2024).

İlaç hataları klinik pratikte "Beş Doğru" ilkesinin (doğru ilaç, doğru doz, doğru yol, doğru hasta, doğru zaman) ihlali çerçevesinde sınıflandırılmaktadır. Son yıllarda "doğru dokümantasyon" da altıncı boyut olarak listeye eklenmektedir. Tablo 1 bu sınıflamayı ameliyathane örnekleriyle somutlaştırmaktadır.

Tablo 1. Ameliyathanede ilaç hata türleri ve örnekleri.

Hata Türü	Tanım	Ameliyathane Örneği
Yanlış ilaç	Farklı bir etkin maddenin uygulanması	Yanlış NMB ajana ulaşılması
Yanlış doz	Dozun üstünde/altında uygulama	Morfin mg yerine mcg bazlı hesaplama hatası
Yanlış yol	Hatalı uygulama yolundan verme	IV traneksamik asitin intratekal verilmesi
Yanlış hasta	Kimlik doğrulaması yapılmadan uygulama	Komşu salondaki hasta karışıklığı
Yanlış zaman	Kritik ilacın geciktirilmesi/öne alınması	Antibiyotiğin insizyon penceresi dışında verilmesi
Atlanan doz	Planlanan dozun hiç uygulanmaması	Tromboemboli profilaksisinin unutulması
Yanlış dokümantasyon	Eksik veya hatalı kayıt	Anestezi formuna eksik doz girişi

Kaynak: Yazar tarafından derlenmiştir.

Epidemiyoloji

Perioperatif ilaç hatalarının gerçek sıklığını saptamak; araştırmaların metodolojik heterojenliği ve hataların büyük bölümünün raporlanmaması nedeniyle güçlükler içermektedir (Stipp & ark., 2022). Nanji ve arkadaşlarının 277 cerrahi olguyu doğrudan gözleme dayalı prospektif çalışmasında yaklaşık her 20 perioperatif ilaç uygulamasından birinde ilaç hatası ve/veya advers ilaç olayı saptanmış; bildirilen 153 olayın 99'u ciddi, 51'i anlamlı, 3'ü ise yaşamı tehdit edici olarak sınıflandırılmıştır (Nanji & ark., 2016).

Anesteziye özgü en güncel epidemiyolojik veriler, web tabanlı Anestezi Olayı Raporlama Sistemi'nden (webAIRS) elde edilmektedir. Bu sistemin ilk 4000 ilaç hatası bildirimi üzerinde yapılan analizde en sık hata kategorileri sırasıyla yanlış doz (%29,4), substitüsyon/yanlış ilaç (%28,1) ve yanlış yol (%7,6) olarak saptanmış; katkıda bulunan başlıca faktörler arasında benzer görünümlü ilaçlar, yanlış bölmeye yerleştirme, yetersiz etiketleme, zaman baskısı, dikkat dağınıklığı ve yorgunluk öne çıkmıştır (Kim & ark., 2022). Bu veriler ilaç güvenliği sorununu bireysel dikkat kusurunun ötesinde ele alan sistem yaklaşımını güçlü biçimde desteklemektedir.

Yüksek Riskli İlaçlar ve Kritik Güvenlik Örnekleri

Güvenli İlaç Uygulamaları Enstitüsü'nün (Institute for Safe Medication Practices-ISMP) 2024 yılında güncellenen akut bakım yüksek riskli ilaç listesi, perioperatif pratiği doğrudan ilgilendiren birçok kategoriye kapsamakta ve önceki versiyona kıyasla dikkat çekici güncellemeler içermektedir (ISMP, 2024). Tablo 2'de özetlenen bu kategorilerin ortak yönetim ilkesi; her birinin ayrı depolama, belirgin uyarı etiketi ve özelleştirilmiş uygulama protokolü gerektirmesidir.

Tablo 2. Perioperatif pratikte öne çıkan ISMP 2024 yüksek riskli ilaç kategorileri.

Yüksek Riskli Kategori	Perioperatif Güvenlik Notu
NMB ajanları (tüm sınıf)	Ayrı depolama, uyarı etiketi, kantitatif monitörizasyon, antagonizasyon planı
Opioidler (IV, epidural, intratekal)	Doz ve yol hatası riski; epidural/intratekal için ayrı depo zorunluluğu
Konsantre elektrolitler	Seyreltilmemiş halde periferik birimde bulunmamalı
Antikoagülanlar (heparin, DMAH)	Kardiyak cerrahide ölümcül doz hatası potansiyeli
Traneksamik asit (2024 eklentisi)	Yanlış yol riski; lokal anesteziklerden tamamen ayrı tutulmalı

İnsülin	Ünite hataları ve konsantrasyon karışıklığı riski
Epidural/intratekal ilaçlar	Yol doğrulaması kritik; IV ilaçlarla fiziksel ayırıştırma şart

Kaynak: ISMP, 2024.

Nöromüsküler bloke edicilerde (NMBA) ‘Sınıf Bazlı Güvenlik Yaklaşımı’ uygulanmalıdır. Nöromüsküler bloke edici ajanlar, perioperatif ilaç güvenliğinde hata sıklığı ve sonuç ağırlığı bakımından öne çıkan en kritik ilaç sınıflarından birini oluşturmaktadır. 2023 ASA Nöromüsküler Blok Monitörizasyon ve Antagonizasyon Kılavuzu, NMBA verilen her hastada ekstübasyon öncesi kantitatif akseleromiografi ile dörtte-bir titreşim (TOF) oranının 0,9 veya üzerinde doğrulanmasını önermektedir (Thilen & ark., 2023). NMBA sınıfı için asgari güvenlik standartları: tüm ajanlar için ayrı depolama alanı ve belirgin uyarı etiketi; antagonizasyon protokolünün prosedür öncesi planlanması; ekstübasyon kararının kantitatif monitörizasyon verisine dayandırılmasıdır. Sugammadex’in mevcut olması, yanlış NMBA uygulamasının kabul edilebilir gelmemektedir (Thilen & ark., 2023). risk haline gelmesi anlamına

Ameliyathanede mutlak surette önlenabilir bir klinik trajedi ve sarsıcı bir sistem hatası örneği olarak tanımlanan traneksamik asitin yanlışlıkla nöraksiyel (intratekal veya epidural) uygulanması, günümüz tıp literatüründe en kritik "asla gerçekleşmemesi gereken olaylar" (Never Events) arasında sarsıcı bir yer tutmaktadır. Bu ölümcül hata; refrakter nöbet, ağır nörolojik hasar, kardiyak aritmi ve ölüme yol açabilmektedir. ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) 2025 yılında bu konuda resmi güvenlik uyarısı yayımlamış ve etiketleme değişikliğini zorunlu tutmuştur (FDA, 2025). Traneksamik asit ve lokal anesteziklerin fiziksel olarak tamamen ayırıştırılması; tercihen hazır IV torba formunda temin edilmesi gerekmektedir. Ampul formunun kullanıldığı durumlarda ise "IV YOLU İLE VERİLİR / NÖRAKSİYEL

VERİLMEZ" uyarısı ampule yapıştırılmalı ve bağımsız doğrulama protokolü uygulanmalıdır (FDA, 2025).

Tablo 3. Ameliyathanede öne çıkan, yazılışı, okunuşu ve görünüşü benzer (LASA) ilaç çiftleri ve potansiyel klinik sonuçları.

İlaç 1	Karışıklık Riski	Potansiyel Klinik Sonuç
Traneksamik asit	Bupivakain / Ropivakain	Nöbet, nörolojik hasar, ölüm
Efedrin	Adrenalin	Hipertansif kriz, aritmi
Morfin	Hidromorfon	Ağır solunum depresyonu
Fentanil	Sufentanil	Apne, aşırı doz
Bupivakain %0,5	Bupivakain %0,25	Sistemik toksisite riski

Kaynak: ISMP, 2022; FDA, 2025.

Etiketleme, Hazırlama ve Fiziksel Düzen

Perioperatif güvenlik kılavuzlarının en güçlü ortak önerisi; başka bir kaba aktarılan tüm ilaçların ve solüsyonların derhal etiketlenmesidir. Bu ilke steril saha dahil tüm prosedürel alanları kapsamakta olup The Joint Commission, ISMP ve İngiliz Anestezistler Derneği (Association of Anaesthetists) kılavuzlarının üzerinde mutabık olduğu bir çekirdek standarttır (Joint Commission, 2025; Kinsella & ark., 2023; ISMP, 2022). ISO 26825:2020 standardı ve Association of Anaesthetists 2022 şırınga etiketleme rehberine göre geçerli bir perioperatif şırınga etiketi; ilacın INN adını, güç/konsantrasyonunu, varsa dilüent ve dilüsyon oranını, hazırlayan klinisyeni tanımlayan bilgiyi ve uygun durumlarda hazırlama tarihi-saatini içermelidir (Association of Anaesthetists, 2022).

Renk kodlaması; ilaç sınıfını hızlı tanımlamada yararlı olmakla birlikte yalnızca ikincil bir görsel ipucudur ve klinisyenin ilaç adını ile konsantrasyonunu okuma yükümlülüğünü kaldırmaz (Kinsella & ark., 2023). İlaç arabasında tutarlı ve standart bir yerleşim düzeni benimsenmeli; yazılışı, okunuşu ve görünüşü benzer (LASA) ilaçlar fiziksel olarak ayrıştırılmalı, konsantre elektrolitler

seyreltilmemiş halde perioperatif birimlerde bulundurulmamalıdır (ANZCA, 2021). Hazır doldurulmuş ve önceden etiketlenmiş şırıngalar; acil kullanım için önceden hazırlanan ilaçlarda etiketleme ve dilüsyon hatalarını azaltmak açısından tercih edilmelidir (ISMP, 2022).

İnsan Faktörleri ve Hata Mekanizmaları

Cooper ve arkadaşlarının 1978'de yayımladığı tarihi çalışmada, anesteziadaki kritik olayların büyük çoğunluğunun insan kaynaklı faktörlerden kaynaklandığı gösterilmiş; bu bulgu sonraki onlarca yılda pek çok araştırmayla doğrulanmıştır (Cooper & ark., 1978). Modern hasta güvenliği yaklaşımı, insan hatasını bireysel bir kusur olarak değil, sistem tasarımının öngörülmesi ve desteklenmesi gereken kaçınılmaz bir unsur olarak ele almaktadır (AHRQ, 2024).

Bireysel faktörler arasında yorgunluk ve uyku yoksunluğu bilişsel performansı doğrudan etkilerken; dikkat bölünmesi, zaman baskısı ve otomasyon yanılgısı da hata riskini artıran başlıca etkenler arasındadır (Kim & ark., 2022). Ekip ve iletişim boyutunda sözlü emirlerdeki yanlış duyma riski, hiyerarşik baskı ve teslim/devir (handover) sürecindeki iletişim kopuklukları öne çıkmaktadır. Çevresel faktörler açısından ameliyathanenin yüksek arka plan gürültüsü, yetersiz aydınlatma ve ergonomik olmayan ilaç arabası düzeni de ilaç hatalarının önemli zemin hazırlayıcıları olarak tanımlanmaktadır.

Önleme Stratejileri

Teknolojik Katmanlar. Barkod tabanlı ilaç yönetim sistemleri, ilacın etkin maddesi, dozu ve son kullanma tarihini anlık doğrulamayı mümkün kılar. Maximous ve arkadaşlarının sistematik derlemesi, bu sistemlerin hata oranlarını azaltma kapasitesine sahip olmakla birlikte etkinliğinin sistemin gerçek kullanım oranına ve iş akışına entegrasyonuna bağımlı olduğunu ortaya koymuştur

(Maximous & ark., 2021). Merry ve arkadaşlarının prospektif randomize çalışmasında barkod ve elektronik kayıt içeren çok modlu sistemin hata kayıt doğruluğunu belirgin biçimde artırdığı gösterilmiştir (Merry & ark., 2011). Doz hata azaltma yazılımı içeren akıllı infüzyon pompaları; özellikle sürekli NMBA, opioid, vazoaaktif ve bölgesel anestezi infüzyonlarında güçlü biçimde önerilmektedir (ISMP, 2022; Thilen & ark., 2023). Uyarı yorgunluğu bu sistemlerin temel kısıtlılığı olup kütüphane tasarımının klinik gerçekliğe uyarlanması kritik önem taşımaktadır.

İnsan Odaklı Önlemler. Kapalı döngü iletişim ve geri-okuma (read-back) protokolü; sözlü ilaç emirlerinde emri alan kişinin ilacın adını, dozunu ve yolunu yüksek sesle tekrarlayarak onay alması ilkesine dayanmaktadır (ISMP, 2022). Bağımsız çift kontrol; seçilmiş yüksek riskli süreçler için tanımlanabilecek bir güvenlik önlemidir. Ancak Koyama ve arkadaşlarının 2020 sistematik derlemesi bu uygulamanın etkinliğinin sınırlı ve bağlama bağımlı olduğunu ortaya koymuş; en büyük sorunun kontrolün gerçekten bağımsız biçimde yapılmaması olduğunu göstermiştir (Koyama & ark., 2020). Bu nedenle bağımsız çift kontrol evrensel ve tartışmasız etkili bir önlem gibi sunulmamalı, gerçekten bağımsız uygulanması koşuluyla seçilmiş durumlar için önerilmelidir. Yerinde simülasyon (gerçek ameliyathanede, gerçek ekiple yapılan tatbikat) kurumsal sistem zayıflıklarını tespit etmek açısından özellikle değerlidir (ISMP, 2022).

Sistem Güvenliği Yaklaşımı ve Kurumsal Kültür

Reason'ın İsviçre Peyniri Modeli; hasta güvenliğini tehdit eden olayların tek bir hatanın değil, birden fazla savunma katmanının eş zamanlı delinmesinin ürünü olduğunu açıklamaktadır (Reason, 2000). Bu modele göre her güvenlik önlemi bir bariyer işlevi görür; ancak her bariyerin kendi açıklıkları vardır. İlaç hataları bu açıklıkların üst üste geldiği anlarda hastaya ulaşmaktadır.

Etiketleme, fiziksel ayırıştırma, teknoloji, protokol ve kültür katmanlarının bütünleşik uygulanması zorunludur.

Modern hasta güvenliği yaklaşımı, kültür yönetiminde "suçlamadan uzak ortam" yerine adil kültür kavramını esas almaktadır (AHRQ, 2024). Adil kültürde insan hatası (dikkat dağınıklığı, geçici unutma) bir sistem öğrenme fırsatı olarak ele alınır; bununla birlikte ihmal ve pervasız davranış açıkça ayırıştırılarak hesap verebilirlik çerçevesinde değerlendirilir (AHRQ, 2024). Adil kültürün pratik araçları; olay ve yakın ıskalama raporlama sistemi, kök neden analizi, periyodik güvenlik brifingleri ve geri bildirim döngüsünün ekiple paylaşılmasıdır.

Kontrol Listesi, Teslim/Devir Süreci ve Zamanlama Güvenliği

DSÖ Cerrahi Güvenlik Kontrol Listesi, ameliyathane ekibinin tamamını kapsayan sistematik bir doğrulama aracıdır ve ilaç güvenliği açısından da işlevsel bir platform oluşturmaktadır (WHO, 2009). Listede "Anestezi cihazı ve ilaç kontrolü tamamlandı mı?" sorusu, antibiyotik profilaksisi zamanlaması ve hasta alerjileri kontrolü; doğrudan ilaç güvenliğine hizmet eden maddeler arasındadır. Haynes ve arkadaşlarının küresel çok merkezli çalışması, kontrol listesinin doğru uygulanmasının perioperatif morbidite ve mortaliteyi anlamlı biçimde azalttığını kanıtlamıştır (Haynes & ark., 2009). Kontrol listesinin etkinliği; yalnızca mekanik onay işaretleri için değil, gerçek bir ekip duraksaması ve sözlü doğrulama için kullanılmasına bağlıdır.

Teslim/devir süreci (anestezi el değiştirme ve vardiya teslimi) ilaç güvenliğinin en kırılgan halkalarından birini oluşturmaktadır. Jaulin ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışma, yapılandırılmış teslim protokollerinin postanestezik komplikasyon oranlarını azaltma kapasitesini ortaya koymuştur (Jaulin & ark., 2021). Anestezi devir tesliminde ilaç güvenliği açısından zorunlu bilgi alanları şunlardır: hava yolu ve entübasyon detayları, bilinen

alerjiler, son antibiyotik dozu ve yeniden doz (redoz) gereksinimi, devam eden tüm infüzyonlar, uygulanan opioidler, nöromüsküler blok durumu ile antagonizasyon planı/kanıtı ve hemodinamik olaylar (Jaulin & ark., 2021; ANZCA, 2020).

Cerrahi antimikrobiyal profilaksi; ilaç güvenliğinin zamanlama boyutunun en kapsamlı biçimde belgelenmiş örneğini oluşturmaktadır. Güncel kılavuzlara göre çoğu antibiyotik cilt insizyonundan önceki 60 dakika içinde uygulanmalı; vankomisin ve florokinolonlar ise uzun infüzyon süreleri nedeniyle 120 dakika içinde başlatılmalıdır (Bratzler & ark., 2013). Uzun süren cerrahilerde yeniden doz protokolü uygulanmalı; bu sorumluluk cerrah, anesteziist ve hemşireler tarafından paylaşarak kontrol listesinde açıkça doğrulanmalıdır.

Perioperatif Ekip Üyelerinin Roller

İlaç güvenliği yalnızca ilacı uygulayan kişinin sorumluluğu değildir; tüm perioperatif ekip bu sürecin aktif bir parçasını oluşturmaktadır (ISMP, 2022). Tablo 4'te özetlenen rol dağılımı bu çok disiplinli sorumluluğu somutlaştırmaktadır.

Tablo 4. Perioperatif ekip üyelerinin ilaç güvenliğindeki temel rolleri.

Rol	İlaç Güvenliğindeki Temel Sorumluluklar
Anesteziist	Seçim, hazırlama, etiketleme, uygulama, kantitatif NMB monitörizasyonu, teslim/devir bildirimi
Anestezi teknisyeni	Hazırlama desteği, etiket doğrulaması, bağımsız çift kontrol, stok yönetimi
Ameliyathane hemşiresi	Hasta kimlik doğrulaması, alerji sorgulama, steril saha ilaç etiketleme
Cerrah	Antibiyotik profilaksisi takibi, sözlü emirlerde geri-okuma beklentisi, kontrol listesi uyumu
Klinik eczacı	İlaç-ilac etkileşim değerlendirmesi, doz doğrulama, protokol geliştirme ve eğitime katkı

Kaynak: ISMP, 2022.

Sonuç

Ameliyathanede ilaç güvenliği; bireysel dikkatten çok sistem tasarımına, tek bir önlemden çok katmanlı bütünleşik stratejilere ve bireysel suçlamadan çok adil örgütsel kültüre dayanan karmaşık bir alandır. Mevcut kanıtlar, hiçbir tek müdahalenin tüm hataları engelleyemediğini; en iyi sonuçların standart etiketleme, fiziksel ayrıştırma, teknoloji, protokol ve kültür katmanlarının birlikte uygulanmasıyla alındığını tutarlı biçimde ortaya koymaktadır (ISMP, 2022; Maximous & ark., 2021).

2023 ASA NMBA kılavuzu, ISMP 2024 yüksek riskli ilaç listesi ve FDA'nın traneksamik asit güvenlik uyarısı; ameliyathane ilaç güvenliği gündemini yeniden şekillendiren en kritik güncel belgelerdir. Kantitatif nöromusküler monitörizasyon standardının rutin uygulamaya girmesi ve traneksamik asit ile lokal anesteziklerin fiziksel olarak tamamen ayrıştırılması; bugün ilaç güvenliğinde en öncelikli iki eylem noktası olarak öne çıkmaktadır (Thilen & ark., 2023; FDA, 2025). Perioperatif ilaç güvenliğine yapılan her kurumsal yatırım, önlenebilir zararı azaltmakta; hem hastanın hem de sağlık çalışanlarının korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda ilaç güvenliği; bireysel bir erdem değil, kurumsal bir yükümlülük olarak benimsenmelidir.

