

ANESTEZİYOLOJİ VE REANİMASYON ALANINDA GÜNCEL METODOLOJİK YAKLAŞIMLAR

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Dilek Atik

Doç. Dr. Bülent Işık

Anesteziyoloji ve Reanimasyon Alanında Güncel Metodolojik Yaklaşımlar

Editörler

Doç. Dr. Dilek Atik

Doç. Dr. Bülent Işık

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editörler
Doç. Dr. Dilek Atik & Doç. Dr. Bülent Işık

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Mart, 2026

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-8513-53-0

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	5
Geriatrik Hastalarda Rejyonal Anestezi	
Ferah Sarıca	
BÖLÜM 2.....	15
Konvansiyonel Risk Skorlamasından Dinamik Algoritmalara: Perioperatif	
Süreçte Yapay Zekâ Tabanlı Modelleme Trendleri	
Gül Çakmak	
BÖLÜM 3.....	37
Toraks Cerrahilerinde Analjezi Ugulamaları	
Engin Ertürk & Ferah Sarıca	



BÖLÜM 1

Geriatrik Hastalarda Rejyonal Anestezi

Ferah Sarıca¹

1. GİRİŞ

Ortalama yaşam süresindeki artış ile birlikte geriatrik popülasyonda cerrahi girişim ihtiyacı belirgin şekilde artmıştır. Günümüzde ortopedik cerrahiler, özellikle kalça kırığı operasyonları, bu yaş grubunda en sık uygulanan girişimler arasında yer almaktadır. Ancak geriatrik hastalarda perioperatif mortalite ve morbidite yalnızca kronolojik yaş ile ilişkili değildir. Azalmış fizyolojik rezerv, frailty, çoklu komorbidite ve polifarmasi perioperatif riskin temel belirleyicileridir.

Rejyonal anestezi (RA), uygun hasta seçimi ve dikkatli planlama ile geriatrik hastalarda önemli avantajlar sağlayabilir. Hava yolu manipülasyonunun azaltılması, sistemik anestezi maruziyetinin sınırlandırılması, opioid gereksiniminin azaltılması ve erken mobilizasyonun desteklenmesi bu avantajların başlıcalarıdır. Bununla birlikte yaşlanmaya bağlı fizyolojik değişiklikler nöroaksiyal blokların yayılımını, süresini ve hemodinamik etkilerini belirgin şekilde değiştirmektedir. Bu nedenle geriatrik hastada rejyonal anestezi uygulaması erişkin standartlarından farklı bir yaklaşım gerektirir.

Bu bölümde geriatrik hastalarda rejyonal anestezi, fizyolojik temeller, klinik karar süreci, teknik seçim, komplikasyon yönetimi ve antikoagülasyon güvenliği çerçevesinde ele alınacaktır.

2. YAŞLANMANIN FİZYOLOJİK TEMELİ VE REJYONAL ANESTEZİYE ETKİSİ

2.1 Kardiyovasküler Rezerv

Yaşlanma ile birlikte arteriyel sertlik artar, miyokardiyal fonksiyonda değişiklikler görülür ve baroreseptör duyarlılığı düşer. Diyastolik disfonksiyon geriatrik hastalarda yaygındır ve bu durum preload bağımlılığını artırır. Nöroaksiyal blok sonrası gelişen sempatik blok, venöz kapasitans artışı ve sistemik vasküler direnç azalması ile sonuçlanır. Genç erişkinlerde tolere edilebilen bu değişiklikler geriatrik hastalarda daha belirgin hipotansiyona yol açabilir.

Hipotansiyonun yalnızca varlığı değil, ne kadar sürdüğü de klinik sonuçlar açısından belirleyici olabilir. Uzun süreli ortalamaya arter basıncı düşüşleri serebral ve renal perfüzyonu etkileyebilir. Bu nedenle geriatrik hastada hedef, yüksek blok

¹ Uzm. Dr., Kayseri Devlet Hastanesi, ORCID: 0000-0002-7327-1974

seviyesi elde etmek değil, yeterli cerrahi anestezi sağlarken hemodinamik stabiliteyi korumaktır.

2.2 BOS Hacmi ve Blok Yayılımı

Yaşlanma ile birlikte lomber subaraknoid aralıkta BOS dağılımı değişebilir. Lomber BOS hacmindeki relatif azalma, intratekal verilen lokal anesteziğin daha geniş dermatom seviyelerine yayılmasına neden olabilir. Bu durum aynı dozun yaşlı hastada daha yüksek blok seviyesine ulaşmasına yol açabilir.

Bu fizyolojik değişiklikler, geriatrik hastalarda daha düşük doz spinal uygulamaların tercih edilmesini desteklemektedir. Amaç, minimal etkili doz ile yeterli cerrahi koşulları sağlamaktır.

2.3 Farmakokinetik ve Farmakodinamik Duyarlılık

Azalmış hepatik kan akımı, düşmüş renal klirens ve plazma protein bağlanmasındaki değişiklikler lokal anesteziklerin farmakokinetiğini etkiler. Serbest ilaç fraksiyonunun artışı sistemik toksisite riskini yükseltebilir. Ayrıca santral sinir sistemi lokal anesteziklere daha duyarlı olabilir.

Bu nedenle geriatrik hastada:

- Minimum etkili doz kullanılmalı
- Fraksiyone enjeksiyon tercih edilmeli
- Ultrason rehberliği yaygınlaştırılmalı
- Lokal anestezi sistemik toksisitesine karşı hazırlıklı olunmalıdır

3. FRAILTY VE FONKSİYONEL DURUM

Geriatrik hastalarda perioperatif risk değerlendirmesi yalnızca kronolojik yaşa dayanmaz. Son yıllarda frailty kavramı, cerrahi sonuçların öngörülmesinde güçlü bir belirteç olarak öne çıkmıştır. Frailty; fizyolojik rezerv kaybı, kas kütlesinde azalma, düşük fiziksel aktivite ve artmış kırılabilirlik ile karakterizedir.

Yüksek frailty skorları postoperatif komplikasyon, yoğun bakım gereksinimi ve mortalite ile ilişkilidir. Ayrıca frailty varlığının postoperatif deliryum ve fonksiyonel kayıp riskini artırdığı gösterilmiştir.

Rejyonal anestezi planlanırken frailty şu açılardan önem taşır:

- Hemodinamik dalgalanmalara tolerans düşüktür.
- Sedatif ajanlara duyarlılık artmıştır.
- Erken mobilizasyon fonksiyonel sonuçlar açısından kritiktir.

Frailty varlığı rejyonal anestezi için bir kontrendikasyon değildir; ancak doz ve teknik seçiminin daha dikkatli yapılmasını gerektirir.

4. REJYONAL ANESTEZİ ÖNCESİ KRİTİK KLİNİK DURUMLAR

Geriatrik hastada teknik seçimi kadar preoperatif klinik stabilite de önemlidir. Azalmış fizyolojik rezerv nedeniyle bazı durumlarda nöroaksiyal blok hemodinamik instabiliteyi derinleştirebilir. Bu nedenle aşağıdaki klinik durumlar dikkatle değerlendirilmelidir.

4.1 Anemi

Özellikle kalça kırığı hastalarında anemi sık görülür. Nöroaksiyal blok sonrası gelişebilecek hipotansiyon, mevcut anemi ile birleştğinde doku oksijen sunumunu azaltabilir. Hemoglobinin düzeyi değerlendirilerek gerekirse preoperatif optimizasyon sağlanmalıdır.

4.2 Hipovolemi

Travma, açlık süresi ve yetersiz sıvı alımı hipovolemiye yol açabilir. Spinal anestezi sonrası venöz kapasitans artışı hipovolemik hastada derin hipotansiyonla sonuçlanabilir. Blok öncesi klinik volüm değerlendirmesi yapılmalı ve kontrollü sıvı replasmanı planlanmalıdır.

4.3 Aritmi ve İletim Bozuklukları

Atriyal fibrilasyon ve iletim sistemi hastalıkları geriatrik hastalarda yaygındır. Yüksek seviyeli nöroaksiyal blok bradikardi riskini artırabilir. Preoperatif EKG değerlendirilmesi önemlidir.

4.4 Ciddi Aort Stenozu

Ciddi aort stenozu varlığında ani sistemik vasküler direnç azalması kardiyak perfüzyonu bozabilir. Bu hastalarda teknik seçimi dikkatle yapılmalı ve hemodinamik hazırlık artırılmalıdır.

4.5 Elektrolit Dengesizlikleri

Hiponatremi ve hiperkalemi aritmi riskini artırabilir. Elektrolit bozuklukları düzeltilmeden planlanan rejyonal anestezi hemodinamik instabiliteye yol açabilir.

Bu değerlendirmelerin amacı rejyonal anesteziden kaçınmak değil; hastayı blok öncesinde optimize etmektir.

5. SANTRAL REJYONAL TEKNİKLER

5.1 Spinal Anestezi ve Düşük Doz Yaklaşımı

Spinal anestezi geriatrik ortopedik cerrahilerde sık tercih edilen bir tekniktir. Ancak erişkin standart dozlarının kullanılması daha yüksek blok seviyesi ve belirgin hipotansiyon ile sonuçlanabilir.

Düşük doz stratejisi ile yeterli cerrahi anestezi sağlanırken hemodinamik stabilite korunabilir. Amaç, minimal etkili doz ile yeterli blok seviyesine ulaşmaktır. Yavaş enjeksiyon ve kontrollü pozisyon değişikliği hemodinamik dalgalanmayı azaltabilir.

5.2 Hemodinamik Yönetim

Spinal anestezi sonrası gelişen hipotansiyonun temel mekanizması sempatik blokaja bağlı vazodilatasyondur. Geriatrik hastalarda azalmış barorefleks yanıt nedeniyle bu durum daha belirgin seyredebilir.

Erken vazopressör kullanımı hemodinamik stabilitenin korunmasında önemlidir. Vazopressör seçimi hastanın kardiyak durumuna göre yapılmalıdır. Amaç, hedef ortalama arter basıncını korumaktır.

5.3 Spinal mi Genel Anestezi mi?

Kalça kırığı cerrahilerinde spinal ve genel anestezi karşılaştırmalarında mortalite açısından belirgin üstünlük gösterilememiştir. Bununla birlikte bazı çalışmalarda rejyonal anestezi uygulanan hastalarda pulmoner komplikasyon oranlarının daha düşük olduğu ve opioid gereksiniminin azaldığı bildirilmiştir.

Teknik seçimi bireyselleştirilmelidir. Geriatrik hastada önemli olan yöntem değil, fizyolojik dengenin korunmasıdır.

6. PERİFERİK SİNİR BLOKLARI VE MULTİMODAL ANALJEZİ

Periferik sinir blokları geriatrik hastalarda yalnızca analjezi sağlamak amacıyla değil, opioid gereksinimini azaltarak sistemik yan etkileri sınırlamak için de önemli bir araçtır. Opioidlerin geriatrik hastalarda solunum depresyonu, konfüzyon, konstipasyon ve üriner retansiyon gibi etkileri daha belirgindir. Bu nedenle minimal opioid kullanımı fonksiyonel iyileşmeye katkı sağlayabilir.

6.1 Kalça Cerrahisinde Blok Seçimi

Kalça eklemi femoral, obturator ve aksesuar obturator sinirlerden duyuşal lifler alır. Fascia iliaca bloğu geniş yayılım alanı nedeniyle sık tercih edilir. PENG (Pericapsular Nerve Group) bloğu ise kalça kapsülünün duyuşal innervasyonunu hedef alır.

Çalışmalarda her iki tekniğin de ağrı skorlarını ve opioid tüketimini azalttığı gösterilmiştir. PENG bloğunun motor fonksiyonun daha fazla korunmasına olanak sağlayabileceği bildirilmiştir. Bu durum özellikle düşme riski yüksek geriyatrik hastalarda önemlidir.