Kaynakça/References

- AHRQ. (2024). *Culture of safety*. (17/05/2026 tarihinde <https://psnet.ahrq.gov/primer/culture-safety> adresinden ulaşılmıştır).
- ANZCA. (2020). *PS53(A) Position statement on the handover responsibilities of the anaesthetist*. ANZCA.
- ANZCA. (2021). *PG51(A) Guideline for the safe management and use of medications in anaesthesia*. ANZCA.
- Association of Anaesthetists. (2022). *Syringe labelling in anaesthesia and critical care areas review*. Association of Anaesthetists.
- Bratzler, D. W., Dellinger, E. P., Olsen, K. M., Perl, T. M., Auwaerter, P. G., Bolon, M. K., Fish, D. N., Napolitano, L. M., Sawyer, R. G., Slain, D., Steinberg, J. P. & Weinstein, R. A. (2013). Clinical practice guidelines for antimicrobial prophylaxis in surgery. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 70(3), 195-283. doi:10.2146/ajhp120568
- Cooper, J. B., Newbower, R. S., Long, C. D. & McPeck, B. (1978). Preventable anesthesia mishaps: A study of human factors. *Anesthesiology*, 49(6), 399-406. doi:10.1097/00000542-197812000-00004
- FDA. (2025). *FDA provides update about the risk of inadvertent intrathecal administration of tranexamic acid injection and requires labeling changes*. (17/05/2026 tarihinde <https://www.fda.gov/drugs/drug-safety-and-availability/fda-provides-update-health-care-professionals-about-risk-inadvertent-intrathecal-spinal> adresinden ulaşılmıştır).
- Haynes, A. B., Weiser, T. G., Berry, W. R., Lipsitz, S. R., Breizat, A. H., Dellinger, E. P., Herbosa, T., Joseph, S., Kibatala, P. L.,

- Lapitan, M. C., Merry, A. F., Moorthy, K., Reznick, R. K., Taylor, B. & Gawande, A. A. (2009). A surgical safety checklist to reduce morbidity and mortality in a global population. *New England Journal of Medicine*, 360(5), 491-499. doi:10.1056/NEJMsa0810119
- ISMP. (2022). *2022 ISMP guidelines for safe medication use in perioperative and procedural settings*. ISMP. (17/05/2026 tarihinde <https://www.ismp.org/resources/guidelines-safe-medication-use-perioperative-and-procedural-settings> adresinden ulaşılmıştır).
- ISMP. (2024). *ISMP list of high-alert medications in acute care settings*. ISMP. (17/05/2026 tarihinde <https://www.ismp.org/resources/guidelines-safe-medication-use-perioperative-and-procedural-settings> adresinden ulaşılmıştır).
- ISO. (2020). *ISO 26825:2020 — Anaesthetic and respiratory equipment: User-applied labels for syringes containing drugs used during anaesthesia*. ISO.
- Jaulin, F., Aubrun, F., Fellahi, J. L., Fischler, M., Gueret, G., Longrois, D., Meistelman, C., Riou, B. & Stephan, F. (2021). The postanaesthesia team handover trial. *British Journal of Anaesthesia*. doi:10.1016/j.bja.2021.05.034
- Joint Commission. (2025). *National patient safety goals effective January 2025 for the hospital program (NPSG.03.04.01)*. The Joint Commission.
- Kim, J. Y., Moore, M. R., Culwick, M. D., Hannam, J. A., Webster, C. S. & Merry, A. F. (2022). Analysis of medication errors during anaesthesia in the first 4000 incidents reported to webAIRS. *Anaesthesia and Intensive Care*, 50(3), 204-219. doi:10.1177/0310057X211027578

- Kinsella, S. M., Boaden, B., El-Ghazali, S., Ferguson, K., Kirkpatrick, G., Meek, T., Misra, U., Pandit, J. J. & Young, P. J. (2023). Handling injectable medications in anaesthesia: Guidelines from the Association of Anaesthetists. *Anaesthesia*, 78(10), 1285-1294. doi:10.1111/anae.16095
- Koyama, A. K., Maddox, C. S., Li, L., Bucknall, T. & Westbrook, J. I. (2020). Effectiveness of double checking to reduce medication administration errors: A systematic review. *BMJ Quality & Safety*, 29(7), 595-603. doi:10.1136/bmjqs-2019-009552
- Maximous, R., Wong, J., Chung, F. & Abrishami, A. (2021). Interventions to reduce medication errors in anesthesia: A systematic review. *Canadian Journal of Anesthesia*. doi:10.1007/s12630-021-01959-7
- Merry, A. F., Webster, C. S., Hannam, J., Mitchell, S. J., Henderson, R., Reid, P., Edwards, K. E., Jardim, A., Pak, N., Cooper, J., Hopley, L., Frampton, C. & Short, T. G. (2011). Multimodal system designed to reduce errors in recording and administration of drugs in anaesthesia: Prospective randomised clinical evaluation. *BMJ*, 343, d5543. doi:10.1136/bmj.d5543
- Nanji, K. C., Patel, A., Shaikh, S., Seger, D. L. & Bates, D. W. (2016). Evaluation of perioperative medication errors and adverse drug events. *Anesthesiology*, 124(1), 25-34. doi:10.1097/ALN.0000000000000904
- Reason, J. (2000). Human error: Models and management. *BMJ*, 320(7237), 768-770. doi:10.1136/bmj.320.7237.768
- Stipp, M. M., Deng, H., Kong, K., Moore, S., Hickman, R. L. Jr. & Nanji, K. C. (2022). Medication safety in the perioperative setting: A comparison of methods for detecting medication

- errors and adverse medication events. *Medicine (Baltimore)*, 101(44), e31432. doi:10.1097/MD.00000000000031432
- Thilen, S. R., Weigel, W. A., Todd, M. M., Dutton, R. P., Lien, C. A., Grant, S. A., Szokol, J. W., Eriksson, L. I., Yaster, M., Grant, M. D., Agarkar, M., Marbella, A. M., Blanck, J. F. & Domino, K. B. (2023). 2023 American Society of Anesthesiologists practice guidelines for monitoring and antagonism of neuromuscular blockade. *Anesthesiology*, 138(1), 13-41. doi:10.1097/ALN.0000000000004379
- Wheeler, S. J. & Wheeler, D. W. (2005). Medication errors in anaesthesia and critical care. *Anaesthesia*, 60(3), 257-273. doi:10.1111/j.1365-2044.2004.04062.x
- WHO. (2009). *Implementation manual: WHO surgical safety checklist*. WHO.
- WHO. (2017). *Medication without harm: WHO global patient safety challenge*. WHO. (17/05/2026 tarihinde <https://www.who.int/initiatives/medication-without-harm> adresinden ulaşılmıştır).
- WHO. (2024). *Medication without harm: Policy brief*. WHO.

AMELİYATHANEDE HİPOTERMİ VE ÖNLEME YÖNTEMLERİ

BÜŞRA ŞABANO³

Giriş

Perioperatif hipotermi, ameliyathane ortamında karşılaşılan en sık komplikasyonlardan biri olmakla birlikte, hâlâ en az izlenen vital parametre olma özelliğini korumaktadır (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Sessler, 2016).

Vücut ısısı, hipotalamus tarafından 36°C ile 37,5°C arasında dar bir aralıkta sıkı biçimde düzenlenmektedir (Hernández-Alcázar ve ark., 2024). Bilinçli bir bireyde termoregülasyon; afferent yolak, merkezi düzenleme ve efferent yolak aracılığıyla gerçekleşir. Efferent yolak, davranışsal yanıtları (giyinme, ısınma) ve otonom yanıtları kapsar. Davranışsal termoregülasyon, en güçlü mekanizma olmakla birlikte bireyin bilinçli olmasını zorunlu kılar (Sessler, 2016).

Hipoterminin tanımı, çekirdek (kor) vücut ısısının 36°C'nin altına düşmesi olarak kabul edilmektedir (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Gebeyehu ve ark., 2021). Klinik şiddetine göre

³ Uzman Doktor, Van Özalp Devlet Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Bölümü. ORCID: 0000-0001-6937-7824

hipotermi; hafif (34–36°C), orta (32–34°C) ve ağır (<32°C) olarak sınıflandırılır (Hernández-Alcázar ve ark., 2024).

Perioperatif dönemde hipotermiye yol açan temel mekanizmalar; anestezinin termoregülatuar eşikleri bozması, soğuk ameliyathane ortamına maruz kalma ve periferik ısı yeniden dağılımıdır (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Sessler, 2016). Genel anestezi altındaki hastalarda titreme eşiği yaklaşık 1°C, vazokonstriksiyon eşiği ise 2–4°C düşmektedir (Bindu ve ark., 2017). Bu durum vücut ısısının kontrolsüz biçimde azalmasına zemin hazırlar.

Uluslararası veriler, perioperatif hipotermisinin hastaların %50 ila %90'ını etkilediğini ortaya koymaktadır (Ji ve ark., 2024; Munday ve ark., 2023). Bu yüksek insidans, yalnızca hasta konforunu bozmakla kalmayıp kardiyak komplikasyonlar, cerrahi alan enfeksiyonları, koagülopati ve uzamış derlenme süresi gibi ciddi morbiditelere de yol açmaktadır (Sessler, 2000; Kurz ve ark., 1996).

Bu bölümde, ameliyathanede hipotermisinin fizyopatolojisi, risk faktörleri, klinik sonuçları ve güncel önleme stratejileri kanıta dayalı literatür eşliğinde ele alınacaktır.

Fizyopatoloji ve Anestezinin Termoregülasyon Üzerine Etkileri

Normal Termoregülasyon

Hipotalamus, merkezi termostatik bir işlev görerek gelen sıcaklık sinyallerini entegre eder ve efferent yanıtları koordine eder. Hipotermi durumunda hipotalamus iki temel mekanizma aracılığıyla yanıt verir: bunlardan ilki tiroid hormonları (T3/T4), norepinefrin ve titreme yoluyla metabolizmayı artırmak; ikincisi ise periferik vazokonstriksiyon aracılığıyla ısı kaybını azaltmaktır (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Sessler, 2016).

İnsan vücudunda ısı transferi dört fiziksel mekanizma ile gerçekleşir. En büyük payı yaklaşık %60 ile radyasyon oluştururken, bunu %25–30 oranıyla konveksiyon izler; kondüksiyon %3–5, evaporasyon ise %10–15 düzeyinde katkı sağlar. Ameliyathane ortamında konvektif ve radyatif ısı kayıpları baskın durumdadır (Bindu ve ark., 2017).

Anestezi Altında Hipotermi Fazları

Genel anestezi altında hipotermi, birbirini izleyen üç aşamada gelişir: (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Sessler, 2016; Bindu ve ark., 2017)

- Faz I – Yeniden Dağılım (Redistribüsyon): Anestezi indüksiyonunun ardından ilk 1 saat içinde, anestezik ajanların santral termoregülatuar sistemleri baskılaması sonucunda periferden merkeze yönelik vazodilatasyon gelişir. Bu dönemde periferik dokulardan merkeze ısı transferi engellenerek kor sıcaklıkta 1–3°C'lik bir düşüş gözlemlenir. Bu fazın kendisi tam anlamıyla ısı kaybını değil, ısının yeniden dağılımını yansıtır.
- Faz II – Isı Kaybı: Yaklaşık 1–4 saat süren bu fazda, metabolik ısı üretimi ile çevresel ısı kaybı arasında dengesizlik oluşur. Metabolik üretim, soğuk ameliyathane ortamına bağlı artan ısı kaybının gerisinde kalır ve kor sıcaklık doğrusal biçimde düşmeye devam eder.
- Faz III – Plato: Kor sıcaklık 33–35°C'ye gerilediğinde, termoregülatuar vazokonstriksiyon devreye girerek ısı kaybını kısmen kısıtlar ve sıcaklık sabitlenmeye başlar. Uzun süreli ameliyatlarda bu denge 3–4. saatlerden itibaren kurulabilir; ancak aktif ısıtma uygulanmadığı

durumlarda plato çoğunlukla normoterminin oldukça altında gerçekleşmektedir.

Rejyonel Anestezi ve Hipotermi

Spinal ve epidural anestezi, sempatik blok ve motor blok aracılığıyla termoregülasyonu belirgin biçimde bozar. Sempatik blokaj periferik vazodilatasyon ve titreme baskılanmasına yol açarken, blok altındaki bölgeden gelen afferent sıcaklık sinyalleri santrale iletilmemekte; bu durum hipotalamik yanıtı sekteye uğratmaktadır (Bindu ve ark., 2017). Rejyonel anestezi altında gelişen hipotermi, anestezi düzeyi ve blok yüksekliğiyle orantılıdır.

Risk Faktörleri

Perioperatif hipoterminin gelişimi; hasta, anestezi ve cerrahi-çevresel faktörlerin etkileşimiyle belirlenir (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Gebeyehu ve ark., 2021; Ji ve ark., 2024).

Hasta Kaynaklı Risk Faktörleri

İleri yaş, hipoterminin en belirgin bağımsız risk faktörlerinden biridir. Yaşlı bireylerde termoregülatuar yanıt kapasitesi azalmakta, metabolik ısı üretimi düşmekte ve yağ doku kaybı nedeniyle yalıtım azalmaktadır. Birden fazla çalışma, 65 yaş üzeri hastalarda intraoperatif hipotermi insidansının genç yetişkinlere kıyasla belirgin şekilde daha yüksek olduğunu göstermiştir (Ji ve ark., 2024; Frisch ve ark., 2017).

Diğer hasta kaynaklı risk faktörleri şunlardır:

- Düşük vücut kitle indeksi (Yetersiz yağ doku izolasyonu)
- Kadın cinsiyet (Erkeklere kıyasla daha düşük bazal metabolizma hızı)
- Preoperatif hipotermi ya da düşük başlangıç kor sıcaklığı (<36°C)

- Diyabetes mellitus ve periferik vasküler hastalık (Bozulmuş vazomotor yanıt)
- Yanık ve deri hastalıkları (Artmış evaporatif kayıp)
- Hipotiroidizm ve diğer metabolik bozukluklar
- Ağır veya ASA III–IV düzey komorbidite

Anestezi Kaynaklı Risk Faktörleri

Tüm volatil anestezikler (izofluran, sevofluran, desfluran) ve intravenöz ajanlar (propofol, opioidler) termoregülatuar eşikleri doza bağımlı biçimde baskılar. Propofol, vazokonstriksiyon ve titreme eşiklerini doğrusal olarak düşürmektedir (Bindu ve ark., 2017).

Uzun operasyon süresi, hipotermiye maruziyeti uzatan bağımsız bir risk faktörüdür. Genel anestezi süresi 60 dakikayı aştığında, önlem alınmadığı koşullarda neredeyse tüm hastalarda hipotermi beklenmektedir (Gebeyehu ve ark., 2021).

Büyük hacimli, soğuk intravenöz sıvı ve kan ürünü transfüzyonu kor sıcaklığında anlamlı düşüşe neden olabilir. Her bir litre oda sıcaklığında (%21–22°C) kristaloid solüsyon, kor sıcaklığı yaklaşık 0,25°C düşürmektedir (Sessler, 2000).

Cerrahi ve Çevresel Risk Faktörleri

Ameliyathane ortam sıcaklığı hipotermi gelişiminde kritik bir belirleyicidir. Standart ameliyathane sıcaklıkları (19–22°C) hasta konforu için değil, cerrahi ekibin konforu için optimize edilmiştir. Karın ve göğüs boşluklarının açılması, büyük yüzey alanı nedeniyle radyatif ve konvektif ısı kaybını önemli ölçüde artırır (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Sessler, 2016).

Laparoskopik ve robotik cerrahilerde kullanılan soğuk, nemlendirilmemiş CO₂ gazı da ek bir ısı kaybı kaynağı

oluşturmaktadır. Açık abdominal ve torasik girişimler, minör cerrahilere kıyasla çok daha yüksek hipotermi riskine sahiptir (Gebeyehu ve ark., 2021; Ji ve ark., 2024).

Perioperatif Hipoterminin Klinik Sonuçları

Kardiyovasküler Etkiler

Perioperatif hipotermi, kardiyovasküler sistem üzerinde ciddi ve yaşamı tehdit edebilecek etkiler bırakmaktadır. Postoperatif dönemdeki artmış sempatoadrenerjik aktivasyon, miyokard oksijen tüketimini artırır ve miyokardiyal iskemi riskini yükseltir. Normoterminin korunmasının majör kardiyak olayları azalttığına dair veriler mevcuttur (Frank ve ark., 1997).

Hipotermi, QT intervali uzaması, bradikardi ve çeşitli ritim bozukluklarına yol açabilmektedir. Ağır hipotermide (32°C altı) ventriküler fibrilasyon riski belirgin biçimde artmaktadır. Kardiyak cerrahi dışı büyük operasyonlarda intraoperatif hipoterminin postoperatif pulmoner komplikasyonlarla da ilişkili olduğu saptanmıştır (Liu ve ark., 2026).

Koagülopati ve Artmış Kanama

Koagülasyon faktörleri, optimal işlevlerini belirli bir sıcaklık aralığında göstermektedir. Hipotermi, enzim kinetiğini bozarak pıhtılaşma faktör aktivitesini azaltır ve koagülopatiyeye yol açar. Bu mekanizmayla artmış kan kaybı, koagülasyon faktörü tüketimini daha da kötüleştirir ve kısır bir döngüye neden olur (Sessler, 2000).

Hipotermiye bağlı koagülopati, tüm cerrahi popülasyonlarda artmış transfüzyon gereksinimi ile sonuçlanmaktadır. Kardiyak cerrahide hipoterminin yeniden eksplorasyona yol açan kanamayı bağımsız olarak yükselttiği retrospektif verilerle gösterilmiştir (Shou ve ark., 2024).

Cerrahi Alan Enfeksiyonu (CAE)

Perioperatif hipotermi, doku oksijen sunumunu azaltarak ve nötrofil işlevini bozarak cerrahi alan enfeksiyonu (CAE) riskini artırmaktadır. Vazokonstriksiyona bağlı yetersiz doku perfüzyonu, yara bölgesinde oksijen kısıtlılığını derinleştirmekte ve fırsatçı mikroorganizmaların çoğalmasına uygun ortam oluşturmaktadır (Ju ve ark., 2024).

Ju ve ark. (2024) tarafından gözlemsel çalışmaların meta-analizi, intraoperatif hipotermi'nin CAE gelişimi ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu ilişki, kolorektal, ortopedik ve torasik cerrahilerde özellikle belirgindir (Ju ve ark., 2024).

Titreme ve Termal Konfor

Postoperatif titreme, termoregülatuar vazokonstriksiyon ile birlikte gelişen ve metabolik ısı üretimini artırmayı amaçlayan istem dışı bir yanıttır. Titreme, oksijen tüketimini %40–400 oranında artırabilir; bu durum miyokard isteminde artışa ve solunum yetmezliğine zemin hazırlayabilir. Aynı zamanda ameliyat sonrası en sık karşılaşılan şikâyetlerden biri olan termal konfor bozukluğu, hasta memnuniyetini ciddi biçimde olumsuz etkilemektedir (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Sessler, 2016).

Diğer Klinik Sonuçlar

Perioperatif hipotermi ile birlikte ilaç metabolizması yavaşlamakta; kas gevşeticilerin etkisi uzamakta ve anestezi ajanları dokularda birikmektedir. Bunların yanı sıra postanestezi bakım ünitesinde (PABÜ) ve hastanede kalış süresi uzamakta, yara iyileşmesi gecikmekte ve mortalite riski artmaktadır (Gebeyehu ve ark., 2021; Ji ve ark., 2024).

Sıcaklık İzleminin Önemi ve Yöntemleri

Kanıtı dayalı kılavuzlar, tüm perioperatif süreç boyunca aktif kor sıcaklık izlemini zorunlu kılmaktadır (Munday ve ark., 2023). Bununla birlikte, perioperatif sıcaklık izlemi hâlâ en yetersiz uygulanan klinik protokollerden biri olmaya devam etmektedir (Ji ve ark., 2024).

Kor Sıcaklık Ölçüm Bölgeleri

Pulmoner artere yerleştirilen kateter, kor sıcaklığın ölçümünde altın standart olmakla birlikte, rutin ameliyathanede invazivliği nedeniyle kullanımı kısıtlıdır (Mäkinen ve ark., 2023).

Pratik kor sıcaklık ölçüm bölgeleri ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- Nazofarinks: Genel anestezi altında en sık tercih edilen bölgelerden biridir. Probun 10–20 cm ilerlediğinde hipotalamik sıcaklığa yakın güvenilir ölçümler sağlar; özofageal proba karşılaştırıldığında ortalama sapma 0,02°C düzeyindedir.
- Özefagus: Maksimum kalp sesi üzerinde ya da daha distalde konumlandırıldığında yüksek güvenilirlik sunar. Özofageal problemlerin çoğunlukla özofageal stetoskopta birleştirilmiş formu kullanılır.
- Timpanik membran: Sürekli izlem için özel prob gerektirmektedir. Kızılötesi termometre ile kesintisiz izlem sağlamak mümkün değildir; bu amaçla tasarlanan termistör problemler ümit verici sonuçlar vermektedir.
- Mesane: Üretral kateter yoluyla ölçüm yapılır; idrar akışı ölçüm güvenilirliğini etkileyebilir.
- Aksilla: Prob aksiller arterin üzerine konumlandırıldığında kabul edilebilir güvenilirlik sunar;

ancak zorla ısıtma sistemleri (FAW) kullanan hastalarda ölçümün güvenilirliği düşmektedir.

- Zero-heat flux (sıfır ısı akısı) cihazlar: Non-invaziv kor sıcaklık ölçümüne olanak tanıyan bu teknoloji, özellikle HIPEK prosedürleri gibi karmaşık girişimlerde özofageal proba karşılaştırılabilir doğruluk sağlamaktadır.

Kılavuzlar; hafif hipotermide (34–36°C) 15 dakika, orta hipotermide (32–34°C) 5 dakika, ağır hipotermide (<32°C) ise sürekli aralıklarda sıcaklık izlemi önermektedir (Gebeyehu ve ark., 2021).

Hipotermiyi Önleme Yöntemleri

Güçlü kanıtlar, normoterminin korunmasında preoperatif ön ısıtmayı (prewarming), intraoperatif aktif ısıtmayı ve sıvı ısıtmayı kapsayan çok bileşenli bir yaklaşımın en etkin strateji olduğunu desteklemektedir (Gebeyehu ve ark., 2021; Munday ve ark., 2023; Ucak ve ark., 2024).

Pasif Isıtma Yöntemleri

Pasif ısıtma yöntemleri, dış ortamdan ısı sunmak yerine var olan vücut ısısının kaybını azaltmayı hedefler. Bu yöntemler tek başlarına normotermiyi korumak için yetersiz olmakla birlikte, aktif ısıtmayla kombine edildiğinde katkı sağlarlar (Gebeyehu ve ark., 2021).

- Isıtıcı battaniye ve örtüler: Pamuklu, yünlü ya da ısı yansıtıcı özel materyallerden üretilmiş örtüler, öncelikle cerrahi alanı kapatmak için kullanılır.
- Ameliyathane sıcaklığının artırılması: Ortam sıcaklığını 23°C'nin üzerine çıkarmak ısı kaybını azaltmakta, ancak cerrahi ekip için termal rahatsızlık oluşturmaktadır.

- Dış yüzey örtme stratejileri: Cerrahiye dahil olmayan tüm vücut bölgelerinin örtülmesi, konvektif ve radyatif ısı kaybını belirgin biçimde kısıtlar.

Aktif Isıtma Yöntemleri

Üflelemeli Sıcak Hava Isıtma Sistemleri (Forced Air Warming – FAW): FAW, perioperatif hipotermi önlenmesinde en yaygın kullanılan ve en güçlü kanıta sahip aktif ısıtma yöntemidir (Hernández-Alcázar ve ark., 2024; Munday ve ark., 2023; Ucak ve ark., 2024). Cihaz, hasta üzerine serilen özel battaniyeye ısıtılmış hava kanallar aracılığıyla ileterek konvektif ısı transferi sağlar. Hem preoperatif hem de intraoperatif dönemde kullanılabilir.

Sistematik bir derleme ve meta-analiz çalışması (Ucak ve ark., 2024), preoperatif ön ısıtmanın (prewarming) perioperatif normotermi sağlanmasında ve sürdürülmesinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymuştur (Ucak ve ark., 2024).

FAW ayar sıcaklığına ilişkin güncel çalışmalar, postoperatif hipotermi tedavisinde ilk aşamada 42°C'ye ayarlayıp normotermi sağlandıktan sonra 38°C'ye indirme protokolünün (Grup F2) daha etkin bir ısıtma süreci sağladığını göstermektedir (Limprasert ve Apidechakul, 2026).

Yaşlı hastalarda yürütülen bir çalışmada (Wang ve ark., 2022), anestezi indüksiyonunun ardından ilk saatte yüksek ayarda (42°C) başlanıp daha sonra 38°C'ye düşürülen FAW protokolünün intraoperatif hipotermi riskini anlamlı ölçüde azalttığı bildirilmiştir (Wang ve ark., 2022).

Elektrikli Direnç Battaniyeleri (Electric Resistance Blankets): Elektrikli ısıtılabilir battaniyeler, iletimle (kondüksiyon) ısı transferi sağlayan alternatif bir aktif ısıtma yöntemidir. FAW kadar yaygın olmamasına karşın, ameliyat pozisyonuna bağlı FAW kullanımının kısıtlı olduğu durumlarda etkili bir alternatif

sunmaktadır. Cilt yanığı riski nedeniyle düşük ısı ayarlarında ve düzenli kontrollerle kullanılması gerekmektedir (Gebeyehu ve ark., 2021).

Sirkülasyonlu Su Gömleği Sistemleri (Water Mattress): Sirkülasyonlu ılık su içeren mat sistemler, kondüksiyon yoluyla ısı transferi sağlar. Ameliyat masasına serilen mat, subkutan alana direkt ısı iletimi sunar ve özellikle dorsal alanlara FAW'ın uygulanamadığı pozisyonlarda değerli bir seçenektir. İntraoperatif kullanımda kondüksiyonla ısı transferi konveksiyona kıyasla daha az etkin olabilir (Frisch ve ark., 2017).

Preoperatif Ön Isıtma (Prewarming)

Prewarming, anestezi indüksiyonundan 30–60 dakika önce FAW sistemiyle yapılan aktif ısıtma uygulamasıdır. Temel amacı, periferik dokuların ısı kapasitesini artırarak anestezi sonrası gelişecek yeniden dağılım fazını (Faz I) zayıflatmaktır (Ucak ve ark., 2024; Kim ve ark., 2024).

Preoperatif ısıtmanın önemi belgelenmiş olsa da en uygun süre henüz tartışmalıdır. Mevcut randomize kontrollü çalışmalar, 10 dakikalık kısa süreli prewarming'in bile intraoperatif hipotermi insidansını anlamlı ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır (Kim ve ark., 2024). Öte yandan en az 30 dakikalık prewarming, intraoperatif hipotermi yüküne (hipotermi-süre eğri altı alan) karşı daha güçlü koruma sağlamaktadır (Oh ve ark., 2023).

Pratikte prewarming uygulamasının önündeki en önemli engeller şunlardır: sigorta kapsamı yetersizliği, kaynak kısıtlılığı, zaman baskısı ve tutarsız teknoloji erişimi (Campbell ve ark., 2015).

İntravenöz Sıvı Isıtma

İntravenöz sıvı ve kan ürünü ısıtması, perioperatif hipotermi önlenmesinde güvenli ve tamamlayıcı bir yöntemdir. Her biri oda sıcaklığında verilen 1 litre kristaloid, kor sıcaklığı

yaklaşık 0,25°C düşürmektedir; bu etki büyük hacimli resüsitasyon gereken olgularda kümülatif olarak klinik anlam kazanır (Sessler, 2000).

Güncel kılavuzlar, tüm intravenöz sıvıların 37°C'ye ısıtılarak verilmesini önermektedir. Özellikle 500 mL'yi aşan sıvı infüzyonu ya da kan ürünü transfüzyonu söz konusu olduğunda ısıtılmış sıvı uygulaması zorunlu kabul edilmektedir (Gebeyehu ve ark., 2021).

Isıtılmış ve Nemlendirilmiş Anestezi Gazları

Solunum yolu mukozası ve soluk havasının ısıtılması ve nemlendirilmesi, respiratuar ısı kaybını azaltmaya yönelik bir stratejidir. Solunum yolu kaynaklı ısı kaybı toplam perioperatif ısı kaybının görece küçük bir bölümünü oluştururken (%10–15), bu yöntem özellikle çocuk hastalarda ve uzun süreli ameliyatlarda daha belirgin etkinlik göstermektedir (Gebeyehu ve ark., 2021; Frisch ve ark., 2017).

Özel Durumlarda Hipotermi Yönetimi

Yaşlı Hastalar

Yaşlı hastalar, zayıflamış termoregülatuar yanıt kapasitesi, azalmış yağ dokusu ve düşük bazal metabolizma hızı nedeniyle perioperatif hipotermiye karşı en savunmasız popülasyonu oluşturmaktadır. Bu grupta intraoperatif hipotermiyi önlemek için prewarming süresi uzatılmalı, FAW'a ek olarak ısıtılmış sıvılar zorunlu kabul edilmeli ve sıcaklık izlemi daha sıkı aralıklarla gerçekleştirilmelidir (Frisch ve ark., 2017; Wang ve ark., 2022).

Pediyatrik Hastalar

Pediyatrik hastalar, yüzey alanı/ağırlık oranının yüksekliği nedeniyle çevreye orantısız ısı kaybeder. Yenidoğan ve infantlarda kahverengi yağ dokusu aracılıklı titremesiz termogenez en önemli termoregülatuar mekanizma olmakla birlikte, bu kapasitesi yaşla

sınırlıdır. Ameliyathane sıcaklığının çocuklarda 23–25°C düzeyinde tutulması, örtme ve FAW uygulamasıyla birlikte temel önleme stratejileri arasında yer almaktadır (Gebeyehu ve ark., 2021).

Rejyonel Anestezi Altındaki Hastalar

Spinal ya da epidural anestezi uygulanan hastalarda hipotermiye özgü önleme stratejileri uygulanmalıdır. Blok öncesi prewarming, ameliyat süresince üst gövde aktif ısıtması ve ısıtılmış sıvı infüzyonu temel yaklaşımları oluşturmaktadır. Rejyonel anestezi altında gerçekleştirilen prospektif gözlemsel çalışmalar, 30–45 dakikalık prewarm süresinin normotermi üzerindeki olumlu etkisini belgelemiştir (Gebeyehu ve ark., 2021).

Güncel Kılavuz Önerileri ve Klinik Uygulama Prensipleri

Kanıt dayalı konsensüs kılavuzları, perioperatif hipotermi önlenmesinde üç temel prensibi benimsemektedir: (Munday ve ark., 2023)

Tüm hastalarda, tüm süreç boyunca aktif kor sıcaklık izlemi yapılmalıdır.

Vücut sıcaklığını 36°C'nin üzerinde tutmak için aktif ısıtma uygulanmalı ve hasta konforu gözetilmelidir.

Hipotermi önlenmesi; anestezistleri, cerrahları ve hemşireleri kapsayan multidisipliner bir sorumluluk olarak ele alınmalıdır.

Asya ve Avustralasya'dan 15 sağlık profesyonelinin katıldığı bir uzman panel çalışması (2024), normotermi protokollerinin klinik uygulamaya aktarılmasında ekonomik kısıtlar, pratik sınırlılıklar, eğitim yetersizliği ve çevresel güçlükler olmak üzere dört temel engel kategorisi tanımlamıştır (Campbell ve ark., 2015). Bu engellerin klinik düzeyde aşılması, hipotermi önlenmesinde sistemik bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır.

Klinik uygulamada perioperatif hipotermi yönetimine yönelik önerilen adımlar şunlardır:

- Preoperatif değerlendirme: Risk faktörlerinin sistematik olarak belirlenmesi
- Preoperatif ısıtma: En az 30 dakika FAW ile ön ısıtma uygulanması
- Anestezi indüksiyonu öncesi kor sıcaklık ölçümü ve kayıt altına alınması
- İntraoperatif sürekli sıcaklık izlemi
- Tüm IV sıvı ve kan ürünlerinin 37°C'ye ısıtılması
- Aktif ısıtma sistemlerinin (FAW veya diğerleri) anestezi başlangıcından itibaren kullanıma sokulması
- Postoperatif PABÜ'de normotermi sağlanana dek aktif ısıtmanın sürdürülmesi

Sonuç

Perioperatif hipotermi, ameliyathanede karşılaşılan sık görülen ancak büyük ölçüde önlenabilir bir komplikasyondur. Kardiyovasküler morbidite, koagülopati, cerrahi alan enfeksiyonu, titreme ve gecikmiş iyileşme gibi çok boyutlu olumsuz klinik sonuçlarla ilişkilidir.

Güncel kanıtlar; preoperatif prewarming, intraoperatif aktif ısıtma (öncelikle FAW), ısıtılmış intravenöz sıvı uygulaması ve kesintisiz kor sıcaklık izlemi gibi çok bileşenli bir stratejinin, hipotermi önlenmesinde ve normotermi korunmasında en etkin yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır (Gebeyehu ve ark., 2021; Munday ve ark., 2023; Ucak ve ark., 2024).

Klinik pratikte bu kanıtların uygulamaya geçirilmesi; eğitim yetersizliği, kaynak kısıtlılığı ve multidisipliner koordinasyon

güçlükleri gibi sistemik bariyerlerin aşılmasını gerektirmektedir. Anesteziyoloji ve reanimasyon uzmanları, bu sürecin merkezinde yer alarak normotermi protokollerinin hayata geçirilmesinde öncü bir rol üstlenmelidir.

Kaynakça

Bindu, B., Bindra, A., & Rath, G. (2017). Temperature management under general anesthesia: Compulsion or option. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology*, 33(3), 306–316. https://doi.org/10.4103/joacp.JOACP_334_16

Campbell, G., Alderson, P., Smith, A. F., & Warttig, S. (2015). Warming of intravenous and irrigation fluids for preventing inadvertent perioperative hypothermia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4), CD009891. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009891.pub2>

Frank, S. M., Fleisher, L. A., Breslow, M. J., Higgins, M. S., Olson, K. F., Kelly, S., & Beattie, C. (1997). Perioperative maintenance of normothermia reduces the incidence of morbid cardiac events: A randomized clinical trial. *JAMA*, 277(14), 1127–1134. <https://doi.org/10.1001/jama.1997.03540380041029>

Frisch, N. B., Pepper, A. M., Lovell, T., & Silverton, C. (2017). Intraoperative hypothermia in total hip and knee arthroplasty. *Orthopedics*, 40(1), 56–63. <https://doi.org/10.3928/01477447-20161116-05>

Gebeyehu, G., Jemal, S., Fentie, Y., Girmay, G., Birhanu, A., & Hailu, S. (2021). Prevention and management of perioperative hypothermia in adult elective surgical patients: A systematic review. *Annals of Medicine and Surgery*, 72, 103059. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.103059>

Hernández-Alcázar, E. J., Ramírez-Tapia, Y., Cuevas-Hernández, A., & Salas-Palomino, I. (2024). Perioperative hypothermia: A systematic review. *Revista Médica del Hospital General de México*, 87(2), 61–71. <https://doi.org/10.24875/hgmx.23000071>

Ji, N., Wang, J., Li, X., & Shang, Y. (2024). Strategies for perioperative hypothermia management: Advances in warming techniques and clinical implications: A narrative review. *BMC Surgery*, 24(1), 425. <https://doi.org/10.1186/s12893-024-02729-0>

Ju, J., Zhou, F., & Wang, Z. (2024). The relationship between intraoperative hypothermia and the occurrence of surgical site infections: A meta-analysis of observational studies. *Frontiers in Surgery*, 11, 1436366. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2024.1436366>

Kim, H. J., Choi, Y. D., Lee, J. H., Park, H. Y., Ha, J. H., & Moon, Y. E. (2024). Clinical efficacy of 10 min of active prewarming for preserving patient body temperature during percutaneous nephrolithotomy: A prospective randomized controlled trial. *Journal of Clinical Medicine*, 13(7), 1843. <https://doi.org/10.3390/jcm13071843>

Kurz, A., Sessler, D. I., & Lenhardt, R. (1996). Perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. *New England Journal of Medicine*, 334(19), 1209–1215. <https://doi.org/10.1056/NEJM199605093341901>

Limprasert, W., & Apidechakul, P. (2026). Forced-air warming temperature settings for treating postoperative hypothermia in the postanesthesia care unit: Randomized controlled trial. *JMIR Perioperative Medicine*, 9, e85045. <https://doi.org/10.2196/85045>

Liu, X., Zhang, Z., Wu, X., Ma, Y., & Chen, J. (2026). Effect of intraoperative hypothermia on postoperative pulmonary complications in elderly off-pump coronary artery bypass grafting patients: A retrospective cohort study. *BMC Surgery*, 26(1), 83. <https://doi.org/10.1186/s12893-026-03649-x>

Mäkinen, M. T., & Högel, R. (2023). Continuous tympanic membrane temperature monitoring during general anesthesia: A prospective observational study. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 67(1), e14299. <https://doi.org/10.1111/aas.14299>

Munday, J., Higgins, N., Ware, R., Proehl, J., & Stathis, S. (2023). Perioperative hypothermia prevention: Development of simple principles and practice recommendations using a multidisciplinary consensus-based approach. *BMJ Open Quality*, 12(Suppl 2), e002227. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-002227>

Munday, J., Forbes, G., Keogh, S., & Proehl, J. (2026). Perioperative normothermia in Asia and Australasia: Challenges, implementation strategies, recommendations, and correct use of forced air warming. *Perioperative Medicine*, 15(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s13741-026-00680-7>

Oh, E. J., Han, S., Lee, S., Choi, E. A., Ko, J. S., Gwak, M. S., & Kim, G. S. (2023). Forced-air prewarming prevents hypothermia during living donor liver transplantation: A randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 13(1), 3713. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23930-2>

Sessler, D. I. (2000). Perioperative heat balance. *Anesthesiology*, 92(2), 578–596. <https://doi.org/10.1097/00000542-200002000-00042>

Sessler, D. I. (2016). Perioperative thermoregulation and heat balance. *Lancet*, 387(10038), 2655–2664. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00981-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00981-2)

Shou, B. L., Zhou, A. L., Ong, C. S., Sussman, M., Alejo, D., Whitman, G., & Kaczorowski, D. J. (2024). Impact of intraoperative blood products, fluid administration, and persistent hypothermia on bleeding leading to reexploration after cardiac surgery. *The Journal*

of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 168(3), 873–884.e4.
<https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2023.10.011>

Ucak, A., Tat Catal, A., Karadag, E., & Cebeci, F. (2024). The effect of prewarming on perioperative hypothermia: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, 39(4), 531–539.
<https://doi.org/10.1016/j.jopan.2023.11.003>

Wang, J., Fang, P., Sun, G., & Li, M. (2022). Effect of active forced air warming during the first hour after anesthesia induction and intraoperation avoids hypothermia in elderly patients. *BMC Anesthesiology*, 22(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s12871-022-01577-w>

AMELİYATHANEDE CERRAHİ DUMAN VE GÜVENLİK

DİRENÇ UZUNGELİŞ⁴

Giriş

Cerrahi duman, ameliyathanelerde enerji temelli cerrahi cihazların kullanımı sırasında ortaya çıkan gaz, buhar, partikül ve biyolojik materyal karışımıdır. Elektrokoter, lazer, ultrasonik disektör, bipolar enerji sistemleri ve diğer termal cihazlar dokuda kesme, koagülasyon veya ablasyon oluştururken dokunun ısınmasına, parçalanmasına ve buharlaşmasına neden olur. Bu süreçte oluşan duman görünür veya görünmez partiküller, uçucu organik bileşikler, toksik gazlar, canlı ya da cansız hücresel artıklar, kan ve doku parçacıkları ile potansiyel enfeksiyöz ajanlar içerebilir.

Cerrahi duman uzun yıllar ameliyathane pratiğinin kaçınılmaz ve çoğu zaman önemsiz bir yan ürünü olarak görülmüştür. Güncel çalışmalar ise cerrahi dumanın yalnızca rahatsız edici bir koku veya görüş alanını bozan bir unsur olmadığını; ameliyathane çalışanları ve hastalar için kimyasal, biyolojik ve partiküler riskler taşıyan önemli bir iş sağlığı problemi

⁴ Uzman Doktor, Zonguldak Atatürk Devlet Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Bölümü, ORCID: 0009-0004-1919-3794

olduğunu göstermektedir. Cerrahlar, anestezi ekibi, ameliyathane hemşireleri, teknisyenler ve yardımcı personel cerrahi işlem süresince bu dumana maruz kalabilir. Maruziyet genellikle düşük düzeyli ve tekrarlayıcı niteliktedir; bu nedenle cerrahi dumanın etkileri yalnızca akut belirtilerle değil, uzun dönem mesleki maruziyet açısından da değerlendirilmelidir (Benaim ve Jaspers, 2024; Williams, 2022).

Cerrahi dumanla ilişkili en sık bildirilen yakınmalar arasında göz, burun ve boğaz irritasyonu, öksürük, baş ağrısı, bulantı, kötü kokuya bağlı rahatsızlık, solunum yolu irritasyonu ve yorgunluk yer almaktadır. Bunun yanında cerrahi duman içerisinde benzen, formaldehit, toluen, akrilonitril, hidrojen siyanür ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi potansiyel toksik veya karsinojen bileşiklerin bulunabileceği gösterilmiştir (Kocher ve ark., 2019; Tseng ve ark., 2014). Ayrıca human papilloma virüsü (HPV) gibi viral materyallerin cerrahi duman içerisinde taşınabileceğine ilişkin yayınlar, bu konunun enfeksiyon kontrolü açısından da önem taşıdığını göstermektedir (Liu ve ark., 2019).

Bu bölümde cerrahi dumanın oluşum mekanizmaları, kimyasal ve biyolojik içeriği, ameliyathane çalışanları üzerindeki olası etkileri, riskli cerrahi alanlar, duman tahliye sistemleri, kişisel koruyucu ekipmanlar, kurumsal güvenlik politikaları ve güvenli ameliyathane uygulamaları güncel literatür ışığında ele alınmaktadır.

Cerrahi Dumanın Tanımı ve Oluşum Mekanizması

Cerrahi duman, dokunun yüksek ısı enerjisi ile parçalanması sonucunda ortaya çıkan aerosolize bir karışımdır. Elektrokoter kullanımı sırasında doku sıcaklığı hızla yükselir; hücre içi sıvı buharlaşır, hücresel membranlar parçalanır ve organik maddeler termal yıkıma uğrar. Bu süreç sonucunda su buharı, gazlar, çok küçük partiküller ve çeşitli kimyasal yan ürünler açığa çıkar (Casey ve ark., 2021).