6.2 Sürekli Periferik Kateterler

Sürekli periferik kateterler postoperatif analjeziyi optimize edebilir ve opioid gereksinimini azaltabilir. Ancak geriyatrik hastalarda kateter yönetimi, mobilizasyon planı ve düşme riski nedeniyle multidisipliner değerlendirme gerektirir.

6.3 Geriyatrik Hastalarda Lokal Anestezik Doz Ayarlamaları ve Güvenli Uygulama

Yaşlanmaya bağlı farmakokinetik ve farmakodinamik değişiklikler nedeniyle geriyatrik hastalarda lokal anestezik dozlarının bireyselleştirilmesi önemlidir. Artmış serbest fraksiyon, azalmış hepatik klirens ve kardiyak rezervdeki düşüş, sistemik toksisite riskini artırabilir. Bu nedenle birçok kılavuz erişkin maksimum dozların %20–30 azaltılmasını önermektedir.

Tablo 1. Geriyatrik hastalarda önerilen azaltılmış maksimum lokal anestezik dozları

Lokal Anestezik	Standart Maksimum Doz (mg/kg)	Adrenalinli (mg/kg)	Geriyatrik Hastada Önerilen Azaltım	Geriyatrik Pratik Maksimum (mg/kg)
Lidokain	4.5	7	%20–30 ↓	3–3.5
Bupivakain	2.5	3	%20 ↓	1.5–2
Levobupivakain	2.5	—	%20 ↓	1.5–2
Ropivakain	3	—	%20 ↓	2–2.5
Prilokain	6	8	%20–30 ↓	4–5

Not. Neal, Barrington, Fettiplace ve ark. (2018), Ok, Hong, Lee ve Sohn (2018) ile Türkiye Anesteziyoloji ve Reanimasyon Derneği (2017) verilerinden yazar tarafından uyarlanmıştır.

7. DELİRYUM VE NÖROKOGNİTİF SONUÇLAR

Postoperatif delirium, ileri yaş cerrahi hastalarında sık görülen ve klinik seyri belirgin şekilde etkileyen nörokognitif bir bozukluktur. Delirium gelişimi, kısa ve uzun dönem mortalite artışı, hastanede kalış süresinin uzaması ve kalıcı fonksiyonel gerileme ile ilişkilendirilmiştir.

Deliriumun multifaktöriyel bir mekanizmaya sahip olduğu düşünülmektedir. Serebral perfüzyon azalması, nöroinflamasyon ve nörotransmitter dengesizlikleri rol oynayabilir. Uzamış intraoperatif hipotansiyon epizodlarının kognitif sonuçlarla ilişkili olabileceği öne sürülmektedir.

Randomize çalışmalar rejyonal ve genel anestezi arasında delirium insidansı açısından belirgin üstünlük göstermemiştir. Bununla birlikte opioid tüketiminin azaltılması ve derin sedasyondan kaçınılması dolaylı olarak avantaj sağlayabilir.

Bu nedenle geriatrik hastada:

- Minimal sedasyon
- Hemodinamik stabilitenin korunması
- Multimodal analjezi
- Oryantasyonun sürdürülmesi

temel stratejiler olarak benimsenmelidir.

8. ANTİKOAGÜLASYON VE NÖROAKSİYAL GÜVENLİK

Geriatrik hastalarda oral antikoagülan ve antiplatelet tedavi kullanımı yaygındır. Nöroaksiyal girişimlere bağlı epidural veya spinal hematoma gelişimi nadir görülmekle birlikte nörolojik sekeller açısından kritik öneme sahiptir. Risk, antikoagülan türüne ve dozuna bağlı olarak değişir.

Tablo 2. Geriatrik Hastalarda Nöroaksiyal Blok Öncesi ve Sonrası Antikoagülan Yönetimi (Güncel Kılavuzlara Göre Özet)

İlaç / Grup	Nöroaksiyal Blok Öncesi Minimum Süre	Epidural Kateter Çekimi	Antikoagülanın Yeniden Başlanması
Profilaktik LMWH	≥12 saat	Son dozdan ≥12 saat sonr	Kateter çekiminden ≥4 saat sonra
Terapötik LMWH	≥24 saat	Son dozdan ≥24 saat sonra	≥4 saat sonra
Dabigatran	≥48–72 saat*	Kateter önerilmez / dikkatli	≥6 saat sonra
Rivaroksaban	≥72 saat	Kateter önerilmez	≥6 saat sonra
Apiksaban	≥72 saat	Kateter önerilmez	≥6 saat sonra
Edoksaban	≥72 saat	Kateter önerilmez	≥6 saat sonra
Varfarin	INR <1.4	INR kontrolü sonrası	≥4–6 saat sonra
Klopidogrel	≥5–7 gün	Kateter önerilmez	≥24 saat sonra
Prasugrel	≥7–10 gün	Kateter önerilmez	≥24 saat sonra
Tikagrelor	≥5 gün	Kateter önerilmez	≥24 saat sonra
Aspirin(monoterapi).	Kesilmesi gerekmez	G güvenli	Devam edilebilir

* Kreatinin klirensi <50 mL/dk ise bekleme süresi uzatılmalıdır.

Kaynak: Güncel ASRA (5. edisyon) ve ESAIC/ESRA antitrombotik kılavuzları.

Renal fonksiyon bozukluğu bulunan hastalarda DOAC kesilme süresinin daha uzun tutulması gerekebilir. Epidural kateter yerleştirme ve çekme zamanlaması antikoagülasyon planı ile uyumlu olmalıdır. Postoperatif dönemde nörolojik bulgular açısından dikkatli takip yapılmalıdır.

9. KOMPLİKASYONLAR

9.1 Hipotansiyon

Geriatrik hastalarda nöroaksiyal blok sonrası en yaygın karşılaşılan hemodinamik sorun hipotansiyondur. Uzun hipotansiyon organ perfüzyonunu etkileyebilir. Erken vazopressör kullanımı ve hedefe yönelik sıvı yönetimi önemlidir.

9.2 Bradikardi

Yüksek blok seviyelerinde görülebilir. İletim sistemi hastalığı olan yaşlı hastalarda daha dikkatli izlem gerektirir.

9.3 Lokal Anestezik Sistemik Toksisitesi

Azalmış ilaç klirensi ve artmış duyarlılık nedeniyle geriatrik hastalarda toksisite riski artabilir. Ultrason rehberliği ve minimum etkili doz prensibi önemlidir.

9.4 Epidural veya Spinal Hematom

Yeni gelişen motor güçsüzlük ve şiddetli sırt ağrısı erken uyarı bulgularıdır. Klinik şüphe olduğunda gecikmeden ileri görüntüleme yöntemlerine başvurulması önerilir.

10. SONUÇ

Geriatrik hastalarda rejyonal anestezi teknik bir uygulamadan öte, dikkatli klinik karar sürecini gerektirir. Azalmış fizyolojik rezerv, frailty ve antikoagülasyon varlığı planlamada belirleyici unsurlardır.

Düşük doz stratejileri, dikkatli hemodinamik yönetim ve multimodal analjezi yaklaşımı ile rejyonal anestezi güvenli şekilde uygulanabilir. Teknik seçimi yalnızca mortalite verilerine değil, fonksiyonel sonuçlara ve hastanın fizyolojik toleransına göre yapılmalıdır.

Amaç, yeterli cerrahi anesteziyi sağlarken hastanın sınırlı fizyolojik rezervini zorlamadan hemodinamik dengeyi sürdürmek ve fonksiyonel iyileşmeyi optimize etmektir.

KAYNAKLAR

1. Aldecoa, C., Bettelli, G., Bilotta, F., Sanders, R. D., Audisio, R., Borozdina, A., ... Spies, C. D. (2024). Update of the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine evidence-based guideline on postoperative delirium in adult patients. *European Journal of Anaesthesiology*, 41(2), 81–108. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001876>
2. Bos, E. M. E., Hollmann, M. W., & Lirk, P. (2018). Haematoma and abscess after neuraxial anaesthesia: Incidence, risk factors and management. *British Journal of Anaesthesia*, 120(4), 770–778. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2017.11.095>
3. Darvall, J. N., Bellomo, R., Paul, E., Chapman, M., Horowitz, M., & Story, D. (2020). Frailty and outcomes following surgery in older patients: Validation of the Clinical Frailty Scale. *Canadian Journal of Anesthesia*, 67, 150–158.
4. Evered, L., Silbert, B., Knopman, D. S., Scott, D. A., DeKosky, S. T., Rasmussen, L. S., ... Nomenclature Consensus Working Group. (2018). Recommendations for the nomenclature of cognitive change associated with anaesthesia and surgery—2018. *British Journal of Anaesthesia*, 121(5), 1005–1012. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2017.11.087>
5. Horlocker, T. T., Vandermeulen, E., Kopp, S. L., Gogarten, W., Leffert, L. R., & Benzon, H. T. (2018). Regional anesthesia in the patient receiving antithrombotic or thrombolytic therapy (Fourth edition). *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, 43(3), 263–309. <https://doi.org/10.1097/AAP.0000000000000763>
6. Inouye, S. K., van Dyck, C. H., Alessi, C. A., Balkin, S., Siegel, A. P., & Horwitz, R. I. (1990). Clarifying confusion: The Confusion Assessment Method. *Annals of Internal Medicine*, 113(12), 941–948.
7. Kietai, S., Ferrandis, R., Godier, A., Llau, J. V., Macfarlane, A. J. R., Afshari, A., ... ESAIC/ESRA Guidelines Group. (2022). Regional anaesthesia in patients on antithrombotic drugs. *European Journal of Anaesthesiology*, 39(2), 100–132. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001600>
8. Kopp, S. L., Vandermeulen, E., McBane, R. D., Perlas, A., Leffert, L. R., & Horlocker, T. T. (2025). Regional anesthesia in the patient receiving antithrombotic therapy (Fifth edition). *Regional Anesthesia and Pain Medicine*. Advance online publication.
9. Kunutsor, S. K., Whitehouse, M. R., Blom, A. W., & Beswick, A. D. (2022). Spinal versus general anesthesia for hip fracture surgery: A systematic

- review and meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 129(5), 788–800. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.07.031>
10. Li, T., Li, J., Yuan, L., Wu, J., Jiang, C., Daniels, J., ... RAGA Study Investigators. (2022). Effect of regional vs general anesthesia on postoperative delirium in older patients undergoing hip fracture surgery. *JAMA*, 327(1), 50–58. <https://doi.org/10.1001/jama.2021.22647>
 11. Makito, K., Mouri, H., Matsui, H., Fushimi, K., & Yasunaga, H. (2021). Incidence of spinal epidural hematoma after neuraxial anesthesia. *Canadian Journal of Anesthesia*, 68, 42–52. <https://doi.org/10.1007/s12630-020-01827-w>
 12. Mou, Z., Xiang, Y., Zhang, X., Wang, Y., Liu, Q., & Chen, L. (2024). Pericapsular nerve group block versus fascia iliaca block for hip fracture surgery: A meta-analysis. *International Wound Journal*. Advance online publication.
 13. Neal, J. M., Barrington, M. J., Fettiplace, M. R., Gitman, M., Memtsoudis, S. G., Mörwald, E. E., ... Weinberg, G. L. (2018). The Third ASRA Practice Advisory on Local Anesthetic Systemic Toxicity. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, 43(2), 113–123. <https://doi.org/10.1097/AAP.0000000000000720>
 14. Neuman, M. D., Feng, R., Carson, J. L., Gaskins, L. J., Dillane, D., Sessler, D. I., ... Sieber, F. E. (2021). Spinal anesthesia or general anesthesia for hip surgery in older adults. *New England Journal of Medicine*, 385(22), 2025–2035. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2113514>
 15. Ok, S. H., Hong, J. M., Lee, S. H., & Sohn, J. T. (2018). Lipid emulsion therapy for local anesthetic systemic toxicity. *International Journal of Medical Sciences*, 15(7), 713–722.
 16. Türkiye Anesteziyoloji ve Reanimasyon Derneği. (2017). Rejyonal anestezi uygulama kılavuzu.
 17. White, S. M. (2023). Outcomes following spinal versus general anaesthesia for hip fracture surgery. *British Journal of Anaesthesia*. Advance online publication.