Cerrahi dumanın miktarı kullanılan enerji cihazının tipine, uygulanan güç ayarına, doku tipine, dokunun su ve yağ içeriğine, cerrahın tekniğine, işlem süresine ve aspirasyon sisteminin etkinliğine bağlıdır. Yüksek enerji ayarları, uzun süreli koter kullanımı ve yetersiz duman tahliyesi ameliyathane ortamındaki partikül yükünü artırır. Özellikle elektrokoter ile yapılan kesme ve koagülasyon işlemleri yoğun partikül oluşumuna neden olabilir (Kahramansoy, 2024).

Lazer cerrahisinde oluşan duman daha küçük partikül boyutlarına sahip olabilir. Ultrasonik disektörlerde doku daha düşük sıcaklıkta parçalandığı için duman içeriği elektrokotere göre farklıdır; ancak bu cihazlar da biyolojik materyal içeren aerosol oluşturabilir. Bu nedenle cerrahi duman kavramı yalnızca klasik elektrokoter dumanı ile sınırlı değildir. Enerji temelli tüm cerrahi cihazların oluşturduğu duman, buhar ve aerosol güvenlik açısından değerlendirilmelidir (Casey ve ark., 2021; Benaim ve Jaspers, 2024).

Cerrahi Dumanın İçeriği

Cerrahi duman çok bileşenli bir karışımdır. İçeriğinde su buharı, hücresel artıklar, kan ve doku partikülleri, uçucu organik bileşikler, toksik gazlar, partikül maddeler ve biyolojik ajanlar bulunabilir. Dumanın büyük bölümü su buharından oluşsa da geri kalan küçük fraksiyon biyolojik ve kimyasal açıdan önemlidir; çünkü sağlık riski oluşturan maddeler çoğunlukla bu kısım içinde yer alır (Benaim ve Jaspers, 2024).

Cerrahi dumanda saptanan kimyasal maddeler arasında benzen, toluen, ksilen, formaldehit, asetaldehit, akrilonitril, stiren, fenol, karbon monoksit, hidrojen siyanür ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar bulunmaktadır. Kocher ve arkadaşları elektrokoter dumanında 1,3-butadien, benzen ve furfural gibi toksik veya karsinogen bileşiklerin ölçülebilir düzeylerde bulunduğunu ve

standart cerrahi maskelerin bu uçucu organik bileşiklere karşı yeterli koruma sağlamadığını bildirmiştir (Kocher ve ark., 2019).

Cerrahi dumanın partikül içeriği de önemlidir. Partiküllerin boyutu kullanılan cihaza göre değişmekle birlikte çok küçük partiküller alt solunum yollarına kadar ulaşabilir. Kahramansoy, cerrahi duman partiküllerinin çok küçük boyutlara ulaşabildiğini ve standart cerrahi maskelerin bu partiküllerin önemli bir bölümünü filtrelemede yetersiz kalabileceğini vurgulamıştır (Kahramansoy, 2024). Bu durum özellikle uzun süreli ameliyatlarda ve yoğun koter kullanılan işlemlerde çalışan maruziyetini artırır.

Kimyasal Riskler

Cerrahi dumanın kimyasal içeriği, ameliyathane çalışanları açısından önemli bir mesleki maruziyet kaynağıdır. Uçucu organik bileşikler ve aldehitler solunum yoluyla alınabilir. Bu maddelerin bazıları iritan, bazıları mutajenik, bazıları ise karsinojenik özellik gösterebilir. Formaldehit, benzen ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar bu açıdan özellikle önemlidir (Kocher ve ark., 2019; Liu ve ark., 2021).

Jinekolojik laparoskopik işlemlerde yapılan bir çalışmada cerrahi duman içerisinde formaldehit dahil olmak üzere çeşitli uçucu organik bileşikler ve aldehitler saptanmış; filtreli portların bazı bileşikleri azaltabildiği, ancak formaldehit gibi bazı maddeleri tamamen ortadan kaldırmada yetersiz kalabildiği gösterilmiştir (Ha ve ark., 2019). Benzer şekilde servikal lezyonların elektrokoter ile eksizyonu sırasında oluşan dumanda benzen, toluen, ksilen, stiren, fenol, formaldehit ve hidrojen siyanür gibi maddelerin ölçülebildiği bildirilmiştir (Liu ve ark., 2021).

Meme cerrahisi sırasında elektrokoter dumanına bağlı polisiklik aromatik hidrokarbon maruziyetini inceleyen bir çalışmada, cerrah ve anestezi teknisyenlerinin solunum bölgesinde partikül ve gaz fazında PAH ölçümleri yapılmış ve cerrahi dumanın

mesleki kanser riski açısından dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (Tseng ve ark., 2014). Bu bulgular, cerrahi dumanın yalnızca kısa süreli irritasyon değil, uzun dönem iş sağlığı açısından da önemli olduğunu göstermektedir.

Biyolojik Riskler

Cerrahi duman yalnızca kimyasal maddelerden oluşmaz; biyolojik materyal de içerebilir. Doku parçacıkları, kan ürünleri, hücresel artıklar ve bazı mikroorganizmalar cerrahi duman içinde bulunabilir. Viral partiküllerin aerosolize olma olasılığı enfeksiyon kontrolü açısından önemlidir (Mahdood ve ark., 2024).

Literatürde insan papilloma virüsü DNA'sının lazer ve elektrokoter dumanında saptanabildiği bildirilmiştir. Jinekolojik işlemlerde, dermatolojik lazer uygulamalarında ve anogenital siğil tedavilerinde bu konu özellikle önem taşır. Viral bulaşın klinik kesinliği her durumda gösterilmiş olmasa da biyolojik olarak mümkün olması nedeniyle önlem alınması gerekir. Elektrocerrahi işlem yapan jinekologlarda HPV enfeksiyon prevalansını inceleyen çalışmalar, N95 maske kullanımının bulaş riskini anlamlı biçimde azalttığını ortaya koymuştur (Liu ve ark., 2019; Zhou ve ark., 2021).

COVID-19 pandemisi döneminde cerrahi duman ve aerosol konusu daha fazla gündeme gelmiştir. SARS-CoV-2'nin cerrahi duman yoluyla bulaştığını kesin olarak gösteren güçlü kanıtlar sınırlı olsa da enerji cihazlarının aerosol oluşturmaları nedeniyle dikkatli olunması önerilmiştir. Zakka ve arkadaşları, cerrahi enerji cihazlarının aerosol oluşturabileceğini ve enfeksiyöz bulaş riski net olarak bilinmese bile uygun kişisel koruyucu ekipman, duman tahliyesi ve filtrasyon önlemlerinin uygulanması gerektiğini belirtmiştir (Zakka ve ark., 2020).

Partikül Boyutu ve Solunum Sistemi Üzerindeki Etkiler

Cerrahi dumanın sağlık üzerindeki etkilerini belirleyen önemli faktörlerden biri partikül boyutudur. Büyük partiküller üst solunum yollarında tutulabilirken, küçük ve ultraküçük partiküller alt solunum yollarına ulaşabilir. Çok küçük partiküller alveoler düzeye kadar ilerleyebilir ve burada inflamatuvar yanıt oluşturabilir. Elektrocerrahi kaynaklı partiküllerin %90'ından fazlasının PM10 sınırının altında kaldığı ve %50'sinin PM2,5 boyutunu aştığı gösterilmiştir (Casey ve ark., 2021).

Ameliyathane çalışanlarında cerrahi duman maruziyetine bağlı akut belirtiler arasında boğazda yanma, öksürük, burun akıntısı, gözlerde sulanma, baş ağrısı ve kötü kokuya bağlı rahatsızlık yer alır. Uzun süreli ve tekrarlayıcı maruziyetin solunum sistemi üzerindeki etkileri daha zor değerlendirilmektedir; çünkü ameliyathane çalışanları aynı zamanda dezenfektanlar, anestezi gazları ve diğer çevresel ajanlara da maruz kalabilir. Buna rağmen cerrahi dumanın solunum sistemi irritanı olduğu konusunda güçlü bir görüş birliği mevcuttur (Kahramansoy, 2024; Benaim ve Jaspers, 2024).

In vitro çalışmalarda cerrahi dumanın insan solunum yolu epitel hücrelerinde sitotoksik etki oluşturabileceği gösterilmiştir. Sisler ve arkadaşları, insan meme dokusundan elektrokoter ile oluşturulan cerrahi dumanın hücre kültürlerinde sitotoksikiteye neden olduğunu bildirmiştir (Sisler ve ark., 2018). Bu bulgular, cerrahi dumanın biyolojik etkilerinin yalnızca teorik olmadığını göstermesi açısından önemlidir.

Ameliyathane Çalışanları Açısından Risk

Cerrahi duman maruziyeti ameliyathanedeki tüm ekip üyelerini ilgilendirir. Cerrah duman kaynağına en yakın çalışan olduğu için genellikle en yüksek maruziyete sahiptir. Ancak hemşireler, anestezi ekibi, teknisyenler ve yardımcı personel de aynı

ortam havasını solur. Özellikle uzun süren ameliyatlarda, küçük hacimli odalarda, yetersiz havalandırma koşullarında ve tahliye sistemi kullanılmadığında tüm ekibin maruziyeti artar (Williams, 2022; Kahramansoy, 2024).

Tonsillektomi sırasında yapılan çalışmalarda elektrokoter ayarının ve duman tahliye sisteminin partikül konsantrasyonu üzerinde belirgin etkisi olduğu gösterilmiştir. Carr ve arkadaşları, pediatrik tonsillektomide daha yüksek elektrokoter gücünün daha yüksek partikül konsantrasyonuna yol açtığını ve duman tahliye sisteminin bu maruziyeti azalttığını bildirmiştir (Carr ve ark., 2020). O'Brien ve arkadaşları da tonsillektomide duman tahliye kalemi veya dikkatli aspirasyon kullanımının partikül maruziyetini belirgin azalttığını göstermiştir (O'Brien ve ark., 2020).

Bu bulgular, cerrahi duman güvenliğinin yalnızca büyük ve uzun ameliyatlara için değil, rutin ve sık yapılan işlemler için de gerekli olduğunu göstermektedir. Kısa süren ancak çok sayıda yapılan işlemler, mesleki kümülatif maruziyet açısından önem taşımaktadır (Carr ve ark., 2020; O'Brien ve ark., 2020).

Riskli Cerrahi Alanlar

Cerrahi duman tüm enerji cihazı kullanılan işlemlerde oluşabilir; ancak bazı alanlarda risk daha belirgindir. Ortopedik, genel cerrahi, jinekolojik, kulak burun boğaz, plastik cerrahi, dermatoloji, üroloji, kardiyotorasik cerrahi ve minimal invaziv cerrahi uygulamaları bu açıdan öne çıkmaktadır (Benaïm ve Jaspers, 2024).

Kulak burun boğaz cerrahisinde tonsillektomi, adenoidektomi ve laringeal işlemler sırasında cerrahi duman cerrahın solunum bölgesine yakın oluşur. Jinekolojide LEEP, lazer uygulamaları ve laparoskopik işlemler sırasında hem kimyasal hem de viral içerik açısından dikkatli olunmalıdır. Dermatolojik lazer uygulamalarında dumanın viral partikül taşıma riski önemlidir.

Genel cerrahi ve laparoskopik işlemlerde kapalı alanda biriken duman, trokar veya portlardan boşaltılırken çalışanlara aerosol maruziyeti oluşturabilir (Liu ve ark., 2019; Liu ve ark., 2021).

Spinal cerrahide yapılan bir çalışmada lokal duman tahliye sistemlerinin cerrahi duman partiküllerini anlamlı düzeyde azalttığı gösterilmiştir. Liu, Filipp ve Wood, para-insizyonel duman tahliye cihazının ortalama duman düzeyini yaklaşık %59,7; duman tahliyeli koter kaleminin ise yaklaşık %44,1 oranında azalttığını bildirmiştir (Liu ve ark., 2020). Bu çalışma, duman tahliyesinin gerçek ameliyat koşullarında da etkili olduğunu göstermesi bakımından değerlidir.

Cerrahi Dumanın Hasta Güvenliği Açısından Önemi

Cerrahi duman yalnızca çalışan güvenliği açısından değil, hasta güvenliği açısından da önemlidir. Açık cerrahide duman, ameliyat alanındaki görüşü bozabilir ve cerrahi doğruluğu olumsuz etkileyebilir. Minimal invaziv cerrahide ise duman karın veya toraks boşluğunda birikerek görüntü kalitesini azaltabilir. Görüntünün bozulması işlem süresini uzatabilir, gereksiz enerji kullanımını artırabilir ve komplikasyon riskini yükseltebilir (Zhou ve ark., 2023).

Laparoskopik cerrahide karın içinde biriken duman ve gazın kontrolsüz boşaltılması ameliyathane ortamına aerosol yayılımına neden olabilir. Bu nedenle gaz tahliyesi kontrollü yapılmalı, uygun filtre sistemleri kullanılmalı ve portlardan çıkan duman doğrudan oda havasına verilmemelidir. Minimal invaziv cerrahide duman yönetimi hem görüş kalitesi hem de enfeksiyon kontrolü açısından önemlidir (Zakka ve ark., 2020; Zhou ve ark., 2023).

Cerrahi Duman Tahliye Sistemleri

Cerrahi dumanla mücadelede en etkili yöntem dumanın kaynağa en yakın noktadan uzaklaştırılmasıdır. Genel oda havalandırması önemli olmakla birlikte tek başına yeterli değildir.

Duman, oluştuğu anda cerrahi alandan uzaklaştırılmadığında ameliyathane havasına yayılır ve ekip tarafından solunur (Lee ve ark., 2018; Williams, 2022).

Tahliye sistemleri genel olarak portatif duman tahliye cihazları, duman tahliyeli elektrokoter kalemeleri, lokal aspirasyon sistemleri, merkezi vakum sistemleri ve laparoskopik filtre sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Etkili bir sistem, dumanı kaynağa yakın noktadan yakalamalı, yeterli emiş gücüne sahip olmalı ve uygun filtreleme sağlamalıdır. Ultra Düşük Partikül Tutma (ULPA) filtreler çok küçük partiküllerin tutulmasında yüksek etkinliğe sahiptir (Williams, 2022; Lee ve ark., 2018).

Lee ve arkadaşları, lokal egzoz ventilasyon sistemlerinin cerrahi duman partiküllerini ve uçucu organik bileşikleri anlamlı biçimde azalttığını ancak tamamen ortadan kaldırmadığını göstermiştir (Lee ve ark., 2018). Bu nedenle duman tahliyesi temel yöntem olmalı, ancak kişisel koruyucu ekipman ve havalandırma gibi diğer önlemlerle birlikte kullanılmalıdır.

Duman Tahliye Sistemlerinin Etkinliği ve Sınırlılıkları

Duman tahliye sistemleri uygun kullanıldığında cerrahi duman maruziyetini büyük ölçüde azaltabilir. Ancak etkinlik cihazın tipine, emiş gücüne, filtre kalitesine, aspirasyon ucunun duman kaynağına uzaklığına ve kullanıcı uyumuna bağlıdır. Aspirasyon ucu duman kaynağından uzaklaştıkça yakalama etkinliği azalır. Bu nedenle tahliye ucu mümkün olduğuunca cerrahi dumanın oluştuğu noktaya yakın tutulmalıdır (Liu ve ark., 2020; Lee ve ark., 2018).

Portatif duman tahliye sistemleri deneysel koşullarda yüksek partikül azaltma etkinliği gösterebilir. Seipp ve arkadaşları, portatif cerrahi duman tahliye sistemlerinin uygun koşullarda cerrahi dumanı yüksek oranda azaltabildiğini; ancak cihazların gürültü düzeyi ve kullanım koşullarının klinik uygulamada dikkate alınması gerektiğini bildirmiştir (Seipp ve ark., 2018).

Tahliye sistemlerinin kullanımında en sık karşılaşılan sorunlar arasında cihaz gürültüsü, ek maliyet, ameliyat sahasında yer kaplama, kablo ve hortum yönetimi, cerrahın alışkanlıkları ve ekip uyumunun yetersizliği yer alır. Bu engellerin aşılması için cihaz seçimi klinik ihtiyaçlara göre yapılmalı, ekip eğitilmeli ve kullanım standart hale getirilmelidir (Seipp ve ark., 2018; Kahramansoy, 2024).

Cerrahi Maskeler ve Solunum Koruyucular

Standart cerrahi maskeler sıvı sıçramalarına ve büyük damlacıklara karşı belirli düzeyde koruma sağlar; ancak cerrahi duman içindeki ultraküçük partiküller ve uçucu organik bileşikler için yeterli koruma sağlamaz. Bu nedenle cerrahi duman maruziyetini önlemede yalnızca cerrahi maske kullanımına güvenilmemelidir (Kocher ve ark., 2019; Zhou ve ark., 2021).

Yüksek filtrasyon özellikli maskeler bazı partiküllere karşı daha iyi koruma sağlayabilir; ancak dumanın kimyasal gaz bileşenlerini tamamen ortadan kaldırmaz. Maskenin yüz uyumu, kullanım süresi ve doğru takılması koruyuculuğu etkiler. Bu nedenle kişisel koruyucu ekipman, tahliye sistemlerinin alternatifi değil tamamlayıcısı olarak değerlendirilmelidir (Kahramansoy, 2024; Spruce, 2021).

Spruce, cerrahi duman güvenliği konusunda oda havalandırmasının tek başına yeterli olmadığını, dumanın tahliye edilmesi ve uygun filtrasyon sistemlerinin kullanılmasının gerektiğini vurgulamıştır (Spruce, 2021). Bu yaklaşım, cerrahi maskelerin tek başına yeterli görülmemesi gerektiğini desteklemektedir.

Ameliyathane Havalandırması

Ameliyathane havalandırması enfeksiyon kontrolü ve hava kalitesi açısından önemlidir. Ancak genel havalandırma cerrahi

dumanı kaynağında yakalayamaz. Duman havaya karıştıktan sonra havalandırma sistemi tarafından uzaklaştırılması zaman alır ve bu süreçte çalışanlar dumana maruz kalabilir (Lee ve ark., 2018; Williams, 2022).

Bu nedenle ameliyathane havalandırması cerrahi duman yönetiminde destekleyici bir unsurdur. Asıl korunma dumanın oluştuğu noktada tahliye edilmesiyle sağlanmalıdır. Laminer akım sistemleri, oda hava değişim sayısı ve filtreleme özellikleri ameliyathane hava kalitesini etkiler; ancak duman güvenliği için lokal tahliye sistemleriyle birlikte kullanılmalıdır (Lee ve ark., 2018; Spruce, 2021).

Laparoskopik Cerrahide Duman Yönetimi

Laparoskopik cerrahide cerrahi duman kapalı vücut boşluğu içinde birikebilir. Bu durum kamera görüntüsünü bozabilir, cerrahi alanın netliğini azaltabilir ve işlem süresini uzatabilir. Ayrıca karın içindeki dumanın kontrolsüz biçimde boşaltılması ameliyathane ortamına aerosol yayılmasına neden olabilir (Zhou ve ark., 2023; Zakka ve ark., 2020).

Laparoskopik işlemlerde dumanın filtreli sistemlerle tahliye edilmesi önerilir. Portlardan kontrolsüz gaz çıkışı engellenmeli, karın içi basınç mümkün olan en düşük güvenli düzeyde tutulmalı ve desuflasyon işlemi filtre aracılığıyla yapılmalıdır. Özellikle enfeksiyon riski bulunan hastalarda bu yaklaşım daha da önemlidir (Zakka ve ark., 2020; Williams, 2022).

Duman Güvenliğinde Eğitim ve Farkındalık

Cerrahi dumanla mücadelede en önemli sorunlardan biri farkındalık eksikliğidir. Birçok ameliyathane çalışanı cerrahi dumanın kötü koku ve geçici iritasyon dışında ciddi bir risk oluşturmadığını düşünebilir. Bu algı, tahliye sistemlerinin düzenli

kullanılmamasına yol açar (Lotfi ve ark., 2021; Kahramansoy, 2024).

Eğitim programlarında cerrahi dumanın içeriği, sağlık etkileri, riskli işlemler, tahliye cihazlarının kullanımı, maske ve solunum koruyucuların sınırlılıkları, laparoskopik duman yönetimi ve kurumsal protokoller yer almalıdır. Eğitim yalnızca hemşirelik ekibine değil, cerrahlar, anestezi ekibi, teknisyenler ve ameliyathane yöneticilerine de verilmelidir (Chen ve ark., 2022; Williams, 2022).

Dennis, cerrahi duman tahliyesinin bir kalite iyileştirme ve kültür değişimi konusu olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir (Dennis, 2022). Bu nedenle eğitim, yalnızca bilgi aktarımı değil, davranış değişikliği oluşturmayı hedeflemelidir.

Kurumsal Politika ve Güvenlik Kültürü

Cerrahi duman güvenliği bireysel tercih veya alışkanlıklara bırakılmamalıdır. Kurum düzeyinde yazılı politika ve prosedürler oluşturulmalıdır. Bu prosedürlerde hangi işlemlerde tahliye sistemi kullanılacağı, cihazların nasıl kurulacağı, filtrelerin ne sıklıkla değiştirileceği, laparoskopik gaz tahliyesinin nasıl yapılacağı ve personelin hangi eğitimleri alacağı açıkça belirtilmelidir (Asia-Pacific Consensus, 2022; Williams, 2022).

Cerrahi duman tahliyesinin standart uygulama haline gelmesi için yönetim desteği zorunludur. Cihaz temini, sarf malzeme sürekliliği, teknik bakım, kullanıcı eğitimi ve uygulama denetimi birlikte yürütülmelidir. Sistemin varlığı yeterli değildir; her uygun işlemde doğru biçimde kullanılması gerekir (Asia-Pacific Consensus, 2022; Dennis, 2022).

Watters ve arkadaşları, cerrahi dumanın potansiyel risklerinin göz ardı edilmemesi gerektiğini ve sağlık kuruluşlarının personeli korumak amacıyla duman tahliye sistemlerine yatırım yapması gerektiğini vurgulamıştır (Watters ve ark., 2022). Bu

yaklaşım, cerrahi duman yönetiminin iş sağlığı ve hasta güvenliği kapsamında kurumsal bir sorumluluk olduğunu ortaya koymaktadır.

Cerrahi Duman Güvenliğinde Pratik Yaklaşım

Cerrahi duman güvenliği için ameliyat öncesi, ameliyat sırası ve ameliyat sonrası süreçler birlikte planlanmalıdır. Ameliyat öncesinde kullanılacak enerji cihazları belirlenmeli, tahliye sistemi hazırlanmalı, filtre ve hortum bağlantıları kontrol edilmeli ve ekip görev dağılımı yapılmalıdır. İşlem sırasında tahliye ucu kaynağa yakın tutulmalı, gereksiz yüksek enerji ayarlarından kaçınılmalı ve dumanın oda havasına yayılması engellenmelidir. İşlem sonrasında filtre değişimi, cihaz temizliği ve olası aksaklıkların bildirimi gerçekleştirilmelidir (Williams, 2022; Asia-Pacific Consensus, 2022).

Tahliye sistemi bulunmayan durumlarda en azından lokal aspirasyon kullanılmalı; ancak bu yaklaşım kalıcı çözüm olarak görülmemelidir. Standart ameliyathane aspirasyon sistemleri partikül ve kimyasal filtrasyon açısından özel tahliye cihazları kadar etkili olmayabilir. Bu nedenle uzun vadede uygun filtreli tahliye sistemlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir (Lee ve ark., 2018; Williams, 2022).

Cerrahi Duman Yönetiminde Ekip İletişimi

Cerrahi dumanın etkin yönetimi ekip iletişimi gerektirir. Cerrah, hemşire, anestezi ekibi ve teknisyen arasında açık iletişim kurulmalıdır. Tahliye cihazının çalışmadığı, aspirasyon ucunun uzaklaştığı veya filtre sisteminin devre dışı kaldığı durumlarda ekip üyeleri birbirini uyarmalıdır. Güvenli ameliyathane kültüründe her çalışan, duman maruziyetini azaltmaya yönelik uyarıda bulunabilmelidir (Asia-Pacific Consensus, 2022).

Tahliye sisteminin gürültü oluşturması veya cerrahi alanı kısmen etkilemesi, kullanımın tamamen bırakılması için gerekçe

olmamalıdır. Uygun cihaz seçimi, doğru yerleşim ve ekip alışkanlığının gelişmesiyle bu sorunlar azaltılabilir. Amaç, cerrahi işlemin kalitesini bozmadan çalışan ve hasta güvenliğini artırmaktır (Seipp ve ark., 2018; Asia-Pacific Consensus, 2022).

Sonuç

Cerrahi duman, ameliyathanelerde enerji temelli cihazların kullanımı sırasında ortaya çıkan ve kimyasal, partiküller ve biyolojik riskler taşıyan önemli bir mesleki maruziyet kaynağıdır. Elektrokoter, lazer, ultrasonik cihazlar ve diğer enerji sistemleri ile oluşan duman; uçucu organik bileşikler, toksik gazlar, ultraküçük partiküller, hücresel materyaller ve potansiyel enfeksiyöz ajanlar içerebilir.

Cerrahi dumanın etkileri yalnızca kötü koku veya geçici irritasyonla sınırlı değildir. Göz ve solunum yolu irritasyonu, baş ağrısı, bulantı, yorgunluk, kimyasal maruziyet, potansiyel enfeksiyon riski ve uzun dönem mesleki sağlık sorunları açısından dikkatle değerlendirilmelidir. Bu nedenle cerrahi duman, ameliyathane güvenliği ve iş sağlığı kapsamında sistematik olarak yönetilmelidir.

En etkili korunma yöntemi dumanın kaynağında tahliye edilmesidir. Lokal duman tahliye sistemleri, uygun filtrasyon, düşük enerji kullanımı, etkili ameliyathane havalandırması, kişisel koruyucu ekipman, laparoskopik filtreli tahliye, düzenli eğitim ve kurumsal protokoller birlikte uygulanmalıdır. Cerrahi duman güvenliği bireysel tercihlere bırakılmamalı; kurum kültürünün ve standart ameliyathane uygulamalarının ayrılmaz bir parçası olmalıdır.

Kaynakça

Carr, M. M., Patel, V. A., Soo, J. C., Friend, S. A., & Lee, E. G. (2020). Effect of electrocautery settings on particulate concentrations in surgical plume during tonsillectomy. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 162(6), 867-872. Doi: 10.1177/0194599820914275

Dennis, V. (2022). Needed practice change: Surgical smoke evacuation. *AORN Journal*, 116(2), 103-105. Doi: 10.1002/aorn.13756

Ha, H. I., Choi, M. C., Jung, S. G., Joo, W. D., Lee, C., Song, S. H., & Park, H. (2019). Chemicals in surgical smoke and the efficiency of built-in-filter ports. *JSLs: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 23(4), e2019.00037. Doi: 10.4293/JSLs.2019.00037

Kahramansoy, N. (2024). Surgical smoke: A matter of hygiene, toxicology, and occupational health. *GMS Hygiene and Infection Control*, 19, Doc04. Doi: 10.3205/dgkh000469

Kocher, G. J., Sesia, S. B., Lopez-Hilfiker, F., & Schmid, R. A. (2019). Surgical smoke: Still an underestimated health hazard in the operating theatre. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 55(4), 626-631. Doi: 10.1093/ejcts/ezy356

Lee, T., Soo, J. C., LeBouf, R. F., Burns, D. A., Schwegler-Berry, D., Kashon, M. L., Bowers, J., & Harper, M. (2018). Surgical smoke control with local exhaust ventilation: Experimental study. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(4), 341-350. Doi: 10.1080/15459624.2017.1422082

Liu, N., Filipp, N., & Wood, K. B. (2020). The utility of local smoke evacuation in reducing surgical smoke exposure in spine surgery: A

prospective self-controlled study. *The Spine Journal*, 20(2), 166-173. Doi: 10.1016/j.spinee.2019.09.014

Liu, Y., Song, Y., Hu, X., Yan, L., & Zhu, X. (2019). Awareness of surgical smoke hazards and enhancement of surgical smoke prevention among the gynecologists. *Journal of Cancer*, 10(12), 2788-2799. Doi: 10.7150/jca.31464

Liu, Y., Zhao, M., Shao, Y., Yan, L., & Zhu, X. (2021). Chemical composition of surgical smoke produced during the loop electrosurgical excision procedure when treating cervical intraepithelial neoplasia. *World Journal of Surgical Oncology*, 19, 103. Doi: 10.1186/s12957-021-02211-8

O'Brien, D. C., Lee, E. G., Soo, J. C., Friend, S. A., Callahan, S., & Carr, M. M. (2020). Surgical team exposure to cautery smoke and its mitigation during tonsillectomy. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 163(3), 508-516. Doi: 10.1177/0194599820917394

Seipp, H. M., Steffens, T., Weigold, J., Lahmer, A., Maier-Hasselmann, A., Herzog, T., & Herzog-Niescery, J. (2018). Efficiencies and noise levels of portable surgical smoke evacuation systems. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(11), 773-781. Doi: 10.1080/15459624.2018.1513134

Sisler, J. D., Shaffer, J., Soo, J. C., LeBouf, R. F., Harper, M., Qian, Y., & Lee, T. (2018). In vitro toxicological evaluation of surgical smoke from human tissue. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 13, 12. Doi: 10.1186/s12995-018-0193-x

Spruce, L. (2021). Surgical smoke safety. *AORN Journal*, 114(5), 493-501. Doi: 10.1002/aorn.13543

Tseng, H. S., Liu, S. P., Uang, S. N., Yang, L. R., Lee, S. C., Liu, Y. J., & Chen, D. R. (2014). Cancer risk of incremental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in electrocautery smoke for

mastectomy personnel. *World Journal of Surgical Oncology*, 12, 31. Doi: 10.1186/1477-7819-12-31

Watters, D. A., Foran, P., McKinley, S., & Campbell, G. (2022). Clearing the air on surgical plume. *ANZ Journal of Surgery*, 92(1-2), 57-58. Doi: 10.1111/ans.17340

Zakka, K., Erridge, S., Chidambaram, S., Beatty, J. W., Kynoch, M., Kinross, J., & Purkayastha, S. (2020). Electrocautery, diathermy, and surgical energy devices: Are surgical teams at risk during the COVID-19 pandemic? *Annals of Surgery*, 272(3), e257-e262. Doi: 10.1097/SLA.0000000000004112

Lotfi, M., Sheikhalipour, Z., Zamanzadeh, V., Aghazadeh, A., Khordeforoush, H., Rahmani, P., & Zadi Akhuleh, O. (2021). Attitude, preventive practice and perceived barriers among perioperative and anesthesia nurses toward surgical smoke hazards during the COVID-19 outbreak. *Perioperative Care and Operating Room Management*, 26, 100234. Doi: 10.1016/j.pcorm.2021.100234

Benaim, E. H., & Jaspers, I. (2024). Surgical smoke and its components, effects, and mitigation: A contemporary review. *Toxicological Sciences*, 198(2), 157-168. Doi: 10.1093/toxsci/kfae005

Casey, V. J., Martin, C., Curtin, P., O'Sullivan, L., & Chadwick, E. (2021). Comparison of surgical smoke generated during electrosurgery with aerosolized particulates from ultrasonic and high-speed cutting. *Annals of Biomedical Engineering*, 49(2), 560-572. Doi: 10.1007/s10439-020-02587-w

Chen, H. L., Wu, L. F., & Chou, F. H. (2022). Factors associated with surgical smoke self-protection behavior of operating room nurses.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(10), 5869. Doi: 10.3390/ijerph19105869

Mahdood, B., Merajikhah, A., Mirzaiee, M., Bastami, M., & Banoueizadeh, S. (2024). Virus and viral components transmitted through surgical smoke: A silent danger in operating room: A systematic review. *BMC Surgery*, 24(1), 227. Doi: 10.1186/s12893-024-02514-z

Asia-Pacific Consensus. (2022). Occupational hazards of surgical smoke and achieving a smoke free operating room environment: Asia-Pacific consensus statement on practice recommendations. *Frontiers in Surgery*, 9, 875728. Doi: 10.3389/fsurg.2022.875728

Williams, K. (2022). Guidelines in practice: Surgical smoke safety. *AORN Journal*, 116(2), 145-159. Doi: 10.1002/aorn.13745

Zhou, Y. Z., Wang, C. Q., Zhou, M. H., Li, Z. Y., Chen, D., Lian, A. L., & Ma, Y. (2023). Surgical smoke: A hidden killer in the operating room. *Asian Journal of Surgery*, 46(9), 3447-3454. Doi: 10.1016/j.asjsur.2023.03.066

Zhou, Q., Hu, X., Zhou, J., Zhao, M., Zhu, X., & Zhu, X. (2021). Prevalence of HPV infections in surgical smoke exposed gynecologists. *Frontiers in Public Health*, 9, 609405. Doi: 10.3389/fpubh.2021.609405

AMELİYATHANEDE SKOPİ VE RADYASYON GÜVENLİĞİ

CEREN UZUNGELİŞ¹

Giriş

Modern cerrahi uygulamalarda görüntüleme teknolojilerinin kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle ortopedik travma cerrahisi, spinal cerrahi, vasküler girişimler, ürolojik işlemler, kardiyovasküler uygulamalar, endoskopik girişimler ve hibrit ameliyathane prosedürlerinde floroskopi cihazları günlük pratiğin önemli bir parçası haline gelmiştir (Jenkins ve ark., 2021). C kollu skopi sistemleri cerraha işlem sırasında anatomik doğrulama, implant yerleşiminin kontrolü ve girişimsel işlemin güvenli biçimde sürdürülmesi açısından önemli katkı sağlar. Bununla birlikte floroskopik görüntüleme iyonizan radyasyon kullanılarak gerçekleştirildiği için ameliyathane çalışanları açısından önemli bir mesleki maruziyet kaynağıdır.

Ameliyathanede radyasyon güvenliği yalnızca radyoloji çalışanlarını ilgilendiren sınırlı bir konu değildir. Cerrahlar, anestezi ekibi, ameliyathane hemşireleri, skopi teknisyenleri, perfüzyonistler,

¹ Uzman doktor, Zonguldak Kadın Doğum ve Çocuk Hastalıkları Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Bölümü, ORCID: 0009-0004-0008-634X

yardımcı sağlık personeli ve zaman zaman ameliyathanede bulunan diğer ekip üyeleri de işlem sırasında saçılmış radyasyona maruz kalabilir (Azmoonfar ve ark., 2024). Bu maruziyet genellikle tek bir işlemde düşük düzeydedir; ancak yıllar içinde tekrarlayan işlemler nedeniyle kümülatif doz artabilir. Bu nedenle radyasyon güvenliği, hasta güvenliği kadar çalışan güvenliğinin de temel bileşenlerinden biri olarak ele alınmalıdır.

Floroskopi kullanılan ameliyathanelerde temel amaç, cerrahi işlemin doğruluğunu ve hasta güvenliğini korurken çalışanların ve hastanın gereksiz radyasyon maruziyetini azaltmaktır. Bu yaklaşım, uluslararası radyasyon güvenliği literatüründe ALARA (As Low As Reasonably Achievable) prensibi olarak tanımlanmaktadır. ALARA, radyasyon dozunun makul olarak ulaşılabilecek en düşük düzeyde tutulması anlamına gelir. Bu prensip; işlem süresinin azaltılması, radyasyon kaynağına mesafenin artırılması, uygun koruyucu ekipman kullanılması, cihaz ayarlarının optimize edilmesi, düzenli eğitim verilmesi ve maruziyetin dozimetre ile takip edilmesini kapsar (Rehani ve ark., 2010).

Floroskopi Kullanımının Ameliyathane Pratiğindeki Yeri

Floroskopi, X ışını kullanılarak gerçek zamanlı görüntüleme sağlayan bir tekniktir. Ameliyathanede en sık mobil C kollu skopi cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazlarda X ışını tüpünden çıkan ışınlar hastanın vücudundan geçerek dedektöre ulaşır ve görüntü oluşturur. Görüntüleme sırasında hastanın dokuları ışının bir kısmını absorbe ederken bir kısmı çevreye saçılır. Ameliyathane çalışanlarının maruz kaldığı radyasyonun ana kaynağı çoğunlukla doğrudan X ışını demeti değil, hastadan saçılan sekonder radyasyondur (Jenkins ve ark., 2021).

Floroskopi özellikle kemik yapıların görüntülenmesinde, implant yerleşiminin doğrulanmasında, damar içi girişimlerde, taş cerrahisinde ve minimal invaziv prosedürlerde büyük avantaj sağlar.

Ortopedik travma cerrahisinde intramedüller çivileme, eksternal fiksator uygulamaları, perkütan vida yerleştirilmesi ve spinal enstrümantasyon sırasında sık kullanılır. Vasküler cerrahide endovasküler aort onarımı, periferik arter girişimleri ve hibrit prosedürlerde uzun süreli görüntüleme gerekebilir. Ürolojide perkütan nefrolitotomi ve üreterorenoskopi sırasında floroskopi yaygın olarak kullanılmaktadır (Deininger ve ark., 2024). Bu çeşitlilik, radyasyon güvenliği konusunun tüm ameliyathane ekibini ilgilendiren ortak bir sorumluluk olduğunu göstermektedir.

İyonizan Radyasyonun Temel Özellikleri

İyonizan radyasyon, atom veya moleküllerden elektron koparabilecek enerjiye sahip radyasyon türüdür. X ışınları bu gruba girer. Floroskopi cihazlarında kullanılan X ışınları dokulardan geçerken enerji aktarır ve bu enerji biyolojik dokularda iyonizasyon oluşturabilir. Bu iyonizasyon hücre düzeyinde DNA hasarı, serbest radikal oluşumu ve hücresel fonksiyon bozukluğu gibi etkilerle sonuçlanabilir (Jenkins ve ark., 2021).

Radyasyon dozunu ifade etmek için farklı birimler kullanılır. Gray, dokuda absorbe edilen enerji miktarını gösterir. Sievert ise radyasyonun biyolojik etkisini ifade eder. Klinik ve mesleki maruziyet değerlendirmelerinde çoğunlukla milisievert kullanılır. Doz alan ürünü, floroskopik işlemlerde hastaya verilen toplam radyasyon yükünü değerlendirmede kullanılan önemli bir göstergedir. Ayrıca floroskopi süresi, toplam görüntü sayısı ve cihazın kullandığı doz modu da maruziyetin değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır (Azmoonfar ve ark., 2024).

Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu, floroskopi eşliğinde yapılan işlemlerde radyasyon güvenliği eğitiminin önemini özellikle vurgulamaktadır. Radyoloji bölümü dışında gerçekleştirilen floroskopik işlemlerde çalışanların radyasyondan korunma konusunda yeterli bilgiye sahip olmaması hem çalışan hem

de hasta açısından riski artırabilir (Rehani ve ark., 2010). Bu nedenle ameliyathanede skopi kullanılan her kurumda sistematik eğitim, denetim ve doz takibi gereklidir.

Radyasyonun Biyolojik Etkileri

İyonizan radyasyonun biyolojik etkileri genel olarak deterministik ve stokastik etkiler olarak iki başlık altında incelenir. Deterministik etkiler belirli bir eşik dozun üzerinde ortaya çıkar ve doz arttıkça etkinin şiddeti de artar. Katarakt, deri eritemi, doku nekrozu, geçici veya kalıcı infertilite ve kemik iliği baskılanması bu grupta değerlendirilir. Ameliyathane çalışanları açısından özellikle göz merceği ve tiroid dokusu önemli risk alanlarıdır (Okraku-Yirenkyi ve ark., 2024).

Stokastik etkilerde ise kesin bir eşik dozdan söz edilemez. Doz arttıkça etkinin ortaya çıkma olasılığı artar; ancak etkinin şiddeti dozla doğrudan ilişkili değildir. Malignite gelişimi ve genetik mutasyonlar stokastik etkilere örnektir. Bu nedenle düşük dozda ancak uzun süreli mesleki maruziyet de önemlidir. Ameliyathane çalışanlarında tek bir işlemde alınan doz çoğu zaman sınır değerlerin altında olsa da kümülatif mesleki maruziyet dikkate alınmalıdır (Jenkins ve ark., 2021).

Göz merceği radyasyona duyarlı dokulardan biridir. Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu 2011 yılında yayımladığı doku reaksiyonları bildirisinde göz merceği için eşik dozu 0,5 Gy olarak revize etmiş ve mesleki maruziyet için yıllık eşdeğer doz sınırını 150 mSv'den 20 mSv'e indirmiştir (ICRP Publication 118, 2012). Girişimsel işlemlerde çalışan sağlık personelinde radyasyon ilişkili lens opasiteleri ve katarakt riskinin artabileceğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Vano ve ark., 2013). Bu nedenle kurşun gözlük kullanımı özellikle uzun floroskopi süresi gerektiren işlemlerde ihmal edilmemelidir. Tiroid dokusu da

iyonizan radyasyona duyarlıdır ve tiroid koruyucu kullanımı standart koruyucu uygulamalar arasında yer almalıdır.

Ameliyathanede Radyasyon Maruziyetini Etkileyen Faktörler

Ameliyathanede radyasyon maruziyeti işlem türüne, kullanılan cihazın özelliklerine, hastanın vücut yapısına, cerrahın deneyimine, görüntüleme süresine, C kolunun pozisyonuna ve çalışanların ameliyathane içindeki konumuna bağlı olarak değişir. Yüksek vücut kitle indeksine sahip hastalarda yeterli görüntü kalitesi elde etmek için cihaz daha yüksek doz kullanabilir. Bu durum hem hasta hem de çalışan maruziyetini artırabilir (Azmoonfar ve ark., 2024).

Cerrahın deneyimi de önemli bir faktördür. Ortopedik travma cerrahisinde yapılan çalışmalarda daha deneyimli cerrahların daha kısa floroskopi süresi ve daha az görüntü sayısı ile işlem gerçekleştirebildiği bildirilmiştir (Rashid ve ark., 2017). Bu bulgu, radyasyon güvenliğinin yalnızca koruyucu ekipmanla değil, cerrahi planlama, deneyim ve ekip koordinasyonu ile de ilişkili olduğunu göstermektedir.