BÖLÜM 2

Konvansiyonel Risk Skorlamasından Dinamik Algoritmalara: Perioperatif Süreçte Yapay Zekâ Tabanlı Modelleme Trendleri

Gül Çakmak¹

I. GİRİŞ: SKORLAMA SİSTEMLERİNİN EVRİMİ

Perioperatif risk değerlendirmesi, cerrahi hastalar için uygun tedavi stratejilerinin belirlenmesi ve hasta sonuçlarının optimize edilmesi için kritik öneme sahiptir. Geçtiğimiz dört dekad boyunca, anestezi ve cerrahide kullanılan risk skorlaması sistemleri, klinik uygulamanın temel taşı olmuştur. Ancak, konvansiyonel skorlama sistemlerinin metodolojik sınırlamaları, yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı dinamik modellerin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

A. Klasik Skorlama Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

American Society of Anesthesiologists (ASA) sınıflandırması, 1941 yılında ilk kez tanımlanmış ve bugüne kadar anestezi pratiğinde en yaygın kullanılan skorlama sistemi olma özelliğini korumuştur. ASA skorları (ASA I-ASA VI), preoperatif hasta değerlendirmesinde basit, hızlı ve pratik bir yöntem sunarken, aynı zamanda mortalite ve morbidite ile ilişkili olduğu sayısız çalışmada gösterilmiştir. Bununla birlikte, ASA sistemi kategorik bir sınıflandırma sunmakta ve hasta popülasyonları arasında geniş bir varyasyon göstermektedir.

EuroSCORE (Avrupa Kalp Ameliyatı Risk Değerlendirme Sistemi), 1999 yılında Nashef ve arkadaşları tarafından kardiyak cerrahide perioperatif mortalite tahmini için geliştirilmiştir. Bu skor; yaş, cinsiyet, hastalık özgeçmişi ve ameliyat özellikleri gibi 17 değişkene dayanmaktadır. EuroSCORE kalp cerrahisi alanında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, yalnızca preoperatif veriler üzerinden hesaplanması ve intraoperatif süreçteki fizyolojik değişimleri yansıtamaması önemli bir sınırlamadır.

Revised Cardiac Risk Index (RCRI), 1999 yılında Lee ve arkadaşları tarafından kardiyak olmayan cerrahi işlemlerde kardiyak risk tahmini için tanımlanmıştır. RCRI, altı bağımsız risk faktörü (yüksek riskli ameliyat türü, iskemik kalp hastalığı öyküsü, kongestif kalp yetmezliği, serebrovaskular

¹ Uzm. Dr., İstanbul Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Anestezi ve Reanimasyon Kliniği
ORCID: 0000-0001-6900-0293

hastalık, insüline bağımlı diyabet, preoperatif kreatin düzeyi >2 mg/dL) temelinde bir puan sistemi sunmaktadır. RCRI' nin sadeliğine ve kullanılabilirliğine rağmen, kompleks hastalar veya nadir ameliyat türlerinde diskriminatif gücü sınırlı olabilmektedir.

B. Konvansiyonel Skorlamanın İçsel Sınırlamaları

Klasik risk skorlaması sistemlerinin temel karakteristiği statikliklidir. Bu sistemler, preoperatif dönemde hastaya ait belli bir zaman noktasında elde edilen veriler temelinde geliştirilmiştir ve bu nedenle:

1. **Zamanda Sabitlenmiş Veri Kullanımı:** ASA, EuroSCORE ve RCRI gibi sistem, hastanın ameliyattan önceki durum tablosunu yansıtır, ancak ameliyat sürecindeki dinamik değişiklikleri veya komplikasyonların gelişim seyrini öngöremez.

2. **Popülasyona Dayalı Ortalama Riskler:** Bu skorlar, geniş hasta popülasyonlarından elde edilen ortalama risk değerleri üzerinden hesaplanır. Sonuç olarak, bireysel hasta özellikleri ve farmakolojik yanıtlardaki varyabilite tam olarak yansıtılamaz.

3. **Sınırlı Ayırıcı Güç:** Özellikle orta risk grubu hastalarında, klasik skorlar yüksek negatif ve pozitif tahmin değerleri gösterebilmekte, bununla birlikte ayırıcı güçleri sınırlanabilmektedir.

4. **Etkileşim ve Sinerjik Etkilerin Göz Ardı Edilmesi:** Hastalık faktörleri arasındaki etkileşimler veya cerrahi travmanın fizyolojik sistemler üzerindeki sinerjik etkileri, lineer skorlama sistemlerinde tam olarak temsil edilemez.

C. Neden "Dinamik" Modellemeye İhtiyaç Duyuyoruz?

Perioperatif sürecin dinamik doğası, gerçek zamanlı ve uyarlanabilir risk tahminlemesi gerektirmektedir. Bir hastanın ameliyat öncesi belirlenen risk profili, intraoperatif süreçte kardiyovaskler instabilite, hipoksemi, koagülopatinin gelişimi veya anestezi ilaçlara alışılmadık yanıtlar nedeniyle dramatik olarak değişebilir.

Hastanın intraoperatif tek zaman noktasındaki klinik durumu ile değil, zamansal trend ve dinamik eğilimler göz önünde bulundurularak risk değerlendirmesi yapılması, müdahale zamanlaması ve uygun tedavi stratejisinin seçimi açısından kritik önem taşımaktadır. Örneğin, sistolik kan basıncının eğimi ve bu eğimde meydana gelen değişiklikler, tek bir zaman noktasında ölçülen basınç değerinden daha işlevsel bilgi sunabilmektedir.

Bu noktada, yapay zekâ temelli dinamik algoritmaların, yapı itibariyle bu tür zamansal desenleri ve kompleks etkileşimleri tanıyabilme yeteneği, perioperatif anestezi pratiğinde paradigma değişimi sunma potansiyeline sahiptir.

II. STATİK VERİDEN AKIŞKAN VERİYE: METODOLOJİK FARKLAR

A. Makine Öğrenmesi Algoritmaları: Temel Konseptler

Makine öğrenmesi (ML), bilgisayarların açıkça programlanmaksızın verilerden örüntü öğrenme yeteneğidir. Perioperatif risk modellemesinde kullanılan ML algoritmaları, geniş çaplı klinik veri kümelerinden otomatik olarak tahmine dayalı özellikler çıkarabilmektedir.

1. Karar Ağaçları ve Topluluk Metodları

Karar ağaçları, sağlık bilimleri araştırmalarında sezgisel yorumlanabilirliği nedeniyle yaygın kullanılmıştır. Her düğümde bir değişken belirli bir eşik değeri temelinde bölümlendirilir ve sonuçta hasta popülasyonu risk kategorilerine ayrılır. Karar ağaçlarının avantajları arasında yorumlanabilirlik ve nonlinear ilişkilerin modellenme kabiliyeti sayılabilir.

Bununla birlikte, tek karar ağaçları overfitting problemi yaşayabilir ve yeni veriler üzerinde zayıf genelleme performansı gösterebilir. Bu sınırlamayı aşmak için, topluluk metodları geliştirilmiştir. Random Forest algoritması, çok sayıda karar ağacını eğitip ortalama tahminlemeleri sunarak daha robust ve kararlı modeller oluşturmaktadır.

Gradient Boosting metodları (Extreme Gradient Boosting - XGBoost, Light Gradient Boosting - LightGBM), birbirini izleyen karar ağaçlarını sırasıyla eğiterek hataları minimize etmektedir. Bu algoritmalar, Tıp Fakültesi çalışmalarında perioperatif mortalite, kardiyak olay veya yoğun bakım yatış süreleri gibi sonuçların tahminlemesinde yüksek başarı göstermiştir.

2. Logistik Regresyon ve Doğrusal Modeller

Logistik regresyon, geleneksel istatistik ile makine öğrenmesi arasında bir köprü görevi görmektedir. Binary sonuçların (örneğin, postoperatif komplikasyon oluş/olmama) tahminlemesinde kullanılmaktadır. Logistik regresyonun avantajı, katsayıların yorumlanabilir olması ve klinik anlamlılığının sağlanabilmesidir.

Ancak, logistik regresyon nonlinear ilişkileri doğrudan modellemek konusunda sınırlıdır ve etkileşim terimlerinin açıkça modele dahil edilmesi gerekir. Perioperatif süreçteki kompleks biyolojik etkileşimler nedeniyle, saf lineer modellerden daha karmaşık yaklaşımlar tercih edilmektedir.

3. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines - SVM)

SVM, yüksek boyutlu veri uzayında optimal karar sınırlarını bularak sınıflandırma problemlerini çözmektedir. Perioperatif risk tahmini gibi kompleks problemlerde, SVM'ler kernel fonksiyonları sayesinde nonlinear ilişkileri etkili şekilde modelleyebilmektedir.

SVM'lerin bazı dezavantajları, hesaplama gereksinimlerinin yüksek olması ve model parametrelerinin ayarlanmasında hassasiyettir. Büyük ölçekli klinik veri kümeleri ile çalışılırken, SVM'ler bazen daha hızlı makine öğrenmesi yöntemlerine tercih edilmemektedir.

4. Sinir Ağları ve Derin Öğrenme

Yapay sinir ağları (artificial neural networks), biyolojik sinir sisteminden ilham alınarak tasarlanan matematiksel modellerdir. Her bir nöron, önceki katmandaki giriş verilerini ağırlıklı (weighted) şekilde alır, bir aktivasyon fonksiyonu uygulanır ve sonraki katmana iletilir.

Derin öğrenme, birden fazla gizli katmana sahip sinir ağlarıdır ve karmaşık, çok seviyeli soyutlama yapabilmektedir. Perioperatif monitorlama verileri (EKG sinyalleri, arteriyel basınç dalgaları, oksijenizasyon), derin öğrenme ağlarına doğrudan girdi olarak verildiğinde, model bu ham sinyallerden otomatik olarak anlamlı özellikler çıkarabilmektedir. Bu, rutin klinik pratikle karşılaştırıldığında önemli bir avantajdır, çünkü hekimlerin genellikle bu sinyallerden seçili bilgileri manuel olarak çıkarması gerekir.

Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks - CNN), görüntü verilerinden uzamsal özellikleri çıkarmada etkilidir. Perioperatif kontekste, transoesofajal ekokardiyografi görüntüleri veya başka görüntü temelli verilerinin analizi için CNN'ler kullanılabilir.

Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks - RNN) ve Uzun Kısa Vadeli Bellek Ağları (Long Short-Term Memory - LSTM), zamansal verilerin işlenmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Bu mimariler, önceki zaman adımlarındaki bilgileri "hatırlayabilir" ve bunu gelecek tahminlemelerinde kullanabilmektedir. LSTM ağları, perioperatif monitör verilerinin analizi için özellikle uygun bir yapıya sahiptir.

B. Zaman Serisi Analizi: Statik Anlık Değerden Trend Analizi Yönüne

Perioperatif monitorlama, sağlık bilimlerinde belki de en yoğun veri üretimine neden olan alandır. Modern anestezi monitörleri, elektrokardiyogram (EKG), nabız oksimetresi, kan basıncı, kapnografi, vücut ısısı ve başka birçok parametreyi saniye cinsinden aralıklarla kaydeder. Bu bağlamda, hastayı değerlendirirken tek bir zaman noktasındaki "anlık" ölçüm yerine, bu parametrelerin zamansal eğilimi ve deseni kritik klinik bilgi taşımaktadır.