Çalışanların cihaz çevresindeki konumu maruziyet açısından belirleyicidir. X ışını tüpüne yakın tarafta bulunan çalışanlar daha fazla saçılmış radyasyona maruz kalır. Dedektör tarafında bulunmak genellikle daha güvenlidir. Lateral görüntüleme sırasında saçılmış radyasyon miktarı artabileceğinden ameliyathane ekibinin pozisyonu önceden planlanmalıdır (Dorman ve ark., 2023).

Ortopedik Cerrahide Radyasyon Güvenliği

Ortopedik cerrahi, ameliyathanede floroskopinin en yoğun kullanıldığı alanlardan biridir. Özellikle travma cerrahisi, spinal cerrahi, pelvik kırık cerrahisi, intramedüller çivileme, distal radius kırıkları, kalça kırıkları ve perkütan vida uygulamaları sırasında sık görüntüleme yapılır. Bu işlemlerde cerrah genellikle hastaya ve

skopi cihazına yakın çalıştığı için en yüksek mesleki maruziyet cerrahda görülür. Bununla birlikte masa çevresinde bulunan hemşireler, anestezi ekibi ve yardımcı personel de saçılmış radyasyona maruz kalabilir (Okraku-Yirenkyi ve ark., 2024).

Spinal cerrahide yapılan klinik çalışmalarda floroskopi kullanılan işlemlerde cerrahın el, tiroid ve göz bölgesinde ölçülen dozların diğer ameliyathane personeline göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir (Bratschitsch ve ark., 2019). Lateral floroskopi sırasında yapılan ölçümlerde birincil cerrahın en yüksek, cerrahi hemşirenin ise ikinci sırada maruziyete sahip olduğu bildirilmiştir (Watanabe ve ark., 2024). Bu nedenle ortopedik ve spinal cerrahi uygulamalarında tüm ekibin radyasyon güvenliği konusunda ortak farkındalığa sahip olması gerekir.

Ortopedik cerrahide radyasyonu azaltmak için işlem öncesi planlama yapılmalı, implant boyutları ve giriş yolları önceden belirlenmeli, gereksiz kontrol görüntülerinden kaçınılmalı ve düşük doz modları kullanılmalıdır. C kolu mümkün olduğunca uygun pozisyonda tutulmalı, dedektör hastaya yaklaştırılmalı ve X ışını tüpü mümkünse ameliyat masasının altında konumlandırılmalıdır (Kaplan ve ark., 2016).

Spinal Cerrahi ve Navigasyon Sistemleri

Spinal cerrahide vida yerleşiminin doğruluğu hasta güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle floroskopi, O kolu, intraoperatif bilgisayarlı tomografi ve navigasyon sistemleri giderek daha yaygın kullanılmaktadır. Bu teknolojiler cerrahi doğruluğu artırabilir; ancak radyasyon maruziyeti açısından farklı sonuçlar doğurabilir (Jenkins ve ark., 2021).

Bazı çalışmalarda navigasyon sistemlerinin cerrah ve ameliyathane personelinin radyasyon maruziyetini azalttığı, ancak hastanın aldığı dozun artabileceği bildirilmiştir (Bratschitsch ve ark.,

2019). Benzer şekilde intraoperatif BT kullanılan bazı spinal cerrahi uygulamalarında ameliyathane personelinin dozu azalırken hasta dozu artabilmektedir (Van Berkel ve ark., 2021). Bu nedenle yeni teknolojiler yalnızca çalışan güvenliği açısından değil, hasta dozu açısından da değerlendirilmelidir.

Spinal cerrahide radyasyon güvenliğinin temel hedefi, implant doğruluğunu korurken hem hasta hem de çalışan için en düşük makul dozun sağlanmasıdır. Bu amaçla görüntüleme endikasyonu doğru belirlenmeli, cihaz protokolleri optimize edilmeli, ekip görüntüleme sırasında uygun konumlanmalı ve gereksiz tekrar çekimlerden kaçınılmalıdır (Kaplan ve ark., 2016).

Vasküler ve Hibrit Ameliyathanelerde Radyasyon Güvenliği

Hibrit ameliyathaneler, gelişmiş görüntüleme sistemleri ile cerrahi işlem alanını birleştiren özel birimlerdir. Endovasküler aort onarımı, periferik damar girişimleri, konjenital kalp hastalığı girişimleri ve kompleks spinal prosedürlerde kullanılmaktadır. Bu ameliyathanelerde işlem süresi uzun, görüntüleme ihtiyacı fazla ve ekip sayısı genellikle yüksektir. Bu nedenle radyasyon güvenliği planlaması klasik ameliyathanelere göre daha kapsamlı yapılmalıdır (Cewe ve ark., 2021).

Hibrit ameliyathanelerde sabit görüntüleme sistemleri, tavan askılı koruyucu bariyerler, masa altı koruyucular, mobil kurşun paravanlar ve uygun duvar zırhlaması önemlidir. Cihaz yerleşimi, monitör pozisyonu, personel dolaşım alanı ve koruyucu bariyerlerin konumu işlem öncesinde planlanmalıdır. Hibrit ameliyathanelerde yapılan çalışmalarda personel pozisyonunun, kullanılan görüntüleme sisteminin ve serbest duran radyasyon koruyucu bariyerlerin maruziyet üzerinde belirgin etkisi olduğu gösterilmiştir (Cewe ve ark., 2021).

Hibrit ameliyathanelerde yalnızca kişisel koruyucu ekipman kullanımı yeterli değildir. Kurumsal düzeyde radyasyon güvenliği protokolü oluşturulmalı, tüm çalışanlar bu protokol konusunda eğitilmeli ve düzenli denetimler yapılmalıdır. Uzun süren işlemlerde ekip değişimi, dozimetre takibi ve işlem sonrası doz değerlendirmesi güvenlik kültürünün parçası olmalıdır (Azmoonfar ve ark., 2024).

Ürolojik, Endoskopik ve Diğer Girişimlerde Radyasyon

Ürolojik işlemler sırasında da floroskopi yaygın olarak kullanılmaktadır. Perkütan nefrolitotomi, retrograd intrarenal cerrahi ve üreterorenoskopi gibi işlemlerde taş lokalizasyonu, kılavuz tel yerleşimi ve stent pozisyonunun doğrulanması için görüntüleme gerekebilir. Bu işlemlerde operatör ve yardımcı personel hastaya yakın çalıştığı için saçılmış radyasyona maruz kalır (Deininger ve ark., 2024).

Endoskopik retrograd kolanjiyopankreatografi gibi floroskopi eşliğinde yapılan gastrointestinal işlemler de sağlık çalışanları açısından mesleki maruziyet oluşturur. Floroskopi sisteminin masa üstü veya masa altı konumda olması, operatörün el ve gövde dozu üzerinde etkili olabilir (Wang ve ark., 2024). Bu nedenle ameliyathane ve girişim odalarında kullanılan cihazların teknik özellikleri bilinmeli, çalışanlar cihaz tipine göre uygun pozisyon almalıdır.

Radyasyondan Korunmada Zaman İlkesi

Radyasyondan korunmanın temel ilkelerinden biri görüntüleme süresinin azaltılmasıdır. Floroskopi süresi uzadıkça hasta ve çalışan maruziyeti artar. Bu nedenle gereksiz görüntüleme yapılmamalı, skopi yalnızca klinik olarak gerekli olduğunda kullanılmalıdır. Cerrah ve skopi teknisyeni arasında açık iletişim kurulmalı, görüntüleme başlamadan önce tüm ekip hazır olmalıdır (Kaplan ve ark., 2016).

Floroskopi süresini azaltmak için pulsed fluoroscopy tercih edilebilir. Pulsed mod, sürekli görüntüleme yerine aralıklı görüntü sağlayarak dozu azaltır; bir çalışmada pulsed düşük doz floroskopi protokolünün floroskopi süresini ve radyasyon dozunu görüntü kalitesinden ödün vermeksizin anlamlı biçimde azalttığı gösterilmiştir (Jenkins ve ark., 2021). Düşük doz modu, son görüntüyü tutma özelliği ve kolimasyon gibi teknikler de maruziyeti azaltmada etkilidir. Ortopedik cerrahide ALARA prensibini ele alan çalışmalar, floroskopi süresinin azaltılmasının ve uygun cihaz ayarlarının çalışan güvenliği açısından temel yaklaşımlar olduğunu vurgulamaktadır (Kaplan ve ark., 2016).

Radyasyondan Korunmada Mesafe İlkesi

Radyasyon şiddeti mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır. Bu nedenle kaynaktan uzaklaşmak radyasyondan korunmanın en basit ve en etkili yollarından biridir. Görüntüleme sırasında skopi cihazına veya hastaya gereksiz yere yakın durulmamalıdır. İşlem için aktif olarak gerekli olmayan personel birkaç adım geri çekilmelidir (Azmoonfar ve ark., 2024).

Travma ameliyathanesinde yapılan çalışmalarda radyasyon maruziyetinin C koluna yakın bölgelerde daha yüksek olduğu, mesafe arttıkça maruziyetin belirgin biçimde azaldığı gösterilmiştir (Thibault ve ark., 2025). Bu ilişki ortopedik ameliyathane ortamında da teyit edilmiş; farklı pozisyonlardaki saçılmış radyasyon ölçümleri cerrahın konumunun doz üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymuştur (Dorman ve ark., 2023). Bu nedenle ameliyathanede çalışan tüm personelin görüntüleme anında nerede durması gerektiği konusunda eğitilmiş olması gerekir.

Radyasyondan Korunmada Bariyer ve Koruyucu Ekipman

Koruyucu ekipman kullanımı ameliyathanede radyasyon güvenliğinin temel unsurlarındandır. Kurşun önlük, tiroid koruyucu,

kurşun gözlük, kurşun eldiven ve mobil bariyerler çalışan maruziyetini azaltır. Çok merkezli bir derleme çalışmasında kurşun önlüğün tek başına saçılmış radyasyon dozunu yaklaşık %90 oranında azalttığı bildirilmiştir (Okraku-Yirenkyi ve ark., 2024). Ancak koruyucu ekipmanın etkili olabilmesi için doğru seçilmesi, doğru kullanılması ve düzenli kontrol edilmesi gerekir.

Kurşun önlükler genellikle 0,35 veya 0,5 mm kurşun eşdeğerinde olabilir. Uzun süreli ve yüksek dozlu işlemlerde daha yüksek koruma sağlayan ekipman tercih edilebilir. Tiroid koruyucular boyun bölgesini korur ve özellikle floroskopi sırasında standart olarak kullanılmalıdır. Kurşun gözlükler lens dozunu azaltarak katarakt riskini düşürür; bu konuda yapılan çalışmalarda kurşun gözlük kullanımının göz merceği dozunu 2,5 ila 4,5 kat azalttığı gösterilmiştir (Okraku-Yirenkyi ve ark., 2024). Mobil kurşun paravanlar özellikle hibrit ameliyathanelerde ve uzun süren girişimlerde etkili koruma sağlar.

Koruyucu ekipmanlar katlanarak saklanmamalı, uygun askılarda muhafaza edilmelidir. Çatlak, kırık veya deformasyon varlığı düzenli olarak kontrol edilmelidir. Hasarlı koruyucu ekipman çalışanı yanlış bir güvenlik hissine sokabilir ve gerçek koruma sağlamayabilir (Azmoonfar ve ark., 2024).

C Kolu Pozisyonlandırması

C kolunun doğru pozisyonlandırılması çalışan dozunu belirgin şekilde etkiler. Genel olarak X ışını tüpünün masa altında, dedektörün ise hastaya yakın konumlandırılması önerilir. Bu düzenleme saçılmış radyasyonun ameliyathane personeline ulaşma miktarını azaltabilir. Dedektörün hastadan uzak olması görüntü kalitesini bozabileceği gibi cihazın daha yüksek doz kullanmasına da neden olabilir (Dorman ve ark., 2023).

Lateral görüntülemelerde saçılmış radyasyon miktarı artar. Bu durumda personelin tüp tarafında değil, mümkünse dedektör tarafında bulunması gerekir. Cerrahın eli doğrudan ışın demetine sokulmamalıdır. Elin görüntü alanına girmesi hem çalışan dozunu artırır hem de cihazın otomatik doz ayarını yükselterek genel maruziyeti artırabilir (Kaplan ve ark., 2016).

Dozimetre Kullanımı ve Maruziyet Takibi

Kişisel dozimetreler çalışanların mesleki radyasyon maruziyetini izlemek için kullanılır. Floroskopi kullanılan ameliyathanelerde düzenli dozimetre takibi yapılmalıdır. Dozimetre genellikle boyun seviyesinde ve kurşun önlük dışında taşınmalıdır. Yüksek riskli alanlarda çalışan personelde çift dozimetre kullanılabilir. Bu durumda bir dozimetre kurşun önlük dışında, diğeri önlük altında taşınarak hem yüzeyel hem de efektif doz hakkında bilgi sağlanabilir (Azmoonfar ve ark., 2024).

Dozimetre sonuçları düzenli olarak kayıt altına alınmalı ve değerlendirilmelidir. Kore'de yapılan geniş kapsamlı bir çalışmada, dozimetre uyumunun düşük olduğu durumlarda gerçek mesleki maruziyetin kayıtlı dozun yaklaşık iki katına ulaşabildiği gösterilmiştir (Lee ve ark., 2022). Olağan dışı yüksek doz saptandığında neden araştırılmalı, işlem türü, cihaz ayarları, ekipman kullanımı ve çalışan pozisyonu gözden geçirilmelidir. Dozimetre takibi yalnızca yasal bir zorunluluk olarak değil, aktif bir iş sağlığı uygulaması olarak değerlendirilmelidir.

ALARA Prensibi

ALARA prensibi, radyasyon güvenliğinin temel yaklaşımıdır. Bu prensibe göre radyasyon dozu, tanısal veya cerrahi amaçtan ödün vermeden makul olarak ulaşılabilecek en düşük düzeyde tutulmalıdır. ALARA yalnızca tek bir teknik önlem değil, bütüncül bir güvenlik kültürüdür (Rehani ve ark., 2010).

ALARA yaklaşımı işlem öncesi planlama ile başlar. İşlem sırasında görüntüleme ihtiyacı öngörölmeli, ekip rolleri belirlenmeli, cihaz ayarları kontrol edilmeli ve koruyucu ekipman hazır bulunmalıdır. İşlem sırasında gereksiz skopiden kaçınılmalı, düşük doz modları kullanılmalı, kolimasyon yapılmalı ve son görüntüyü tutma özelliğinden yararlanılmalıdır. İşlem sonrasında ise doz verileri değeriendirilmeli ve gerekirse süreç iyileştirmesi yapılmalıdır (Kaplan ve ark., 2016).

Gebelik ve Radyasyon Güvenliğı

Gebelik döneminde radyasyon güvenliğı hem çalışan hem de fetüs açısından özel önem taşır. Gebe çalışanların radyasyonla ilişkili alanlarda görev yapması durumunda risk değeriendirmesi yapılmalı, maruziyet mümkün olan en düşük düzeye indirilmelidir. Uluslararası kılavuzlar, tüm gebelik sürecinde fetüsün aldığı kümülatif dozun 1 mGy'yi aşmamasını önermektedir (Dauer ve ark., 2015). Gebelik bildirimi sonrasında kurumun iş sağığı ve radyasyon güvenliğı birimleri tarafından çalışma düzeni gözden geçirilmelidir.

Gebe çalışanlarda ek dozimetre kullanımı, uygun koruyucu ekipman, görev yeri düzenlemesi ve yüksek dozlu işlemlerden uzaklaştırma gibi önlemler değeriendirilebilir. Gebelik durumunda amaç çalışanı tamamen iş yaşamından uzaklaştırmak değeri, güvenli çalışma koşullarını sağlamaktır. Bu süreçte çalışan mahremiyeti korunmalı ve düzenlemeler bilimsel esaslara göre yapılmalıdır (Dauer ve ark., 2015).

Pediyatrik Hastalarda Radyasyon Güvenliğı

Çocuk hastalar radyasyona erişkinlerden daha duyarlıdır. Hücresel çoğalmanın daha aktif olması ve yaşam beklentisinin uzun olması nedeniyle radyasyonun geç etkileri açısından daha yüksek risk taşırlar. Pediyatrik cerrahi işlemlerde floroskopi kullanımı gerekiyorsa doz optimizasyonu özellikle önemlidir (Ubeda, 2023).

Pediyatrik olgularda görüntüleme alanı daraltılmalı, d    k doz protokolleri kullanılmalı, gereksiz tekrar çekimlerden kaçınılmalı ve işlem öncesi planlama dikkatli yapılmalıdır. Çocuklarda floroskopi optimizasyon protokollerinin uygulandığı çalışmalarda doz alan ürünü ve floroskopi süresinin cerrahi sonuçları olumsuz etkilemeksizin anlamlı biçimde azaltılabildi i gösterilmiştir (Abdulahdy ve ark., 2020). Çocuğun uygun pozisyonlanması ve hareketsizli inin sağlanması görüntü tekrarlarını azaltabilir. Bu nedenle cerrahi ekip, anestezi ekibi ve skopi teknisyeni arasında koordinasyon gereklidir.

Eğitim ve Farkındalık

Ameliyathanede radyasyon güvenliğinin en önemli bileşenlerinden biri eğitimidir.  alı malar, cerrahi ekiplerin radyasyon güvenliği konusunda bilgi eksiklikleri olabileceğini göstermektedir. Ortopedik cerrahlar üzerinde yapılan geniş kapsamlı bir ulusal ankette katılımcıların yarısından fazlasının (%51,8) radyasyon güvenliğine ilişkin formal eğitim almadığı, buna karşın büyük çoğunluğunun (%97,6) ameliyathanede zorunlu radyasyon güvenliği eğitimini desteklediği bildirilmiştir (Karavadra ve ark., 2021). Eğitim eksikliği; koruyucu ekipmanın düzensiz kullanılması, dozimetre takibinin ihmal edilmesi, C kolu pozisyonlandırmasının yanlış yapılması ve gereksiz skopi kullanımına neden olabilir.

Eğitim programları yalnızca teorik bilgi vermekle sınırlı olmamalıdır. Ameliyathane içinde uygulamalı eğitimler yapılmalı, doğru pozisyonlanma gösterilmeli, koruyucu ekipman kullanımı denetlenmeli ve cihazın d    k doz özellikleri öğretilmelidir. Yapılandırılmış eğitim programının uygulandığı bir çalışmada,  roloji ameliyathanesinde çalışan personelin radyasyon güvenliği bilgi düzeyinin eğitim öncesine kıyasla anlamlı ölçüde arttığı gösterilmiştir (Kumal ve ark., 2021). Yeni ba layan personel i e

uyum sürecinde radyasyon güvenliği eğitimi almalı, mevcut çalışanlar için düzenli aralıklarla güncelleme eğitimleri yapılmalıdır.

Kurumsal Güvenlik Politikaları

Radyasyon güvenliği bireysel sorumluluk kadar kurumsal bir sorumluluktur. Kurumlarda radyasyon güvenliği komitesi veya sorumlu birimi bulunmalı, floroskopi kullanılan alanlar düzenli olarak denetlenmelidir. Cihazların bakım ve kalite kontrol testleri zamanında yapılmalı, koruyucu ekipmanların envanteri tutulmalı ve hasarlı ekipman kullanımdan kaldırılmalıdır (Rehani ve ark., 2010).

Kurumsal politikalar yazılı protokoller halinde hazırlanmalıdır. Bu protokollerde skopi kullanım endikasyonları, dozimetre kullanımı, gebe çalışanların korunması, koruyucu ekipman standartları, cihaz bakım süreçleri, eğitim planları ve olay bildirim süreçleri yer almalıdır. Radyasyon güvenliği kültürü yalnızca kural koymakla değil, bu kuralların düzenli denetimi ve çalışan katılımı ile sürdürülebilir hale gelir (Azmoonfar ve ark., 2024).

Teknolojik Gelişmeler ve Doz Azaltma Yöntemleri

Yeni görüntüleme teknolojileri radyasyon güvenliği açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Düşük doz floroskopi modları, pulsed fluoroscopy, dijital görüntü işleme, son görüntüyü tutma özelliği, kolimasyon, navigasyon sistemleri, robotik yardımcı cerrahi ve yapay zekâ destekli görüntüleme uygulamaları doz azaltmada kullanılabilir (Jenkins ve ark., 2021).

Ancak yeni teknolojiler her zaman otomatik olarak daha düşük toplam radyasyon anlamına gelmez. Bazı sistemler çalışan dozunu azaltırken hasta dozunu artırabilir. Bu nedenle her teknoloji, işlem tipi ve hasta özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Doz azaltma stratejilerinde temel amaç görüntü kalitesini klinik

olarak yeterli düzeyde tutarken gereksiz radyasyon kullanımını önlemektir (Bratschitsch ve ark., 2019).