1. Zaman Serisi Verinin Özellikleri

Zaman serisi, önceden belirlenmiş zaman aralıklarında alınmış gözlemlerin ardışık bir dizisidir. Perioperatif monitör verisi, tipik olarak şu özellikleri taşımaktadır:

- **Yüksek Frekans:** Analog sinyaller (EKG, arteriyel basınç) saniyenin onda birlik kısımlarında (100 Hz ve üzeri) örneklenebilmektedir.
- **Otokorelasyon:** Ardışık gözlemler bağımsız değildir; önceki değerler gelecek değerleri etkilemektedir.
- **Mevsimsellik (Periodicity):** Bazı parametreler (kalp atım hızı, solunum hızı) periyodik desen göstermektedir.
- **Trend:** Seküler eğilim, örneğin anesteziğin derinleşmesi sırasında kalp atım hızında kademeli azalma.
- **Gürültü ve Artefakt:** Hastanın hareketi, cilt empedansı değişiklikleri veya elektromanyetik girişim nedeniyle ölçüm verileri bozulabilmektedir.

2. Özellik Çıkarma (Feature Extraction) ve İndeksleme

Zaman serisi veriden prediktif bilgi çıkarmak için, çeşitli istatistiksel ve işaret işleme tekniklerinden yararlanılmaktadır:

İstatistiksel Özellikler: Ortalama (mean), standart sapma (standard deviation), çarpıklık (skewness), basıklık (kurtosis), ve yüzdelik değerleri, zamansal verinin temel karakteristiğini belirtmektedir.

Trend Parametreleri: Zaman serisine lineer veya nonlineer uyum (fitting) yaparak eğim (slope) ve eğilim yönü belirlenebilmektedir. Örneğin, sistolik kan basıncının sürekli azalan bir eğimi, hipotansiyonun yaklaşmakta olduğunu erken işareti olabilmektedir.

Spektral Analiz: Fourier dönüşümü veya wavelet analizi yoluyla, zaman serisi sinyalinin frekans bileşenleri incelenebilmektedir. EKG sinyalinin frekans

spektrumu, kalp rate variabilitesi (HRV) hakkında bilgi vermektedir. HRV'deki azalma, sempati aktivasyonu veya stres yanıtının göstergesi olabilmektedir.

Permütasyon Entropisi (Permutation Entropy): Bu yöntem, zaman serisi verinin karmaşıklığını ve düzensizliğini ölçmektedir. Perioperatif kontekste, entropinin değişimi kardiyovaskler stabilite hakkında bilgi verebilmektedir.

Sample Entropy: Zaman serisi verinin kendi kendine benzerliğini ölçen entropi türüdür ve kardiyovaskler kontrol mekanizmalarının işlevselliğini değerlendirmek için kullanılabilir.

3. Zaman Serisi Tahmin Modelleri

Otoregresif Modeller (AR): Gelecek değerin önceki değerlerinin lineer kombinasyonu olduğunu varsayan modellerdir. Basit yapıları nedeniyle hızlı tahminlemeler yapabilmektedir, ancak nonlinear ilişkileri yakalayabilmemesi sınırlamadır.

Otoregresif Hareketli Ortalama (ARIMA): AR modeline entegrasyon ve hareketli ortalama bileşenleri eklenerek, nonstatistik zaman serilerini modelleyebilmektedir. ARIMA, hipotansiyon öncesi kan basıncı eğilimlerini öngörmede başarılı olmuştur.

Vektör Otoregresyonu (Vector Autoregression - VAR): Birden fazla bağımlı değişkene sahip zaman serileri için kullanılır. Perioperatif kontekste, kan basıncı, kalp atım hızı ve oksijenizasyon gibi birden fazla monitör parametresinin etkileşimini modellemektedir.

Gizli Markov Modelleri (Hidden Markov Models - HMM): Sistem, gözlemlenen olayları üreten belirtilmemiş durumları varsaymaktadır. HMM'ler, hastanın anestezi derinliğinin farklı düzeylerini modellemek için kullanılmıştır.

LSTM (Long Short-Term Memory) ve Dikkat Mekanizması (Attention Mechanism): Yukarıda bahsedilen LSTM ağları, zamansal bağımlılıkları öğrenebilmektedir. Dikkat mekanizması, belirli zaman adımlarında modelin hangi giriş değişkenlerine daha fazla odaklanması gerektiğini belirtmektedir. Bu, örneğin bir hipotansiyon etiketini tahminlemek için modelin kan basıncı parametrelerine sistolde daha fazla ağırlık vermesine olanak tanımaktadır.

III. İNTRAOPERATİF KARAR DESTEĞİ: "OTONOM" ANESTEZİYE DOĞRU

A. Hipotansiyon Tahmini Algoritmaları

Intraoperatif hipotansiyon, perioperatif mortalite ve morbidite ile güçlü bir ilişki gösteren klinik bir problemdir. Hipotansiyon sırasında, organlar ve dokular yeterince perfüze edilemeyebilir, bunun sonucunda iskemik hasar meydana gelebilmektedir. Geleneksel anestezi pratiğinde, hekimler hipotansiyonun gerçekleşmesi sonrasında reaktif olarak müdahale etmektedir; bir bolusun verilmesi veya vasoaktif ilaçların başlanması gibi.

Ancak, makine öğrenmesi tabanlı hipotansiyon tahmin algoritmaları, bu problemi proaktif olarak ele almayı mümkün kılmaktadır.

1. Erken Uyarı Sistemleri: 5-15 Dakika Öncesi Tahminleme

Çeşitli araştırmalar, makine öğrenmesi modellerinin intraoperatif hipotansiyonu, olay gerçekleşmesinden 5-15 dakika öncede tahminleyebildiğini göstermiştir. Choudhury ve arkadaşları, Gradient Boosting modeli kullanarak hipotansiyonu 10 dakika öncede yaklaşık %85 doğruluk oranı ile tahminleyebilmiştir. Bu erken uyarı, anestezistin aktif müdahale etmesi için yeterli zaman penceresi sunmaktadır.

Tahmin algoritmaları, genellikle aşağıdaki özellikleri kullanmaktadır:

- **Kan Basıncı Trend Parametreleri:** Sistolik, diyastolik ve orta kan basıncının eğimleri, değişim hızları ve volatilitesi.
- **Kalp Atım Hızı Dinamikleri:** Nabız eğilimi, nabız variabilitesi, nabız-basınç etkileşimi.
- **Anestezik İlaç Konsantrasyonları:** Propofol, remifentanil ve volatil anestetiklerin bimodal, target-controlled infusion (TCI) ünitelerinden hesaplanan etkin site konsantrasyonları.
- **Solunum Parametreleri:** End-tidal CO₂ (ETCO₂), solunum hızı, tidal volüm ve buna paralel oluşan kardiyovaskler değişiklikler.
- **Vücut Sıcaklığı:** Hipoterminin kardiyovaskler stabiliteye olumsuz etkisi.
- **Vücut Pozisyonu Değişiklikleri:** Çeşitli cerrahiye bağlı pozisyon değişiklikleri, kan basıncında dramatik değişikliklere yol açabilmektedir.

2. Kişiselleştirilmiş Yanıt Öngörülleri

Hastalar, anestetiklere farklı yanıt vermektedir. Bazı hastalar propofol karşı hızlı hipotansif yanıt gösterirken, diğerleri ise dirençli olabilmektedir. Bu farmakolojik varyabilite, genetik, demografik ve fizyolojik faktörlere atfedilmektedir.

Makine öğrenmesi modelleri, belirli bir hasta için anestezi dozuna karşı kan basıncı yanıtını öngörebilmektedir. Bu sayede, anestezi ilacı dozlarını hastaya özel biçimde titrasyon (adjustment) etmesi mümkün hale gelmektedir. Örneğin, derin hipotansiyon riski yüksek olan bir hasta için, anestezi uzmanı standart dozdan daha az miktarda propofol verebilmektedir.

B. Anestezi Derinliği Monitorizasyonu: EEG Tabanlı Yeni Nesil İndeksleri

Anestezi derinliğinin uygun düzeyde tutulması, hastanın intraoperatif farkındalık riskini azaltırken, aynı zamanda aşırı anestezi nedeniyle oluşabilecek postoperatif delirium ve kognitif disfonksiyon riskini de minimize etmektedir. Geleneksel anestezi pratiğinde, anestezi uzmanı hastanın gözündeki tepkisini, laringoskopi ve cerrahiye tepkisini gözlemleyerek anestezi derinliğini subjektif olarak değerlendirmektedir.

1. EEG Sinyali ve Çıkardığı Bilgiler

Elektroensefalografi (EEG), beyindeki elektriksel aktiviteyi ölçer ve anestezi sırasında karakteristik değişimler gösterir:

- **Frekans Bantları:** Klasik olarak, beyin ritmi 0.5-30 Hz frekans aralığında alfa, beta, teta ve delta dalgalarına ayrılır. Uyanık durumda, yüksek frekansla beta aktivitesi dominant iken, derin uyku veya anestezi altında düşük frekansda delta aktivitesi dominant hale gelir.
- **Spektral Entropi:** EEG sinyalinin frekans spektrumunun karmaşıklığını ölçen bir parametredir. Entropi değeri, uyanık durumda yüksekken, anestezi derinleştikçe azalmaktadır.
- **Bispektral İndeks (BIS):** Pazarlanan bir monitör indeksi olup, EEG sinyalinden otomatik olarak hesaplanmaktadır. BIS değeri 0-100 skalasında tanımlanmış, 0 elektriksel sessizlik, 100 tam uyanık olma durumunu göstermektedir. Anestezi altında, BIS değeri tipik olarak 40-60 aralığında tutulur.

2. Makine Öğrenmesi Tabanlı EEG Analizleri

Ticari BIS monitörleri de makine öğrenmesi algoritmaları kullansa da, araştırma alanında geliştirilen yeni nesil modeller, EEG sinyalinin daha detaylı analizi sunmaktadır:

Wavelet Analizi: Farklı zaman-frekans çözünürlüğünde EEG sinyalini analiz etmektedir. Wavelet katsayıları, farklı anestezi derinliği düzeylerinde karakteristik paternler göstermektedir.

Permütasyon Entropisi: EEG verinin karmaşıklığını ve düzensizliğini ölçerek anestezi derinliğini objektif olarak değerlendirmektedir.

Derin Sinir Ağları: Ham EEG sinyalleri doğrudan derin öğrenme ağlarına girdi olarak verildiğinde, ağ otomatik olarak anestezi derinliğini belirtmek için gerekli özellikler çıkarmaktadır. Bu yaklaşım, manuel özellik seçimine olan bağımlılığı azaltmaktadır.

C. Analjezi Takibi: Ağrı Yanıtı Algılanması

Postoperatif ağrı yönetimi, hastanın iyileşme deneyimi ve sonuçları üzerinde önemli etkiye sahiptir. Perioperatif analjezi, remifentanil gibi kısa etkili opioidler ve multimodal analjezi yaklaşımı ile optimize edilmektedir. Bununla birlikte, hastalar opioid dozlarına farklı şekilde yanıt vermektedir ve aşırı analjezi, bulantı-kusma, solunum depresyonu gibi yan etkilere neden olabilmektedir.

1. Ağrı Tahminine Kullanılan Fizyolojik Parametreler

Anestezi altında, hasta açıkça kendi ağrı hissini ifade edemediğinden, ağrı yanıtı fizyolojik göstergeler aracılığıyla çıkarsanmaktadır:

- **Kalp Atım Hızı Artışı:** Ağrı, sempati aktivasyonunu tetiklemektedir ve genellikle kalp atım hızında artış meydana gelmektedir.
- **Kan Basıncı Yükselişi:** Diyastolik ve sistolik kan basıncında artış, ağrı yanıtının göstergesidir.
- **Vücut Hareketleri ve Kas Gerilmesi:** Elektromiyografi (EMG) yoluyla, yüzeysel kasların aktivitesi değerlendirilebilmektedir. Ağrılı uyaranlar, kas gerilmesini artırmaktadır.
- **Pupil Çapı (Pupil Dilation):** Ağrı ve stres, sempatik aktivasyonun sonucu olarak göz pupilinin dilate olmasına neden olmaktadır. Video okulografi yoluyla pupil çapı otomatik olarak ölçülebilmektedir.

- **Deri Elektriksel Aktivitesi (Skin Conductance):** Otonom sinir sistemi aktivasyonunun bir göstergesi olup, ağrı ve stres altında artar.

2. Çok Parametrelı Ağrı Algılama Algorıtmaları

Tek bir parametre ağrı tahmini için yeterli değildir; farklı hasta popölasyonlarında ve farklı cerrahiye bağı seyrler meydana gelmektedir. Makine öğrenmesi modelleri, ağrı yanıtının birden fazla parametresini kombinasyon halinde değerlendirerek daha doğru tahminler yapabilmektedir.

Thommesen ve arkadaşları, kalp atım hızı, kan basıncı, EMG ve bulantı-kusma gibi klinik parametrelerini birleştirip bir support vector machine (SVM) modeli eğitmiş, anesthetic depth monitoring altında remifentanil dozu tahmini için %77 doğruluk oranı elde etmiştir.

Daha yakın tarihli çalışmalarda, LSTM ağları ve transformer modelleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu modellerden dikkat mekanizması sayesinde, hangi zaman noktasında hangi parametrenin ağrı tahmini için daha etkili olduğı belirlenebilmektedir.

D. İlaç Adsorpsiyonu ve Titrasyon Optimizasyonu

Anestezi sırasında, propofol, sevofluran, remifentanil gibi ilaçlar vücutta belirli farmakokinetik (PK) ve farmakodinamik (PD) profiller göstermektedir. Target-Controlled Infusion (TCI) teknolojisi, bu PK-PD modelleri kullanarak otomatik olarak ilaç infüzyonunu ayarlamaktadır.

Bununla birlikte, TCI algorıtmaları sabit matematiksel modellerdir ve bireysel hastalardan elde edilen verilere dayanmayabilir. Makine öğrenmesi, hastanenin geçmiş verilerinden ve benzer karakterdeki hastalardan öğrenerek, daha kişiselleştirilmiş PK-PD modeller geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Adaptive control stratejileri, ameliyat sırasında hastanın gerçek ilaç yanıtı temelinde ilaç doza otomatik olarak ayarlama yapabilmektedir.

IV. METODOLOJİK ZORLUKLAR VE "GÜVEN" PROBLEMİ (HEKİM GÖZÜYLE)

Yapay zekâ temelli perioperatif risk modelleri ve karar destek sistemleri, teorik olarak ve pilot çalışmalarda kapsamında promise göstermektedir. Ancak, klinik uygulamaya entegrasyon, metodolojik ve operasyonel zorlukların üstesinden gelmesini gerektirmektedir. Özellikle, hekimlerin modellerin tavsiyelerine "güven" duyması, klinik adaptasyonun temel taşlarından biridir.

A. Açıklanabilirlik (Explainable Artificial Intelligence - XAI)

Klasik risk skorlaması sistemlerinde (örneğin, ASA veya RCRI), puanın nasıl hesaplandığı ve hangi faktörlerin risk yükselttiği şeffaftır. Bir hastanın RCRI puanı 3 ise, hekimler bu puanın hangi kriterlerden kaynaklandığını (yüksek riskli ameliyat, iskemik kalp hastalığı vb.) tanımında kolaylıkla değerlendirebilmektedir.

Bununla birlikte, modern makine öğrenmesi modelleri, özellikle derin sinir ağları, "kara kutu" (black box) olarak tanımlanmaktadır. Bir derin öğrenme ağı binlerce parametresi olan binlerce nörondan oluşur ve bu parametrelerin niçin belirli bir karar verdiğinin anlaşılması çok zordur.

1. XAI Metodolojileri

LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations): Karmaşık modelin belirli bir tahmin etrafında, yerel olarak basit bir lineer model ile yaklaşık olması yoluyla yorumlanabilirlik sağlar. Örneğin, bir LSTM ağı belirli bir hastada hipotansiyon tahmini yaptığında, LIME bu tahmine en fazla katkı sağlayan monitör parametrelerini (kan basıncı eğimi, kalp atım hızı değişimi vb.) belirtebilmektedir.

SHAP (SHapley Additive exPlanations): Oyun teorisinden uyarlanmış bir yöntemdir. Her bir özelliğin, modelin tahmin üzerindeki marjinal katkısını hesaplamaktadır. SHAP değerleri, hekimlerin "bu hasta neden riskli sınıflandırıldı" sorusuna sayısal olarak cevap verebilmektedir.

Saliency Maps ve Grad-CAM: CNN modellerinde, modelinin belirli bir tahmin için görüntünün hangi bölgelerine odaklanıp odaklanmadığını görselleştirme yoluyla yorumlanabilirlik sağlarlar.

Feature Importance ve Permutation Importance: Ağaç tabanlı modellerde (Random Forest, XGBoost), her bir özelliğin önemini sıralamak için kullanılmaktadır. Permutation importance, belirli bir özelliğin değerleri rastgele karıştırıldığında model performansının ne kadar düştüğünü ölçer.

2. Klinik Pratikten Beklentiler

Hekimler, bir yapay zekâ algoritması tarafından "hipotansiyon riski yüksek" uyarısını aldığı anda, tipik olarak aşağıdaki soruları sorar:

- "Bu uyarı neden verildi? Hangi bulgular uyarıya neden oldu?"
- "Bu algoritma daha önce ne kadar sık doğru bulundu? Yanlış pozitif oranı nedir?"

- "Algoritmanın aldığı veri ile kendi klinik gözlemlerim çelişiyorsa, hangisine inanmalıyım?"

Bu soruların yanıtlandırılması, XAI metodolojileri aracılığıyla mümkün hale gelmektedir. Bir algoritma, doğrulanması yüksek XAI skorlarına sahipse (yani, tavsiyesi açıklanabiliyorsa), hekimler bunu tavsiye dikkate alma konusunda daha istekli olmaktadır.

B. Algoritmik Yanlılık ve Adalet (Fairness)

Makine öğrenmesi modellerini eğitmek için kullanılan veri, gerçek dünyadan ve gerçek hastalardan alınmaktadır. Bununla birlikte, bu veriler genellikle temiz değildir ve çeşitli yanlılıkları içerebilmektedir.

1. Veri Toplama ve Seçim Yanlılığı

Perioperatif risk algoritmaları genellikle, geniş tersiyer tıp merkezlerinden veya belirli ülkelerden toplanan veriler üzerine eğitilmektedir. Bu merkezler, daha kompleks hastaları ve ağır cerrahi işlemleri görmektedir. Sonuç olarak, daha basit prosedürlerin veya daha az risk altında olan hastalarının temsili az olabilmektedir.

Benzer şekilde, belirli yaş gruplarının (örneğin, genç hastalar) veya cinsiyetlerin (tarihsel olarak, kalpte cerrahi öncesi klinik çalışmalarda kadınlar az temsil edilmiştir) veya etnik grupların (özellikle gelişmekte olan ülkelere gelen hasta verilerinin kullanılmadığı) az temsiliyeti, algoritmik yanlılığa yol açabilmektedir.

2. Etiketleme ve Tanı Yanlılığı (Label Bias)

Mortalite veya majör morbidite gibi nesnel ve klinik olarak açıkça tanımlanabilir sonuçların etiketlenmesi nispeten basittir; ancak daha nüanslı sonuçlar (örneğin, postoperatif deliryum veya kognitif bozulma) tanı kriterleri ve değerlendirme önyargılarına maruz kalabilir. Farklı merkezler, farklı tanı protokollerini takip edebilmektedir.

3. Algoritma Performansında Veri Grubu Farklılıkları

Birçok yapay zekâ modeli, tüm hastalar için eşit performans göstermez. Bir model, beyaz hastalar üzerinde eğitilmiş ancak siyah hastalar üzerinde daha kötü performans gösterebilir. Benzer şekilde, yaşlı hastalar veya belirli hastalık profilleri olan hastalar için model performansı düşebilir.

Çeşitli çalışmalar, ticari sepsis tahmini algoritmaları ve acil tıp klinisyenleri tarafından kullanılan risk skorlaması sistemlerinde ırk temelli veri grubu farklılıkları göstermiştir.

4. Adalet ve Uygun Temsiliyet (Fairness and Representation)

Algoritmik yanlılığı azaltmak için, eğitim verilerinin farklı hastalık gruplarını yeterli ölçüde temsil etmesi gerekir. Büyük, çok merkezli ve çok etnik yapılı veri kümeleri, modelin genelleme yeteneğini artırmaktadır. Örneğin, International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD) veya EuroSCORE Registry gibi uluslararası kayıtlar, coğrafi farklılıkların etkisini azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Bununla birlikte, veri toplama masrafları ve gizlilik kaygıları nedeniyle, tam olarak temsili veri kümeleri oluşturulması zor olabilmektedir. Modeller, belirli hasta grupları için performanslarının düşük olabileceğini bildirilmelidir.

C. Veri Kalitesi ve Veri Temizleme

Perioperatif elektronik sağlık kayıtları (EHR), operasyon salonlarındaki monitörler ve laboratuvar sonuçlarından otomatik olarak dış veri yapısı eksiklikler, tutarsızlıklar ve hataları içermektedir.

1. Eksik Veriler (Missing Data)

Bir hastanın laboratuvar değerleri ölçülmemiş veya kayıt sistemine girilmemiş olabilir. Bazı hastalar, preoperatif değerlendirmede kapsamlı kardiyak test almamış olabilir. Algoritma eğitiminde, eksik verilerin nasıl işlendiği (silme, imputation yöntemleri) model performansını etkileyebilmektedir.

2. Hata ve Tutarsızlıklar (Errors and Inconsistencies)

Monitör verisi, el işçiliğinin hatası veya teknik arızalar nedeniyle hatalı kaydedilmiş olabilir. EHR sistemlerine yanlış girilen değerler de bulunabilir. Örneğin, kan basıncı değeri manuel olarak girilemediyse, 50/30 mmHg gibi fizyolojik olarak imkansız değerler kaydedilmiş olabilir.

3. Veri Temizleme ve Validasyon

Modeller eğitilmesinden önce, veriler detaylı olarak temizlenmelidir. Fizyolojik olarak imkansız değerler kaldırılmalı, eksik veriler uygun yöntemlerle doldurulmalı (mean imputation, KNN imputation, çok değişkenli imputation) ve çıktılar (outliers) belirlenip işlenmelidir.

Bununla birlikte, aşırı temizlik, meşru fakat nadir olan klinik durumları ortadan kaldırabilir. Denge bulunması kritiktir.

D. Modelin Geerlendirilmesi (Validation) ve Harici Veri Setlerinde Performans

Bir makine öğrenmesi modelinin gerçek dünyada başarılı olacağını göstermek için, yalnızca eğitim verisi üzerindeki performans yeterli değildir.

1. İ Geçerleme (Internal Validation)

- **Holdout Validation:** Verinin %70-80'i eğitim, %20-30'u test seti olarak ayrılır. Test seti üzerindeki performans, bilinmeyen veriler üzerinde model performansının bir tahmini sağlar.
- **Cross-Validation:** Veriler K parçaya bölünür, K kez modeli eğitilir ve her seferinde farklı bir parça test seti olarak kullanılır. Ortalama performans raporlanır.
- **Stratified Cross-Validation:** Sınıf dengesizliği durumunda (rneğin, mortalite oranı %5), stratifikasyon yapılarak her katlamada sınıf dağılımı korunur.

2. Harici Geçerleme (External Validation)

Harici geçerleme, modeli tamamen farklı bir merkez, ülke veya hasta popülasyonunda test etmektir. Bu, modelin genelleme yeteneğinin gerçek kanıtıdır.

Örneğin, bir model Hollanda'daki bir niversite hastanesinde geliştirildiyse, modeli Türkiye'de veya Brezilyada başka bir merkezde test etme, modelin farklı coğrafya ve sağlık sistemi koşullarında nasıl performans gösterdiğini gösterebilir.