Ameliyathane Ekibi İçin Pratik Güvenlik Yaklaşımı

Floroskopi kullanılan her işlem öncesinde ekip kısa bir güvenlik değerlendirmesi yapmalıdır. Skopi cihazının konumu, görüntüleme yönü, koruyucu ekipmanların varlığı, gebe personel olup olmadığı ve işlemde kimin nerede duracağı belirlenmelidir. Görüntüleme sırasında yalnızca gerekli personel hasta çevresinde bulunmalı, diğer çalışanlar mesafeyi artırmalıdır (Azmoonfar ve ark., 2024).

Cerrah, skopi teknisyeni ve hemşire arasında açık iletişim kurulmalıdır. Skopi kullanılmadan önce sesli uyarı verilmesi, personelin pozisyon almasına olanak sağlar. İşlem sonunda floroskopi süresi ve doz göstergeleri değerlendirilebilir. Özellikle yüksek dozlu veya uzun süren işlemler sonrasında ekip içi geri bildirim yapılması kalite iyileştirme açısından yararlıdır (Kaplan ve ark., 2016).

Sonuç

Floroskopik görüntüleme modern cerrahinin vazgeçilmez araçlarından biridir. Bununla birlikte ameliyathane ortamında iyonizan radyasyon maruziyeti hasta ve çalışan güvenliği açısından dikkatle yönetilmesi gereken bir risktir. Cerrahlar, anestezi ekibi, hemşireler, teknisyenler ve diğer sağlık çalışanları işlem türüne ve ameliyathane içindeki konumlarına bağlı olarak farklı düzeylerde radyasyona maruz kalabilir (Okraku-Yirenkyi ve ark., 2024).

Radyasyonun deterministik ve stokastik etkileri göz önünde bulundurulduğunda, korunma stratejilerinin sistematik biçimde uygulanması zorunludur. Zamanın azaltılması, mesafenin artırılması, koruyucu ekipman kullanılması, C kolunun doğru konumlandırılması, dozimetre takibi, düzenli eğitim ve kurumsal

protokoller radyasyon güvenliğinin temel bileşenleridir (Rehani ve ark., 2010; Kaplan ve ark., 2016).

Ameliyathanede radyasyon güvenliği yalnızca bireysel dikkatle sağlanamaz. Etkin bir güvenlik kültürü; eğitimli personel, doğru teknoloji kullanımı, düzenli denetim, ekip iletişimi ve kurumsal sorumluluk ile mümkündür. Bu yaklaşım hem hastaların hem de sağlık çalışanlarının uzun dönem güvenliği açısından vazgeçilmezdir (Azmoonfar ve ark., 2024).

Kaynakça

Abdulhady, H. A., Shouman, A. E., Ziada, A. M., & Yousif, M. (2020). Fluoroscopic imaging optimization in children during percutaneous nephrolithotripsy. *Journal of Pediatric Urology*, 16(5), 643–648.

Azmoonfar, R., Moslehi, M., Khoshghadam, A., & Khodaveisi, T. (2024). Occupational radiation exposure of surgical teams: A mini-review on radiation protection in the operating room. *Avicenna Journal of Care and Health in Operating Room*.

Bratschitsch, G., Leitner, L., Stücklschweiger, G., Guss, H., Sadoghi, P., Puchwein, P., Leithner, A., & Radl, R. (2019). Radiation exposure of patient and operating room personnel by fluoroscopy and navigation during spinal surgery. *Scientific Reports*, 9.

Cewe, P., Vorbau, R., Omar, A., Elmi-Terander, A., & Edström, E. (2021). Radiation distribution in a hybrid operating room, utilizing different X-ray imaging systems: Investigations to minimize occupational exposure. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, 14, 1139-1144.

Dauer, L. T., Miller, D. L., Schueler, B., Silberzweig, J. E., Abbott, P., Balter, S., Bartal, G., Chambers, C. E., Choti, M. A., & Bhatt, D. L. (2015). Occupational radiation protection of pregnant or potentially pregnant workers in IR: A joint guideline of the Society of Interventional Radiology and the Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 26(2), 171-181.

Deininger, S., Nairz, O., Dieplinger, A. M., Deininger, C., Lusuardi, L., Ramesmayer, C., Peters, J., Oswald, D., Pallauf, M., Bauer, S., Brandt, M. C., & Törzsök, P. (2024). Real-Time Dosimetry in Endourology: Tracking Staff Radiation Risks. *Diagnostics (Basel)*,

Switzerland), 14(16), 1763.
<https://doi.org/10.3390/diagnostics14161763>

Dorman, T., Drever, B., Plumridge, S., Gregory, K., Cooper, M., Roderick, A., & Arruzza, E. (2023). Radiation dose to staff from medical X-ray scatter in the orthopaedic theatre. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie*, 33(7), 3059–3065. <https://doi.org/10.1007/s00590-023-03538-6>

International Commission on Radiological Protection. (2012). ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—Threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. *Annals of the ICRP*, 41(1-2), 1-322.

Jenkins, N. W., Parrish, J. M., Sheha, E. D., & Singh, K. (2021). Intraoperative risks of radiation exposure for the surgeon and patient. *Annals of Translational Medicine*, 9(1), 84.

Kaplan, D., Patel, J. N., Liporace, F. A., & Yoon, R. S. (2016). Intraoperative radiation safety in orthopaedics: A review of the ALARA principle. *Patient Safety in Surgery*, 10.

Karavadra, K., Banstola, S., Ashwood, N., Gill, C., Fazal, M. A., & Lacon, A. (2025). A Cross-Sectional Survey Evaluating the Knowledge of Orthopaedic Surgeons in Intraoperative Radiation Safety Precautions. *Cureus*, 17(11), e97086.
<https://doi.org/10.7759/cureus.97086>

Kumar, V., Kumar Pal, A., Ks, S., Manikandan, R., Dorairajan, L. N., Kalra, S., Kandasamy, S., & Khan, M. (2021). Effect of Structured Educational Program on Practices of Radiation Safety Measures Among Health Care Providers in Urology Operation

Theater. *Cureus*, 13(6),e15765.

<https://doi.org/10.7759/cureus.15765>

Lee, W. J., Jang, E. J., Kim, K. S., & Bang, Y. J. (2022). Underestimation of Radiation Doses by Compliance of Wearing Dosimeters among Fluoroscopically-Guided Interventional Medical Workers in Korea. *International journal of environmental research and public health*, 19(14), 8393. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148393>

Okraku-Yirenskyi, N. K., Bonthu, S. S. R., Bhakta, H., Duyile, O. O., & Bernas, M. (2026). Occupational Radiation Risk Stratification and Protection in Fluoroscopy-Guided Surgeons and Interventionalists: A Multispecialty Structured Narrative Review. *Journal of personalized medicine*, 16(1), 50. <https://doi.org/10.3390/jpm16010050>

Rashid, M., Aziz, S., Haydar, S., Fleming, S., & Datta, A. (2017). Intra-operative fluoroscopic radiation exposure in orthopaedic trauma theatre. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 28, 9-14.

Rehani, M. M., Ciraj-Bjelac, O., Vaňó, E., Miller, D. L., Walsh, S., Giordano, B. D., Persliden, J., & International Commission on Radiological Protection. (2010). Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. *Annals of the ICRP*, 40(6), 1-102.

Thibault, J., Naciri, W., Rouleau, D., & Chapleau, J. (2025). Intraoperative radiation exposure in a level 1 trauma centre orthopedic operating room. *Canadian Journal of Surgery*, 68, E235-E241.

Ubeda, C. (2023). New optimization strategies on radiation protection in fluoroscopy-guided interventional procedures in pediatrics. *Children*, 10(5), 883.

Van Berkel, B., Smets, G., Van Schelverghem, G., Houben, E., Peuskens, D., Daenekindt, T., Buelens, E., Weyns, F., Nens, J., Houben, A. M., & Van Cauter, S. (2021). Comparison of radiation exposure of AIRO intraoperative CT with C-arm fluoroscopy during posterior lumbar interbody fusion. *Applied Sciences*, 11.

Vano, E., Kleiman, N. J., Duran, A., Rehani, M. M., Echeverri, D., & Cabrera, M. (2013). Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: Results of a survey and direct assessments. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 24(2), 197-204.

Wang, Y. S., Wu, Y., Tseng, W. J., Huang, C. J., & Chen, C. Y. (2024). Radiation exposure in therapeutic endoscopic retrograde cholangiopancreatography with two types of fluoroscopy systems. *Advances in Digestive Medicine*, 12.

Watanabe, S., Nakanishi, K., Mura, M., Yutori, A., Hitomi, G., Uchino, K., Iba, H., Sugimoto, Y., & Mitani, S. (2024). Investigation of radiation exposure of medical staff during lateral fluoroscopy for posterior spinal fusion surgery. *Journal of Clinical Medicine*, 13.

AMELİYATHANEDE ELEKTRİK GÜVENLİĞİ VE ELEKTRİK KAÇAKLARI

DİNÇER FIRAT ŞEKER¹

Giriş

Modern ameliyathane, onlarca elektronik cihazın eş zamanlı çalıştığı, karmaşık bir elektrik altyapıya sahip bir ortamdır. Anestezi makinesi, elektrocerrahi ünitesi (ESÜ), kardiyak monitör, infüzyon pompası, ısıtma sistemleri ve görüntüleme ekipmanları; tek bir operasyon sırasında hasta ile doğrudan ya da dolaylı temas halinde olan bu cihazların tamamı potansiyel elektrik tehlikesi barındırmaktadır. Hastane kaynaklı elektriksel kazaların %40'ının ameliyathanede yaşandığı saptanmıştır; bu oran, ameliyathaneyi hastane içinde elektrik kaynaklı kazalar açısından en kritik çalışma ortamlarından biri olarak öne çıkarmaktadır (Ehrenwerth & Seifert, 2017).

Ameliyathane ortamının elektrik açısından tehlikeli kabul edilmesinin birkaç temel nedeni vardır. Her şeyden önce, zemine dökülen serum fizyolojik, irrigasyon sıvısı veya kan gibi iletken sıvılar nedeniyle bu ortam "ıslak" ortam olarak sınıflandırılmaktadır.

¹ Uzman Doktor, Zonguldak Atatürk Devlet Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Bölümü, Orcid: 0000-0003-4271-2631

Nitekim Amerikan Yangın Koruma Derneği (NFPA), 2012 yılında özel risk değerlendirmesi yapılmadıkça tüm ameliyathanelerin ıslak ortam sayılması gerektiğine karar vermiştir (Barker & Doyle, 2010; Strupp, 2023). Öte yandan hastaların büyük çoğunluğu, santral venöz kateter, pace-maker elektrodu veya pulmoner arter kateteri gibi kalp ile doğrudan elektrik iletimi sağlayan araçlar aracılığıyla "elektriksel açıdan duyarlı hasta" konumuna girmektedir. Bu durum, çok düşük akım yoğunluklarının bile ölümcül kardiyak aritmiye yol açabileceği bir risk tablosu yaratmaktadır (Ehrenwerth & Seifert, 2017).

Anestezi uzmanı, ameliyathanedeki elektrik güvenliğinin yalnızca teknik altyapıyla değil, klinik karar verme süreçleriyle de doğrudan ilgili olduğunu kavramak durumundadır. Yanlış yerleştirilen bir topraklama pedi, arızalı bir ESÜ veya Hat İzolasyon Monitörü (HİM) alarımının göz ardı edilmesi, ağır klinik sonuçlara ya da personel yaralanmasına neden olabilir (Salvaraji ve ark., 2022). Bu bölümde ameliyathanedeki elektrik güvenliğinin fiziksel temelleri, elektrik kaçaklarının mekanizmaları, makroşok ve mikroşok riskleri, elektrocerrahi güvenliği ile yangın önleme konuları güncel kanıtlar ve uluslararası kılavuzlar ışığında ele alınmaktadır.

Ameliyathanede Elektrik Güvenliğinin Temelleri

Ohm Yasası ve Elektrik Akımının Biyolojik Etkileri

Elektriğin temel yasası olan Ohm Yasası, gerilim (V), akım (I) ve direnç (R) arasındaki ilişkiyi $V = I \times R$ denkleminde tanımlar. Ameliyathanede bu ilişki, hastanın vücudu üzerinden geçen akımın büyüklüğünü ve biyolojik hasarı belirlemesi açısından doğrudan klinik önem taşır. İnsan derisinin direnci, kuru koşullarda binlerce ohm düzeyindeyken nemli ortamda ya da müköz membranlar aracılığıyla belirgin biçimde düşer; dolayısıyla ameliyathane ortamında vücuttan geçen akım miktarı günlük yaşama kıyasla çok

daha yüksek olabilir (Ehrenwerth & Seifert, 2017; Gibby ve ark., 2013).

Elektriksel şok, akımın büyüklüğüne göre farklı klinik tablolar doğurur. 1 mA'nın altındaki akımlar algılanamaz; 1 mA eşik değeri, tipik olarak deriden uygulanan akımın hissedilebildiği en düşük değer olarak kabul edilmektedir. 10-20 mA akım, iskelet kaslarında tetanik kasılmaya yol açarak bireyin akım kaynağını bırakamamasına ("let-go" sınırı) neden olur. 50-100 mA aralığındaki akım ise ventriküler fibrilasyonu başlatabilir. Tüm bu eşik değerleri, derideki toprak yüzeyine uygulanan makroşok için geçerlidir; doğrudan miyokarda uygulanan mikroşokta ise bu eşikler dramatik biçimde düşer; yalnızca 50-100 μ A'lık bir akım ventriküler fibrilasyona neden olmak için yeterlidir (Strupp, 2023; Ehrenwerth & Seifert, 2017).

Topraklama Sistemleri ve İzole Güç Kaynağı

Ev tipi elektrik tesisatında kullanılan topraklı güç sisteminde, besleme hatlarından biri toprağa bağlıdır; bu nedenle herhangi bir iletken yüzeye temas eden birey, hâlihazırda toprakla temas halindeyse devresi tamamlanarak şok alabilir. Ameliyathanede bu risk, izole güç kaynağı (İGK) sistemiyle azaltılır. İzolasyon transformatörü, dağıtım şebekesinden gelen topraklı gücü, her iki hattın da topraktan bağımsız olduğu izole bir güç sistemine dönüştürür. Bu sistemde herhangi bir hatta temas eden birey, ikinci bir temas noktası oluşturmadığı sürece devre tamamlanmaz ve şok almaz (Gibby ve ark., 2013; Ehrenwerth & Seifert, 2017).

İzole güç sisteminin sunduğu bu güvenlik avantajı mutlak değildir. Tüm AC hatları ve cihazlar, parazit kapasitans (stray capacitance) nedeniyle küçük miktarlarda kaçak akıma sahiptir. Bu kaçak akımlar toplanarak sistemi kısmi düzeyde topraklanmış hale getirebilir. Ayrıca arızalı bir cihaz prize takıldığında, izolasyon birinci arıza (first fault) olarak bozulur; sistem artık topraklı güç

kaynağına eşdeğer hale gelir. İkinci bir arıza oluştuğunda ise ciddi bir şok riski doğar. Bu nedenle İGK'nın bütünlüğünü sürekli izlemek amacıyla HİM kullanılmaktadır (Ehrenwerth & Seifert, 2017; Doyle, 2017).

Hat İzolasyon Monitörü ve Kaçak Akım Devre Kesicisi

Hat İzolasyon Monitörü, izole güç sisteminin topraktan bağımsızlığını sürekli olarak ölçer ve potansiyel kaçak akım değerini miliamper cinsinden görüntüler. Eski nesil HİM cihazları 2 mA'da, daha yeni modeller ise 5 mA'da alarm verir; alarm tetiklendiğinde sesli ve görsel uyarı devreye girer. HİM alarmı her zaman anlık bir tehlikeye işaret etmez; bağlı cihazların birikimsel kaçak akımı eşik değeri aşabilir ve tek başına bu durum, her iki hatta da ikinci bir arıza bulunmadığı sürece kritik bir risk oluşturmaz. (Strupp, 2023; Ehrenwerth & Seifert, 2017).

HİM alarm verdiğinde ilk yapılması gereken, en son prize takılan cihazı çekmektir. Alarm duruyor ise sorunun kaynağı o cihazda aranmalı ve servis dışı bırakılmalıdır. Alarm sürüyorsa her cihaz sırayla çekilmeli, kaynağın tespitine çalışılmalıdır. Alarm kaynağı kardiyopulmoner bypass pompası ya da defibrilatör gibi vazgeçilmez bir cihaza dayanıyorsa kullanım sürdürülebilir; ancak bu noktada İGK artık koruyucu işlevini yitirmiştir ve ortama yeni cihaz eklenmemelidir. Alarmin yalnızca sesini kapatmak sorunu ortadan kaldırmaz, klinisyeni kritik bir uyarıdan yoksun bırakmaktan başka bir işe yaramaz (Gibby ve ark., 2013; Doyle, 2017).

Kaçak akım devre kesicisi (KADK), topraklı güç sistemlerinde kullanılan ve faz ile nötr hatlardaki akım dengesizliğini algılayarak devre dışı bırakan bir güvenlik cihazıdır. KADK, 5 mA'lık bir fark algıladığında milisaniyeler içinde devreyi keser. Ameliyathanede KADK kullanımının dezavantajı, sistemi uyarı vermeksizin kesmesidir; bu durum hayati öneme sahip cihazların ani olarak devre dışı kalmasına neden olabilir. Bu nedenle

ameliyathanelerin büyük çoğunluğu izole güç sistemini tercih etmektedir (Barker & Doyle, 2010; Ehrenwerth & Seifert, 2017).

Makroşok ve Mikroşok

Makroşok, akımın derideki iki temas noktası arasında ve vücudun geniş bir kesimiyle iletilmesiyle oluşur. Bir bireyin deri direnci 1000 ohm olduğunda, 120 V'luk bir beslemede üzerinden yaklaşık 120 mA akım geçer; bu değer ventriküler fibrilasyona neden olmak için yeterlidir. Makroşok, ampermetre ölçeğinde ölçülen akımları kapsar ve klinisyenin dokunduğu ya da toprak ile teması olan herhangi bir arızalı cihaz aracılığıyla gerçekleşebilir. Defibrilatör kullanımı sırasında uygulanan akım da hastane personeline makroşok kaynaklı yaralanmalara yol açabilmektedir (Vindigni ve ark., 2017).

Mikroşok ise çok daha sinsi bir tehlikedir. Ventriküler fibrilasyona yol açmak için kalbe doğrudan uygulanan akım eşiği yalnızca 50-100 μ A düzeyindedir; bu değer, insanın algılayabileceği 1 mA eşiğinin çok altındadır. santral venöz kateter, pulmoner artere yerleştirilen kateter veya transvenöz pace-maker teli gibi doğrudan kalpte iletkenlik sağlayan araçlar bulunan hastalar mikroşok açısından yüksek risk taşır. Ameliyathanede izin verilen maksimum kaçak akım değeri 10 μ A olup bu sınır, HİM ve KADK eşiklerinin çok altındadır. Bu nedenle izole güç sistemi bile mikroşok riskini tamamen ortadan kaldırmaz; kaçak akıma duyarlı hastalar için ek önlemler gerekmektedir. Söz konusu hastalarda tüm elektrikli ekipmanın toprak kablolarının bütünlüğünü korumak ve gereksiz elektrik ekipmanının ortamdaki uzaklaştırılması kritik önem taşır (Salvaraji ve ark., 2022; Strupp, 2023).

Elektrocerrahi Ünitesi: Güvenli Kullanım İlkeleri

Elektrocerrahi ünitesi, cerrahi pratikte doku kesme ve koagülasyon amacıyla en sık kullanılan enerji kaynağıdır. ESÜ, 100

kilohertz ile 5 megahertz arasındaki yüksek frekanslı alternatif akımı 200-10.000 volt arasında değişen gerilimde üretir. Bu yüksek frekanslı akım kardiyak aritmiye ya da tetanik kas kasılmasına neden olmaz; buna karşın doku rezistansı aracılığıyla ısıya dönüşerek kesme ve koagülasyon etkisi oluşturur (Cordero, 2015).

Monopolar ESÜ kullanımında aktif elektrot cerrahi alana, dağıtıcı elektrot (topraklama pedi) ise hastanın uzak bir bölgesine yerleştirilir. Devreler tamamlandığında akım, aktif elektrottan doku içine geçerek dağıtıcı elektrot aracılığıyla üniteye geri döner. Dağıtıcı elektrodun görevi, geniş bir yüzey alanı üzerinden akım yoğunluğunu dağıtarak doku hasarını önlemektir. Buna karşın 1996-1998 yılları arasında ABD Gıda ve İlaç Dairesi'ne (FDA) yalnızca topraklama pedi yerleşiminden kaynaklanan 628 yanık vakası bildirilmiştir. Yanık riski; pedinin yetersiz temas etmesi, sıvı aracılığıyla kayması, yırtık ya da delinme içermesi ve pedin boyutuyla vücut yüzeyinin uyumsuzluğu gibi faktörlerle ilişkilidir (Cordero, 2015; Ehrenwerth & Seifert, 2017).