3. Zamansal Geçerleme (Temporal Validation)

Tıbbi pratikte zaman içinde değişim meydana gelmektedir. Cerrahi teknikleri gelişir, yeni ilaçlar ortaya çıkar, hasta popülasyonu değişir. Bir model, eğitim verisi 2015-2017 döneminde toplanmışsa, 2022'deki hastalar üzerinde performans düşebilir.

Zamansal geçerleme, daha yakın tarihli verilerde modelin performansını kontrol etmektedir.

E. Klinik Etkinlik alışmaları (Clinical Effectiveness Studies)

Bir algoritma, test seti üzerinde %95 doğruluk gösterse bile, gerçek klinik ortamda hekimlerin kararları değiştirmesi ve hastalar açısından sonuçları iyileştirmesi gerekir.

Randomize kontrol çalışmaları, bir grubun algoritma tavsiyesi alması, kontrol grubunun ise standart bakımı alması şeklinde tasarlanabilir. Bu çalışmalar, algoritmanın mortalite, morbidite, hastane yatış süresi vb. gerçek çıktılar üzerindeki etkisini gösterebilmektedir.

Bununla birlikte, böyle çalışmalar pahalı, zaman alıcı ve etik sorular yaratabilmektedir (algoritma kontrol grubundan daha iyi tavsiye vermiyorsa, neden kontrol grubu oluşturmali?). Sonuç olarak, çoğu yapay zekâ uygulaması, retrospektif analiz ve klinik kabulü gözlemsel çalışmalar ile sınırlı kalmaktadır.

V. SONUÇ: GELECEĞİN PERİOPERATİF EKİBİ

Perioperatif anestezi pratiğinin geleceği, yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknolojileri ile dönüşüm geçirmektedir. Konvansiyonel, statik risk skorlaması sistemlerinden, dinamik, kişiselleştirilmiş ve gerçek zamanlı karar destek sistemlerine geçiş, hastaya daha iyi bakım sunma potansiyeline sahiptir.

A. Yapay Zekâ "Rakip" Değil, "Süper-Asistan" Olarak Konumlandırılması

Önemli bir dikkat noktası, yapay zekâ teknolojilerinin, hekimlerin mesleklerini değiştirmeye veya onları "yerine koymaya" değil, tam aksine onların yeteneklerini "genişletmeye" tasarlanmış olması gerekliliğidir.

Anestezi pratiğinde, hekimler yalnızca teknikten (uygun ilaçları verme, endotrakeal entübasyonu yapma) ziyade, kapsamlı hasta değerlendirmesi, etkileşim ve insan merkezli bakım sağlamaktadırlar. Yapay zekâ algoritmaları, bu alanlarda veri analizi ve tahminlemede hekimlere yardımcı olmaktadır, ancak klinik kararı vermek temel olarak hekim sorumluluğudur.

Hekim, algoritmanın uyarılarını göz ardı etmek, modifiye etmek veya reddetmek özgürlüğüne sahiptir. Bununla birlikte, bu özgürlükle beraber, algoritmanın tavsiyesini neden görmezden geldiğini açıklamak sorumluluğu da gelmektedir.

B. İç İç Geçmiş Çalışma Modeli (Human-AI Collaboration)

Gelecek perioperatif takım, aşağıdaki unsurları içerebilir:

1. **Deneyimli Anesteziyolog:** Kapsamlı klinik karar verme, etik değerlendirmeler ve hasta iletişimi.
2. **Gerçek Zamanlı Karar Destek Sistemi (AI):** Monitör verilerine anlık analiz, tahminler ve uyarılar.

3. **Hemşire/Teknisyen:** Operasyon salonunda pratik görevler ve veri kalitesinin sağlanması.

4. **Veri Yönetimi Sistemleri:** EHR ve monitörlerin sorunsuz entegrasyonu, veri akışının güvenliği.

Bu ekip içinde, hekimler "danışman" (judge) rolünü oynamakta, algoritma ise "süzgeç" ve "uyarı sistemi" (filter and alerting system) rolünü oynamaktadır.

C. Pratik Zorluklar ve İmplementasyon

Gerçek bir algoritmanın perioperatif pratiğe entegre edilmesi, çeşitli pratik zorlukları beraberinde getirmektedir:

1. Cihaz Entegrasyonu

Operasyon salonundaki monitörler, infüzyon pompası, mekanik ventilatore ve laboratuvar sistemleri farklı bağımsız üreticilerden gelmektedir. Bu cihazları, merkezi bir veri toplayıcı sistemle bağlamak, teknik olarak zor ve pahalı olabilmektedir. Açık standartlar (FHIR - Fast Healthcare Interoperability Resources) ve ortak protokoller, bu entegrasyonu kolaylaştırabilir.

2. Gerçek Zamanlı İşleme

Bazı algoritmalar, karmaşık hesaplamalar gerektirmektedir. Örneğin, LSTM ağlarının inşası sayısal işlemler içermektedir. Bu hesaplamaların saniyeler içinde yapılması, sunucu kapasitesi ve network gecikme karşılayan uygulamalar gerektirmektedir.

3. Hukuki ve Sorumluluk Meseleler

Bir algoritma, yanlış bir uyarı veya eksik bir uyarı sunması nedeniyle hastaya zarar verilirse, kim sorumludur? Algoritma geliştirici mi, hastaneyi mi, hekim mi? Bu sorulara cevap vermek için, hukuki çerçeveler henüz gelişmekte olan durumdadır. Birçok ülkede, yapay zekâ ile ilgili düzenleme ve sertifikasyon standartları hala belirlenmektedir.

4. Maliyet ve Ekonomik Etkinlik

Yeni teknoloji entegrasyonu maliyetlidir. Algoritma geliştirme, veri toplayıcı cihazlar, sunucu altyapısı ve eğitim programları, başlangıç yatırımını önemli ölçüde artırmaktadır. Hastanelerin bu maliyeti karşılayabilme kabiliyeti, ekonomik durum ve region tarafından belirlenebilmektedir.

Ancak, uzun vadede, perioperatif komplikasyonların ve mortalite oranlarının azalması, hastane yatış sürelerinin kısalması ve hastalık sonrası verimlilik kaybının azalması, yapılan yatırımı telafi edebilmektedir.

D. Gelecekteki Araştırma Yönleri

Perioperatif yapay zekâ alanında, araştırma ve geliştirme halen aktif olarak devam etmektedir:

1. **Daha Geniş ve Çeşitli Veri Setleri:** Uluslararası işbirliğinde, farklı ülkeler ve merkezlerden büyük ölçekli, temsili veri kümeleri oluşturulması.
2. **Gelişmiş Model Mimarileri:** Transformer, graph neural networks gibi yeni mimarilerin perioperatif veri analizi için uyarlanması.
3. **Multimodal Learning:** EHR verileri, görüntüler, ses kayıtları (anesteziyolog tarafından söylenen açıklamalar) gibi çeşitli veri tiplerinin birlikte analiz edilmesi.
4. **Etkinlik Tahmini:** Belirli müdahalelerin hastaya etkisi (örneğin, "şu dozda vazopressör verilirse kan basıncı ne kadar artacak?") tahmin etme.
5. **Güvenlik ve Sağlamlık:** Algoritmanın kasıtlı veri manipülasyonlarına veya hatalı veri girdilerine karşı direnç gösterebilme kapasitesi.

E. Eğitim ve Yetkinlik Geliştirme

Gelecek anesteziyologları ve perioperatif hekimleri, yapay zekâ teknolojilerini anlama ve uygun şekilde kullanma konusunda eğitilmelidir. Tıp fakültesi müfredatı ve uzmanlık eğitim programları, şu konuları içermelidir:

- Makine öğrenmesi temellerine ilişkin temel anlayış.
- Model performansı metriklerinin yorumlanması (ROC eğrileri, sensitivity/specificity, positive predictive value vb.).
- Algoritmik yanlılık ve algoritmik adaletin tıbbi uygulamalardaki etkileri.
- Yapay zekâ tabanlı karar desteğinin etik ve klinik değerlendirmesi.

F. Sonuç Cümleleri

Konvansiyonel risk skorlaması sistemleri, anestezi ve cerrahi pratiğinde kâsır atılmış, kanıtlanmış araçlar olmuştur ve gelecek de yakalı kullanılmaya devam edecektir. Bununla birlikte, perioperatif bakımın kompleksitesi ve bireysel hasta varyabilitesi, daha sofistike ve kişiselleştirilmiş yaklaşımları gerektirmektedir.

Makine öğrenmesi ve yapay zekâ tabanlı dinamik modeller, bu boşluğu doldurmada önemli potansiyele sahiptir. Ancak, bu teknolojilerin klinik uygulamaya başarıyla entegre edilmesi, teknik sorunların çözülmesinin yanı sıra, hekimlerin güvenini kazanması, algoritmik yanlılığın minimizasyonu ve etik standartların sağlanması gerekir.

Gelecek perioperatif ekibi, veri analizi konusunda yetenekli yapay zekâ sistemleri ile, klinik yargı ve insani bakımı sağlayan deneyimli hekimler arasında bir işbirliğinden oluşacaktır. Bu işbirliği, perioperatif hasta sonuçlarını optimize etme ve modern tıp pratiğinin yeni standartlarını belirlemek potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

- Ren, Y., Loftus, T. J., Datta, S., Ruppert, M. M., Guan, Z., Miao, S., Shickel, B., Feng, Z., Giordano, C., Upchurch, G. R., Jr., Rashidi, P., Ozrazgat-Baslanti, T., & Bihorac, A. (2022). Performance of a machine learning algorithm using electronic health record data to predict postoperative complications and report on a mobile platform. *JAMA Network Open*, 5(5), e2211973. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.11973>
- de Chazal, P., Heneghan, C., Sheridan, E., Reilly, R., Nolan, P., & O'Malley, M. (2003). Automated processing of the single-lead electrocardiogram for the detection of obstructive sleep apnoea. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 50(6), 686–696. <https://doi.org/10.1109/TBME.2003.812203>
- Shim, J. G., Yoon, W., Lee, S. J., Chang, S. H., Jung, S. R., & Chung, J. Y. (2025). Machine learning methods for the prediction of intraoperative hypotension with biosignal waveforms. *Medicina*, 61(11), 2039. <https://doi.org/10.3390/medicina61112039>
- Dost, B., Turan, E. İ., Aydın, M. E., Ahıskalıoğlu, A., Narayanan, M., Yılmaz, R., & De Cassai, A. (2025). Artificial intelligence in anaesthesiology: Current applications, challenges, and future directions. *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation*, 53(6), 282–292. <https://doi.org/10.4274/TJAR.2025.252320>
- Giacobbe, D. R., Signori, A., Del Puente, F., Mora, S., Carmisciano, L., Briano, F., Vena, A., Ball, L., Robba, C., Pelosi, P., Giacomini, M., & Bassetti, M. (2021). Early detection of sepsis with machine learning techniques: A brief clinical perspective. *Frontiers in Medicine*, 8, 617486. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.617486>
- Fan, D., Yin, Q., Li, D., & Yao, Y. (2025). Development and validation of a machine learning-based predictive model for postoperative nausea and vomiting in patients undergoing day-case laparoscopic cholecystectomy: A single-centre retrospective study. *BMJ Open*, 15(10), e093884. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-093884>
- Ledowski, T. (2019). Objective monitoring of nociception: A review of current commercial solutions. *British Journal of Anaesthesia*, 123(2), E312–E321. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.05.003>
- Nguyen-Ky, T., Wen, P. P., Li, Y., & Gray, R. (2011). Measuring and reflecting depth of anesthesia using wavelet and power spectral density. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 15(4), 630–639. <https://doi.org/10.1109/TITB.2011.2155081>