Bipolar ESÜ'de ise aktif ve dağıtıcı elektrot işlevleri forsepsin her iki ucunda konumlanır; akım yalnızca forseps uçları arasındaki dokudan geçer ve hastanın geri kalanından izole edilmiş olur. Bu özellik, bipolar ESÜ kullanımında topraklama pedi yanığı riskini ortadan kaldırır.; aynı zamanda ıslak alanda koagülasyon yapılmasına olanak tanır. Bununla birlikte bipolar ESÜ de kusursuz değildir; aşırı ısı uygulanması komşu dokuları etkileyebilir (Cordero, 2015; Doyle, 2017).

Laparoskopik monopolar elektrocerrahide ek tehlikeler söz konusudur. Elektrodu kaplayan yalıtım tabakasının bütünlüğü bozulduğunda, kaçak akım görüntü alanı dışındaki bölgelere ulaşarak gizli yanıklara yol açabilir (yalıtım arızası). Kapasitif bağlanma ise trokardaki metal-plastik-metal düzeneği nedeniyle endojen bir kapasitör oluşarak cerrahi alanın dışında akımın yeniden

iletilmesine neden olur. Her iki mekanizma da cerrahın doğrudan görüş alanı dışında yaralanmayı mümkün kıldığından laparoskopik prosedürlerde özellikle dikkat gerektiren bir güvenlik sorunu teşkil eder; literatürde bu mekanizmaların en az %20 oranında gizli kalabileceği bildirilmektedir (Voyles & Tucker, 1992; Kim ve ark., 2022).

İntrakardiyak cihazı (pacemaker, implante kardiyoverter defibrilatör) bulunan hastalarda monopolar ESÜ kullanımı, elektromanyetik girişim yoluyla cihaz işlev bozukluğuna ya da uygunsuz deşarjlara yol açabilir. Bu hastalarda mümkün olduğunda bipolar elektrocerrahi tercih edilmeli; monopolar kullanılması gerekiyorsa aktif elektrota en yakın anatomik bölgeye, hastanın kardiyak cihazından uzak olacak şekilde topraklama pedi yerleştirilmeli ve intraoperatif EKG monitorizasyonu sürdürülmelidir (Schulman ve ark., 2019; Chia & Tay, 2015).

Ameliyathanede Yangın: Ateş Üçgeni ve Risk Yönetimi

Ameliyathanede yangın nadir fakat potansiyel olarak yıkıcı bir komplikasyondur. Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda 600'den fazla cerrahi yangın vakası meydana geldiği tahmin edilmekte; bu sayının zorunlu bildirimin yapılmadığı durumlarda gerçekte çok daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Ateş üçgeninin üç bileşeni bir arada bulunduğu anda yangın riski ortaya çıkar: bir yakıt kaynağı, bir ateşleyici ve bir oksitleyici madde. Ameliyathanede bu üç unsurun tamamı her an mevcut olabilir (Cowles & Culp, 2019; Apfelbaum ve ark., 2013).

Yakıt kaynakları arasında cerrahi örtüler, gazlı bezler, alkol bazlı deri antiseptikleri, endotrakeal tüpler, hastanın saç ve sindirim sistemi gazları sayılabilir. Bu malzemelerin büyük çoğunluğu ameliyathane hemşiresi tarafından hazırlanmakta ve hemşirenin sorumluluğu altında bulunmaktadır. Ateşleyici kaynaklar arasında monopolar ESÜ ile lazer cihazları ön plandadır; bu cihazlar

genellikle cerrah tarafından kullanılır. Oksitleyici maddeler ise başta oksijen ve nitröz oksit olmak üzere anestezi makinesinden ya da yardımcı oksijen kaynağından sağlanır ve kontrolü anestezi uzmanına aittir (Cowles & Culp, 2019; Apfelbaum ve ark., 2013).

Bu üç elemanın ayrı ayrı farklı ekip üyelerinin kontrolünde olması, ameliyathane yangınlarının önlenabilir olduğu anlamına gelmektedir; ancak aynı zamanda iletişim boşluğu oluştuğunda kazaya zemin hazırladığını da göstermektedir. Nitekim ameliyathane yangını vakalarını inceleyen kapalı talep analizlerinde sorumluluğu artıran temel etken olarak yetersiz ekip iletişimi öne çıkmaktadır. Amerikan Anesteziyologlar Derneği (ASA), yangın riski taşıyan olgularda cerrahın ateşleyici cihazı kullanmadan önce anestezi uzmanını bilgilendirmesini, anestezi uzmanının ise oksijence zengin ortamın varlığını cerraha bildirmesini tavsiye etmektedir (Apfelbaum ve ark., 2013; Cowles & Culp, 2019).

Yüksek riskli senaryolar arasında en dikkat çekici olanı, açık oksijen uygulaması altında yapılan baş-boyun bölgesi cerrahisidir. Kapalı talep analizleri, oksijen kaynağı olarak nazal kanül veya yüz maskesi kullanılan ve monitörize anestezi altında gerçekleştirilen baş-boyun prosedürlerinde yanık hasarının, izlenen anestezi kaynaklı tüm tazminat taleplerinin %20'sini oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu olgularda %100 oksijen yerine hava ile seyreltilmiş karışım kullanmak, ESÜ aktif hale getirilmeden önce en az 1-3 dakika oksijen konsantrasyonunun düşürülmesi ve alkol bazlı antiseptiklerin tamamen kurumasının beklenmesi yangın riskini belirgin biçimde azaltır (Apfelbaum ve ark., 2013; Cowles & Culp, 2019).

Elektrik Güvenliğine Yönelik Klinik Yaklaşım

Ameliyathanede elektrik güvenliğini klinik pratiğe yansıtmak, hem hasta başındaki kararlar hem de kurumsal düzeyde alınan önlemler açısından çok katmanlı bir yaklaşım

gerektirmektedir. Bu yaklaşımın merkezinde, farklı risk profillerindeki hastaların doğru şekilde tanınması ve buna göre önlem alınması yer almaktadır.

Yüksek Riskli Hastanın Tanınması ve Mikroşok Önlemleri

Elektrik açısından yüksek riskli hasta, kalple doğrudan iletken teması olan araçların varlığıyla tanımlanır. Transvenöz geçici pacemaker teli, pulmoner arter kateteri, santral venöz kateter ve epikardiyal pacing elektrodu bu araçların başında gelmektedir. Serum fizyolojik gibi iletken sıvıyla dolu bir kateter, kalp ile dış ortam arasında düşük dirençli bir elektrik yolu oluşturur ve anestezi uzmanının farkında olmadan temas ettiği herhangi bir kaçak akım kaynağından gelen mikroamper düzeyindeki akımı miyokarda iletebilir (Ehrenwerth & Seifert, 2017; Gibby ve ark., 2013). Santral venöz kateterle yapılan basınç izlemeleri için tasarlanan cihazların bu riski en aza indirecek şekilde yüksek empedanslı izolasyon devreleri içerdiği bilinmekle birlikte, anestezi uzmanının bu cihazlara yakın konumlandığı yüksek kaçak akımlı ekipmanlar mevcut güvenlik mekanizmalarını işlevsiz kılabilir (Gibby, 2016).

Elektriksel açıdan duyarlı hastalarda pratik önlemler şu temel ilkeler etrafında şekillenir: Kalple doğrudan temas sağlayan tüm teller ve kateterler, kullanılmadıkları süre boyunca izole bir kılıf içinde tutulmalıdır. Bu hastalara bağlı tüm cihazların toprak bağlantıları operasyon öncesinde biyomedikal tekniker tarafından doğrulanmalı; mümkün olduğunda batarya ile çalışan veya izole girişli EKG monitörü gibi mikroşoka karşı tasarlanmış tip kalp izolasyonlu (CF- cardiac floating) sınıfı cihazlar tercih edilmelidir. Kalple doğrudan temas eden uygulamalarda, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 60601-1 standardının kardiyak CF sınıfı olarak tanımladığı cihazlar kullanılmalıdır ve bu sınıf için izin verilen maksimum kaçak akımı 10 μA ile sınırlandırılmıştır. (Aneskey, 2019; Ehrenwerth & Seifert, 2017). Kardiyak kılavuz teli

veya pacing teli manipüle edilirken doğrudan akım kardiyoversiyon ekipmanının hazır bulundurulması, yaşamı tehdit eden bir aritminin anında müdahale edilebilmesi açısından zorunludur (Gibby, 2016).

İntraoperatif Elektrik Güvenliği Protokolü

Anestezi uzmanının ameliyathane hazırlığında elektrik güvenliğini sistematik biçimde değerlendirmesi, olası risklerin ameliyata başlanmadan önce saptanmasını sağlar. Bu değerlendirme; önlem alınmasını gerektiren yüksek riskli bir hasta olup olmadığının sorgulanmasını, ameliyathane elektriki altyapısının (HİM göstergesi, İGK lambası) fonksiyonel olduğunun teyit edilmesini ve planlanan prosedürde ESÜ ile lazer gibi yüksek enerjili cihazların kullanılıp kullanılmayacağını bilinmesini kapsar. Perioperatif hasta güvenliğine ilişkin sistematik bir derleme, cerrahi güvenlik kontrol listeleri aracılığıyla yapılandırılmış ön değerlendirmelerin advers olay oranlarını anlamlı ölçüde düşürdüğünü ortaya koymaktadır (Martinez-Nicolas ve ark., 2024).

İntraoperatif süreçte anestezi uzmanı, HİM alarmlarını proaktif biçimde izlemeli ve her alarm için sistematik bir yaklaşım benimsemelidir. Bunun yanı sıra elektriksel kaçak akım açısından anlamlı olabilecek klinik belirtileri tanıması da kritik önem taşır. Ameliyathanede ani başlayan açıklanamayan ventriküler fibrilasyon ya da ventriküler taşikardinin ayırıcı tanısında, kardiyak kökenli nedenler öncelikli olarak değerlendirilse de elektriksel şok olasılığı akılda tutulmalıdır. Herhangi bir personelin karıncalanma, uyuşma ya da hafif şok hissi bildirmesi, acil araştırma gerektiren tehlikeli bir duruma işaret eder ve söz konusu cihaz derhal devre dışı bırakılmalıdır (Ehrenwerth & Seifert, 2017; Salvaraji ve ark., 2022).

Cihaz Seçimi ve Ortam Yönetimi

Ameliyathanede kullanılan tıbbi elektrikli cihazların IEC 60601 standartları çerçevesinde sınıflandırılması, hangi cihazın

hangi hasta grubunda güvenle kullanılabileceğini belirler (Şekil 1). Kalple doğrudan temas gerektiren uygulamalarda CF sınıfı cihazlar zorunluyma genel hasta temasında vücutta yüzen (BF- Body Floating) sınıfı cihazlar yeterli kabul edilmektedir. Bu sınıflandırmanın klinisyen tarafından bilinmesi, yanlış cihaz seçiminden kaynaklanabilecek mikroşok riskini önlemenin temel yoludur (Aneskey, 2019). Öte yandan cihaz sınıfından bağımsız olarak, tüm ekipmanın toprak kablo bütünlüğünün korunması ve zemine dökülen iletken sıvıların derhal temizlenmesi, ıslak bir zeminin hem makroşok hem de KADK devresi üzerinde yaratabileceği ani kesintilere karşı öncelikli bir tedbir niteliği taşımaktadır (Barker & Doyle, 2010; Ehrenwerth & Seifert, 2017).

Şekil 1. IEC 60601-1 tıbbi cihaz sınıflandırması

	Tip B (Body)	Tip BF (Body Floating)	Tip CF (Cardiac Floating)
Hasta teması	Genel, yüzeysel	Yüzey + iletken temas	Doğrudan kardiyak
Örnek cihazlar	MRG, yatak, lazer	USG, tansiyon aleti	Geçici kalp pili, pulmoner arter kateteri
İzolasyon	Toprağa bağlanabilir	İzole devre	İzole devre
Kaçak akım limiti	100 µA	100 µA	10 µA

Ameliyathanede kalple doğrudan iletken teması olan tüm uygulamalarda tip CF sınıfı cihaz zorunludur.

Tip B ve BF'nin 100 µA limiti mikroşok eşiğinin (50–100 µA) üzerindedir; kardiyak uygulamalarda yetersiz kalır.

Monopolar ESÜ'nün kardiyak implante edilebilir elektronik cihaz (KIED) taşıyan hastalarda kullanımı, dağıtıcı elektrodun doğru konumlandırılmasına özellikle dikkat gerektirir. Schulman ve ark., 2019 yılında Anesthesiology'de yayımladıkları randomize kontrollü çalışmada, standart bir dağıtıcı elektrot konumlandırma protokolünün elektromanyetik girişimi anlamlı ölçüde azalttığını göstermiştir (Schulman ve ark., 2019). Buna ek olarak implantlı defibrilatörü olan hastalarda tedavi deşarjı veren bir cihazın operasyon öncesinde devre dışı bırakılması, uygunsuz şok riskini

ortadan kaldırır; ancak bu karar kardiyoloji ile ortaklaşa alınmalı ve perioperatif süre boyunca harici defibrilasyon kapasitesi hazır bulundurulmalıdır (Chia & Tay, 2015).

Önleyici Tedbirler ve Kurumsal Güvenlik Kültürü

Ameliyathanede elektrik güvenliğinin sağlanması bireysel önlemlerin ötesinde sistematik bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu yaklaşımın altyapısını oluşturan temel bileşenler şunlardır (Salvaraji ve ark., 2022; Ehrenwerth & Seifert, 2017):

- **Biyomedikal Cihaz Bakımı:** Tüm elektrikli ekipmanın düzenli periyodik bakım ve kalibrasyon programına alınması, toprak kablolarının bütünlüğünün rutin kontrolü ve hasarlı cihazların derhal hizmet dışı bırakılması.
- **Ortam Yönetimi:** Zemine dökülen sıvıların derhal temizlenmesi, uzatma kablosu ve kablo demeti gibi sürçme riskini artıran unsurların zemin düzeyinde toplu düzenlenmesinin önlenmesi, ESÜ topraklama pedinin doğru yüzeye ve yeterli temas alanıyla yapıştirılması.
- **Personel Eğitimi:** HİM alarmlarının doğru yorumlanması, arızalı cihaz tespiti prosedürü, yüksek riskli hasta tanımı ile mikroşok ve makroşok senaryolarına yönelik düzenli eğitim ve tatbikat yapılması.
- **Yangın Hazırlığı:** Yangın söndürücülerin her kadronun bildiği konumlarda bulundurulması, yüksek riskli olgularda ateş üçgeninin unsurlarını ayrı tutmaya yönelik prosedür öncesi brifing yapılması.
- **İzleme ve Raporlama:** Elektrik kaynaklı olayların ve yakın kaçışların sistematik raporlanması, morbidite-

mortalite toplantılarında elektrik güvenliğine ayrı bir yer verilmesi ve kurum çapında güvenlik kültürü oluşturulması.

Uluslararası düzeyde elektrik güvenliği standartları; IEC 60601 serisi (tıbbi elektrikli ekipman), NFPA 99 (sağlık tesislerinde yangın güvenliği) ve Tıbbi Cihazlar Geliştirme Derneği (AAMI) kılavuzları tarafından çerçevelenmektedir. Anestezi pratiğinde ise ASA ve Anestezi Hasta Güvenliği Vakfı (APSF), hem bireysel hem de ekip düzeyinde güvenli uygulama rehberleri yayımlamaktadır. Bu kılavuzlara uyum, teknik altyapı kadar kurumsal politika ve eğitim programları aracılığıyla güvence altına alınmalıdır (Apfelbaum ve ark., 2013; Salvaraji ve ark., 2022).

Sonuç

Ameliyathanede elektrik güvenliği, temel elektrik bilgisinin klinik çevreyle entegre edilmesini gerektiren çok boyutlu bir alandır. İzole güç kaynağı sistemleri ve HİM, makroşok riskine karşı önemli bir koruyucu katman oluşturmaktadır; ancak bu sistemlerin bilinçli yönetimi ve alarm protokollerine uyum olmaksızın etkisi sınırlı kalır. Mikroşok, klinisyenin algılayamayacağı akım düzeylerinde ölümcül olabildiğinden kalple doğrudan iletken teması olan tüm hastalarda IEC 60601 sınıflandırmasına uygun cihaz seçimi ve izole giriş tasarımı zorunludur. Elektrocerrahi, topraklama pedi yerleşiminden laparoskopik kapasitif bağlanmaya ve kardiyak implant girişimine kadar uzanan geniş bir komplikasyon yelpazesini içerir; bu risklerin büyük bölümü preoperatif değerlendirme ve ekip içi iletişimle azaltılabilir niteliktedir. Yangın da dahil olmak üzere tüm bu tehlikelerin ortak paydası, teknik bilgi, sistemli denetim ve güvenlik kültürüyle önlenabilir olmalarıdır (Salvaraji ve ark., 2022; Ehrenwerth & Seifert, 2017).

Kaynakça

Aneskey. (2019). Electrical safety. Anaesthesia Key. (21.05.2026 tarihinde <https://aneskey.com/electrical-safety-3/> adresinden ulaşılmıştır).

Apfelbaum, J. L., Caplan, R. A., Barker, S. J., Connis, R. T., Cowles, C., de Richemond, A. L., ... & Wolf, G. L. (2013). Practice advisory for the prevention and management of operating room fires: An updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Operating Room Fires. *Anesthesiology*, 118(2), 271-290. Doi: 10.1097/ALN.0b013e31827773d2

Barker, S. J., & Doyle, J. (2010). Electrical safety in the operating room: Dry versus wet. *Anesthesia & Analgesia*, 110(6), 1517-1518. Doi: 10.1213/ANE.0b013e3181da7f6d

Chia, P. L., & Tay, E. L. W. (2015). A practical approach to perioperative management of cardiac implantable electronic devices. *Singapore Medical Journal*, 56(10), 538-541. Doi: 10.11622/smedj.2015148

Cordero, I. (2015). Electrosurgical units – how they work and how to use them safely. *Community Eye Health*, 28(89), 15-16.

Cowles, C. E., & Culp, W. C. (2019). Prevention of and response to surgical fires. *BJA Education*, 19(8), 261-266. Doi: 10.1016/j.bjae.2019.03.007

Doyle, D. J. (2017). Electrical safety in the operating room. In J. Ehrenwerth, J. B. Eisenkraft & J. Berry (Eds.), *Anesthesia equipment: Principles and applications* (3rd ed., pp. 449-469). Philadelphia: Elsevier.

Ehrenwerth, J., & Seifert, H. A. (2017). Electrical and fire safety. In P. G. Barash, B. F. Cullen, R. K. Stoelting, M. Cahalan, C.

M. Stock, & R. Ortega (Eds.), Clinical anesthesia (8th ed., pp. 109-139). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Gibby, G. L. (2016). Shock and electrocution. *Anaesthesia Key*. (21.05.2026 tarihinde <https://aneskey.com/shock-and-electrocution/> adresinden ulaşılmıştır).

Gibby, G. L., Lizdas, D. E., & Lampotang, S. (2013). Electrical power and safety in the operating room. University of Florida, Department of Anesthesiology Virtual Anesthesia Machine. <http://vam.anest.ufl.edu/simulations/orelectric.php> adresinden ulaşılmıştır.

Kim, W. J., Son, G. M., Lee, I. Y., Yun, S. U., Jeon, G. R., Shin, D. H., ... & Baek, K. R. (2022). Capacitive coupling leading to electrical skin burn injury during laparoscopic surgery. *Journal of Minimally Invasive Surgery*, 25(3), 106-111. Doi: 10.7602/jmis.2022.25.3.106

Martinez-Nicolas, I., Arnal-Velasco, D., Romero-Garcia, E., Fabregas, N., & Sanduende Otero, Y. (2024). Perioperative patient safety recommendations: Systematic review of clinical practice guidelines. *BJS Open*, 8(6), zrae143. Doi: 10.1093/bjsopen/zrae143

Salvaraji, L., Jeffree, M. S., Awang Lukman, K., Saupin, S., & Avoi, R. (2022). Electrical safety in a hospital setting: A narrative review. *Annals of Medicine and Surgery*, 78, 103781. Doi: 10.1016/j.amsu.2022.103781

Schulman, P. M., Treggiari, M. M., Yanez, N. D., Henrikson, C. A., Jessel, P. M., Wissner, E., & Cronin, B. J. (2019). Electromagnetic interference with protocolized electrosurgery dispersive electrode positioning in patients with implantable cardioverter defibrillators. *Anesthesiology*, 130(4), 530-540. Doi: 10.1097/ALN.0000000000002601

Strupp, K. (2023). Electrical safety in the operating room. OpenAnesthesia.(21.05.2026 tarihinde <https://www.openanesthesia.org/keywords/electrical-safety-in-the-operating-room/> adresinden ulaşılmıştır).

Vindigni, S. M., Lessing, J. N., & Carlbom, D. J. (2017). Hospital resuscitation teams: A review of the risks to the healthcare worker. *Journal of Intensive Care*, 5(1), 59. Doi: 10.1186/s40560-017-0253-9

Voyles, C. R., & Tucker, R. D. (1992). Education and engineering solutions for potential problems with laparoscopic monopolar electrosurgery. *American Journal of Surgery*, 164(1), 57-62. Doi: 10.1016/S0002-9610(05)80638-5