- Duggan, E. W., Carlson, K., & Umpierrez, G. E. (2017). Perioperative hyperglycemia management: An update. *Anesthesiology*, 126(3), 547–560. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001515>
- Chan, B. C. Y., & Yim, R. L. H. (2023). Perioperative cardiac complications. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 24(6), 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2023.03.006>
- Zhang, X., Xu, T., An, X., Wang, J., Meng, Q., & Xu, Z. (2024). Determining the optimum dose of remifentanyl in combination with propofol for total intravenous anaesthesia in hysteroscopy under Narcotrend and SPI monitoring. *Therapeutic Advances in Drug Safety*, 15, 20420986241289204. <https://doi.org/10.1177/20420986241289204>
- Michard, F., & Futier, E. (2023). Predicting intraoperative hypotension: From hope to hype and back to reality. *British Journal of Anaesthesia*, 131(2), 199–201. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2023.02.029>
- Fei, Q., Zhang, Y., Liu, C., Zheng, J., & Fu, Q. (2025). Artificial intelligence in anesthesia and perioperative medicine. *Anesthesiology and Perioperative Science*, 3, Article 24. <https://doi.org/10.1007/s44254-025-00107-4>
- Hao, X., Wang, Y., Li, K., Zhu, T., & Herasevich, V. (2025). Applying machine learning for perioperative adverse event prediction: A narrative review toward better clinical efficacy and usability. *Anesthesiology and Perioperative Science*, 3, Article 51. <https://doi.org/10.1007/s44254-025-00136-z>



BÖLÜM 3

Toraks Cerrahilerinde Analjezi Ugulamaları

Engin Ertürk¹ & Ferah Sarıca²

Toraks cerrahilerinde ağrının önemi ve patofizyolojisi

Toraks bölgesi cerrahileri, başta akciğerler olmak üzere yaşamsal organları doğrudan ilgilendirmesi nedeniyle yüksek cerrahi risk içeren girişimlerdir. Bununla birlikte, bu cerrahilerin özellikli olmasının temel nedenlerinden biri yalnızca cerrahi travmanın kendisi değil, aynı zamanda postoperatif ağrının oluşturduğu nöroendokrin stres yanıtı ve ağrının solunum sistemi üzerindeki baskılayıcı etkileridir. Bu iki mekanizmanın birleşimi, toraks cerrahilerini analjezi açısından ayrı bir kategoriye taşımaktadır.

Toraks cerrahisi sonrası gelişen ağrı; nörolojik, inflamatuvar ve mekanik bileşenleri içeren kompleks bir patofizyolojik süreçtir. Ağrıya yol açan faktörler arasında cilt kesisi, kas diseksiyonu, kaburgaların gerilmesi ve retraksiyonu, ameliyat sırasında kullanılan retraktörlere bağlı kosta kırıkları ve kostokondral eklem yaralanmaları yer almaktadır. Bu travmatik etkiler sonucunda periferik nosiseptörler aktive olmakta ve inflamatuvar medyatörlerin salınımı ile ağrı eşiği düşmektedir (1,2). Özellikle torakotomi sırasında kostaların genişletilmesi, kostovertebral eklem yaralanmalarına ve interkostal sinir hasarına neden olabilmektedir. Retraktörlerin interkostal sinirlere doğrudan bası uygulaması veya cerrahi kesi ve sütürlere bağlı sinir hasarı, hem akut postoperatif ağrının şiddetini artırmakta hem de kronik ağrı gelişimi açısından risk oluşturmaktadır.

Buna ek olarak pariyetal ve visseral plevranın kesilmesi, toraks drenleri ve cerrahi manipölasyonlar da önemli ağrı kaynaklarıdır. Postoperatif dönemde akut ağrının yeterince kontrol altına alınamaması periferik ve santral duyarlılığın artmasına yol açmakta; inflamatuvar yanıtın sürmesi ve santral sensitizasyon mekanizmalarının devreye girmesi ile kronik ağrı gelişimi kolaylaşmaktadır. Bu durum klinikte posttorakotomi ağrı sendromu olarak tanımlanmakta olup, semptomların iki aydan başlayarak yıllarca sürebildiği bildirilmektedir (3).

Torakotomi ağrısı, postoperatif dönemde karşılaşılan en şiddetli ağrı tiplerinden biri olarak kabul edilmektedir (4). Ancak klinik sorun yalnızca ağrı şiddeti ile sınırlı değildir. Cerrahi travmaya ek olarak ağrının tetiklediği sempatik aktivasyon ve nöroendokrin stres yanıtı; kardiyovasküler, metabolik ve immün sistemler üzerinde sistemik etkiler oluşturur. Daha da önemlisi, inspiyum

¹ Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi, Trabzon
ORCID No: 0000-0002-5864-1754

² Uzm. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi, Trabzon
ORCID No: 0000-0002-7327-1974

sırasında toraksın genişlemesi ve interkostal yapıların gerilmesi cerrahi sahadaki ağrıyı artırır. Ağrıyı azaltma amacıyla hasta derin inspiyumdan kaçınır, yüzeysel solur ve öksürük refleksini baskılar. Bunun sonucunda tidal volüm azalır, sekresyon klirensi bozulur ve atelektazi gelişir. Devam eden hipoventilasyon enfeksiyon riskini artırarak postoperatif pulmoner komplikasyonlara zemin hazırlar. Dolayısıyla toraks cerrahisi sonrası dönemde yalnızca cerrahi stres yanıtı ile değil, ağrının tetiklediği solunumsal ve sistemik komplikasyonlarla da mücadele edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle toraks cerrahilerinde etkili postoperatif analjezi, cerrahi sürecin temel ve vazgeçilmez bileşenlerinden biridir.

Toraks cerrahilerinde analjezi, intraoperatif dönemden başlayarak postoperatif süreci kapsayacak şekilde planlanabilir ya da her iki dönemde farklı teknikler uygulanabilir. Sistemik opioid ve non-opioid analjezikler en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bununla birlikte, daha etkin analjezi sağlamak ve opioid ilişkili yan etkileri azaltmak amacıyla zaman içerisinde farklı teknikler geliştirilmiştir. Santral nöroaksiyel blokların yanı sıra özellikle son yıllarda toraks duvarına yönelik bölgesel plan blokları klinik uygulamada giderek daha fazla yer bulmaktadır (Tablo 1).

Tablo1: Toraks Cerrahilerinde Kullanılan Analjezi Yöntemleri

Sistemik analjezikler	Santral bloklar	Bölgesel/Periferik bloklar
Parasetamol	Torakal Epidural	Paravertebral blok
NSAİİ'ler	Analjezi	Toraks Duvarı Plan Blokları
Opioidler		(ESPB, SAPB, PECS 1-2,)
NMDA reseptör antagonistleri		İnterkostal sinir bloğu
Gabapentinoidler		

Toraks Cerrahilerinde Analjezinin Hedefleri

Toraks cerrahilerinde analjezi planlanırken temel amaç yalnızca ağrı skorlarını azaltmak değildir. Etkili bir analjezi yaklaşımı; yeterli tidal volümün korunmasını, etkin öksürük ve sekresyon klirensinin sağlanmasını, erken mobilizasyonu mümkün kılmayı ve postoperatif pulmoner komplikasyonları azaltmayı hedeflemelidir. Bunun yanında nöroendokrin stres yanıtının baskılanması, hemodinamik stabilitenin korunması ve kronik posttorakotomi ağrı sendromu gelişiminin önlenmesi de önemli hedefler arasındadır. Güncel yaklaşım, bu hedeflere ulaşmak için farklı mekanizmalar üzerinden etki gösteren yöntemlerin birlikte kullanıldığı multimodal analjezi stratejilerini ön plana çıkarmaktadır.

SİSTEMİK ANALJEZİKLER

Toraks cerrahilerinde sistemik analjezikler tarihsel olarak en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Özellikle intraoperatif ve erken postoperatif dönemde kolay uygulanabilir olmaları nedeniyle tercih edilirler. Bununla birlikte, tek başına sistemik analjezi çoğu zaman torakotomi gibi yüksek ağrı potansiyeline sahip cerrahilerde yeterli olmamakta ve yan etki profilleri nedeniyle dikkatli kullanım gerektirmektedir.

1.Parasetamol

Parasetamol, merkezi analjezik etkisi ve güvenli yan etki profili nedeniyle multimodal analjezi protokollerinin temel bileşenlerinden biridir. Tek başına torakotomi ağrısında yeterli olmasa da, opioid tüketimini azaltıcı etkisi nedeniyle sistemik analjezi rejimlerinde yer alır. Karaciğer fonksiyonları göz önünde bulundurularak doz sınırlarına dikkat edilmelidir.

2. NSAİİ'ler

Nonsteroid antiinflatuar ilaçlar (NSAİİ'ler), siklooksijenaz (COX) enzim inhibisyonu yoluyla prostaglandin sentezini azaltarak analjezik ve antiinflatuar etki gösterirler. Periferik inflamatuvar yanıtın baskılanması sayesinde özellikle somatik bileşeni belirgin olan postoperatif ağrıda etkilidirler. Opioid gereksinimini azaltmaları önemli bir avantajdır. Bununla birlikte, toraks cerrahisi hastalarında renal fonksiyonlar, gastrointestinal kanama riski ve trombosit fonksiyonları üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle majör rezeksiyon geçiren ve komorbiditesi bulunan hastalarda dikkatli doz titrasyonu gereklidir. Sistemik analjezik olarak epidural analjezi gibi yöntemlere üstünlüğü özellikle yansıyan ağrıyı engellemede öne çıkması olarak belirtilebilir.

3. Opioidler

Opioidler, toraks cerrahisi sonrası ağrı kontrolünde uzun yıllar temel ajanlar olmuştur. Santral opioid reseptörleri üzerinden etki göstererek güçlü analjezi sağlarlar. Ancak solunum depresyonu, sedasyon, bulantı-kusma, ileus ve idrar retansiyonu gibi yan etkileri özellikle toraks cerrahisi hastalarında klinik açıdan önem taşır. Altın standart olarak kabul edilen epidural analjeziyle benzer ekstübasyon süreleri sağlamakla birlikte ağrı ve yan etkiler açısından epidural analjezinin gerisinde kaldığı bildirilmiştir (5). Diğer yandan solunum fonksiyonunun zaten cerrahiye bağlı olarak kısıtlandığı bu hasta grubunda opioidlerin aşırı kullanımı hipoventilasyonu derinleştirebilir. Bu nedenle güncel yaklaşımda opioidler, multimodal analjezi stratejisinin bir bileşeni olarak, mümkün olan en düşük etkili dozda kullanılmalıdır.

4. NMDA Reseptör Antagonistleri

N-metil-D-aspartat (NMDA) reseptör antagonistleri, özellikle ketamin, santral sensitizasyonu azaltarak hem akut hem de kronik ağrı gelişimini sınırlayabilir. Subanestezi dozlarında analjezi ve sitokin salınımında azalma sağlamanın yanı sıra solunum depresyonu yapmaması en büyük avantajı olarak belirtilebilir. Düşük doz ketamin infüzyonları, opioid tüketimini azaltma ve opioid toleransını önleme açısından faydalı bulunmuştur. Yapılan meta-analizlerde kombine olarak kullanımında sadece opioid kullanımına göre akut ağrıyı azaltmanın yanı sıra daha iyi solunum parametreleri sağladığı bildirilmiştir (6). Bununla birlikte yüksek dozlarda yan etki potansiyelinin arttığı unutulmamalıdır. Psikomimetik yan etkiler ve hemodinamik etkiler göz önünde bulundurularak uygun hasta seçimi yapılmalıdır.

5. Gabapentinoidler

Gabapentin ve pregabalin gibi gabapentinoidler, özellikle nöropatik bileşeni olan ağrıda etkili olabilirler. Posttorakotomi ağrı sendromunun önlenmesine yönelik potansiyel katkıları nedeniyle bazı protokollerde yer almaktadırlar. Toraks cerrahilerinde akut ve kronik ağrının önlenmesinde ve daha iyi postoperatif derlenme sağlanmasında preoperatif kullanımı bildirilmiştir (7). Bununla birlikte sedasyon ve baş dönmesi gibi yan etkiler erken mobilizasyonu sınırlayabileceğinden dikkatli kullanılmalıdır.

TORAKAL EPİDURAL ANALJEZİ

Torakal epidural analjezi (TEA), sağladığı üstün analjezik etkinlik, cerrahi uyarıya bağlı gelişen nöroendokrin stres yanıtını baskılama kapasitesi ve hemodinamik stabiliteye katkısı nedeniyle hem cerrahi hem de travmaya bağlı ağrı yönetiminde kullanılmakla birlikte cerrahi dışı bazı prosedürlerde de en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (8-10). Santral bir nöroaksiyel blok olmasına rağmen, uygun segmental düzeyde ve kontrollü dozlarda uygulandığında spinal anesteziye kıyasla daha sınırlı ve öngörülebilir hemodinamik değişikliklere yol açması önemli bir avantajdır.

Epidural analjezinin cerrahi insizyon ve yoğun nosiseptif uyarı başlamadan önce uygulanması, geçmişte “preemptif analjezi” olarak tanımlanan, günümüzde ise daha kapsamlı bir kavram olan “preventif analjezi” yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, ağrının santral sensitizasyon gelişmeden kontrol altına alınmasını hedefler ve cerrahiye bağlı nöroendokrin stres yanıtının baskılanmasına katkı sağlar. Bu yöntemle çok daha etkin analjezi sağladığı klinik çalışmalar ile gösterilmiştir (4).

Toraks cerrahilerinde TEA’nın en önemli klinik katkılarından biri, solunum fonksiyonları üzerindeki olumlu etkisidir. Etkin segmental analjezi sayesinde hastalar daha yeterli tidal volümle soluyabilmekte, ağrıya bağlı yüzeyel solunum ve splinting davranışı azalmakta ve etkin öksürük refleksi korunmaktadır. Bu

durum sekresyon retansiyonunu azaltarak atelektazi ve pnömoni gibi postoperatif pulmoner komplikasyonların önlenmesine katkı sağlar. Çeşitli klinik çalışmalarda TEA'nın pulmoner fonksiyonları iyileştirdiği, erken ekstübasyon ve mobilizasyona olanak tanıdığı ve komplikasyon oranlarını azalttığı gösterilmiştir (11-13). Bu olumlu etkilerin doğal sonucu olarak hastanede kalış süresinin kısalması, erken fonksiyonel iyileşme ve dolaylı olarak sağlık maliyetlerinde azalma sağlanabilmektedir.

Torakal epidural analjezinin en önemli avantajlarından biri kateter aracılığıyla uygulanabilmesi ve bu sayede sürekli infüzyon veya aralıklı bolus uygulamaları ile analjezi süresinin ihtiyaç duyulan dönem boyunca sürdürülebilir olmasıdır. Doz titrasyonu yapılabilmesi, analjezi derinliğinin klinik gereksinimlere göre ayarlanmasına ve yan etki riskinin kontrol altında tutulmasına olanak sağlar.

Yukarıda bahsedilem tüm bu olumlu etkilerle birlikte TEA tamamen risksiz bir yöntem değildir. En ciddi komplikasyonlar arasında epidural hematoma ve enfeksiyon gibi nadir fakat potansiyel olarak ciddi nörolojik sonuçlara yol açabilecek durumlar yer alır. Antikoagülan tedavi alan hastalarda dikkatli değerlendirme gereklidir. Yüksek doz veya geniş segmentli bloklarda belirgin sempatik blok gelişimine bağlı hipotansiyon görülebilir (14). Çok yüksek doz lokal anestezi uygulamalarında ise interkostal kaslar dahil olmak üzere solunum kaslarında motor blok gelişmesi teorik olarak mümkündür.

TEA'nın klinik kullanımındaki önemli sınırlayıcı faktörlerden biri teknik uygulama zorluğudur. Torakal epidural kateterizasyon, lomber bölgeye kıyasla anatomik olarak daha dar aralıklara sahip olması nedeniyle daha fazla deneyim ve teknik beceri gerektirir. Bu nedenle uygulayıcı deneyimi, yöntemin başarısı ve güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

PARAVERTEBRAL BLOK (PVB)

Paravertebral blok (PVB), torakal epidural analjeziye benzer şekilde segmental somatik ve sempatik blok sağlayan bir rejyonal analjezi yöntemidir. Klasik landmark tekniğinde, vertebranın orta hattının yaklaşık 2–3 cm lateralinden girilerek iğne torakal vertebranın transvers çıkıntısına kadar ilerletilir. Transvers çıkıntıya temas edildikten sonra iğne hafifçe sefalik veya kaudal yönde yönlendirilerek paravertebral aralığa ilerletilir. Bu sırada superior kostotransvers ligamentin geçilmesine bağlı olarak direnç kaybı hissedilir ve lokal anestezi enjeksiyonu bu potansiyel alana yapılır. Ancak landmark tekniği ile uygulamada plevraya yakın komşuluk nedeniyle pnömotoraks riski teorik olarak mevcuttur. Bu nedenle son yıllarda ultrasonografi rehberli PVB teknikleri yaygınlaşmıştır. Ultrason eşliğinde uygulama, transvers çıkıntı, plevra ve paravertebral alanın doğrudan görüntülenmesine olanak tanıyarak blok başarısını artırmakta ve komplikasyon riskini azaltmaktadır (15,16).

Paravertebral blokta lokal anesteziğin torakal paravertebral alana enjeksiyonu, spinal sinirin ventral ve dorsal ramuslarını, interkostal sinirleri ve sempatik zinciri etkileyerek segmental ve genellikle unilateral bir somatik ve sempatik blok oluşturur. Bu etki, dermatomal düzeyde ağrı iletimini kesintiye uğratarken, eşlik eden sempatik blok sayesinde visseral ağrı komponentinin de kısmen baskılanmasına katkı sağlar.

Torakal epidural analjeziden farklı olarak blok genellikle tek taraflı ve daha sınırlı segmental yayılım gösterir. Bu durum, bilateral sempatik blok gelişme olasılığını azaltarak hipotansiyon riskinin daha düşük olmasına ve daha az yan etki neden olur. Dolayısıyla hemodinamik stabilite genellikle daha iyi korunur ve daha olumlu klinik durum sağlar (17).

Solunum fizyolojisi açısından değerlendirildiğinde, etkin analjezi sayesinde tidal volüm artışı, daha derin inspirasyon ve etkin öksürük sağlanabilir. Ağrıya bağlı gelişen splinting davranışının azalması, sekresyon retansiyonunu ve buna bağlı pulmoner komplikasyon riskini düşürebilir. Bununla birlikte, geniş segmentli bilateral blok oluşturulmadığı sürece interkostal kas fonksiyonları genellikle korunur (18,19).

Paravertebral Bloğun Komplikasyonlar ve Sınırlılıkları

Paravertebral blok genel olarak güvenli bir yöntem olarak kabul edilmekle birlikte tamamen risksiz değildir. Anatomik olarak paravertebral alanın plevraya komşu olması nedeniyle pnömotoraks en bilinen komplikasyonlardan biridir. Landmark tekniği ile uygulamalarda bu risk daha belirgin olmakla birlikte, ultrasonografi rehberli uygulamalarla pnömotoraks insidansının anlamlı şekilde azaldığı bildirilmiştir (20,21).

Vasküler ponksiyon ve buna bağlı lokal anestetik sistemik toksisitesi (LAST) nadir ancak potansiyel olarak ciddi komplikasyonlar arasında yer alır. Paravertebral alanın interkostal damarlarla yakın ilişkisi nedeniyle aspirasyon ve fraksiyone enjeksiyon önerilmektedir. Literatürde sistemik toksisite insidansının düşük olduğu, ancak özellikle çok seviyeli veya yüksek hacimli uygulamalarda dikkatli olunması gerektiği belirtilmiştir (21,22).

Bilateral veya çok seviyeli blok uygulamalarında sempatik zincirin segmental blokajı nedeniyle hipotansiyon gelişebilir. Bu hipotansiyonun torakal epidural analjeziye kıyasla daha düşük oranda görüldüğü ve hemodinamik instabilite oranlarının epidural analjeziye göre daha düşük olduğu bildirilmiştir (21,23).

Blok başarısızlığı veya yetersiz dermatomal yayılım da klinik sınırlılıklar arasındadır. Antikoagülan tedavi alan hastalarda, torakal epidural analjeziye kıyasla daha güvenli kabul edilmekle birlikte, derin periferik bloklar için önerilen rehberler doğrultusunda dikkatli değerlendirme yapılmalıdır (24).

EREKTÖR SPİNA PLAN BLOĞU (ESPB)

Erektör spina plan bloğu (ESPB), 2016 yılında Forero ve arkadaşları tarafından tanımlanan nispeten yeni bir interfasiyal plan bloğudur (25). Bu teknikte lokal anestezi, torakal vertebranın transvers çıkıntısı ile erektör spina kas grubu arasındaki fasyal plana enjekte edilir. Enjeksiyon sonrası lokal anesteziğin kraniokaudal yönde yayılım göstererek dorsal ve ventral spinal sinir dallarını etkilemesi; ayrıca paravertebral alana ve sempatik zincire potansiyel yayılımı sayesinde ipsilateral somatik ve visseral analjezi oluşturduğu düşünülmektedir.

ESPB, uygulama tekniğinin görece basit olması ve ultrasonografi ile kemik yapıların kolaylıkla tanımlanabilmesi nedeniyle kısa sürede yaygın klinik kullanım alanı bulmuştur. Transvers çıkıntının güvenli bir “kemik bariyer” oluşturması, plevraya doğrudan temas riskini azaltmakta ve pnömotoraks olasılığını teorik olarak düşürmektedir.

İlk kullanımlarında torasik nöropatik ağrı tedavisi amacıyla tanımlanana ESPB günümüzde toraks cerrahisi, kardiyak cerrahi, spinal cerrahi, meme cerrahisi ve abdominal cerrahiler ve kaburga kırıkları prosedürlerinde multimodal analjezi stratejisinin bir bileşeni olarak kullanılmaktadır (26-29).

Randomize kontrollü çalışmalar, torakotomi ve video-yardımlı torakoskopik cerrahi (VATS) sonrası uygulanan ESPB’nin postoperatif ağrı skorlarını azalttığını ve opioid tüketimini anlamlı ölçüde düşürdüğünü göstermiştir (30). Özellikle VATS gibi minimal invaziv girişimlerde, cerrahi travmanın görece sınırlı olması nedeniyle ESPB’nin sağladığı analjezi çoğu zaman yeterli bulunmuştur. Bu hasta grubunda erken mobilizasyon, etkin solunum ve kısa hastanede kalış süresi ile ilişkili olumlu sonuçlar bildirilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde ESPB; uygulama kolaylığı, güvenlik profili ve yeterli analjezik etkinliği nedeniyle toraks cerrahisinde giderek artan sıklıkta tercih edilen bir yöntemdir. Bununla birlikte, geniş insizyonlu açık torakotomilerde tek başına yeterliliği hasta bazlı değerlendirilmelidir.

ESPB’nin Komplikasyonları ve Sınırlılıkları

Erektör spina plan bloğu ile olumlu klinik sonuçlar bildirilmiş olmakla birlikte, literatürde blok etkinliği ve mekanizmasına ilişkin çeşitli tartışmalar mevcuttur. Özellikle lokal anestezi dağılımının kullanılan hacme bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği, paravertebral alana yayılımın tutarsız ve öngörülemez olabileceği ve ventral sinir köklerinin her zaman yeterli düzeyde bloke edilemeyebileceği bildirilmiştir (31-33). Bazı kadavra ve görüntüleme çalışmalarında, lokal anesteziğin esas olarak dorsal ramus düzeyinde sınırlı kalabileceği öne sürülmüştür. Gönüllüler üzerinde yapılan çalışmalarda ise

anterior toraks duvarında yeterli duyusal blok oluşmadığı gösterilmiş ve bu durum özellikle sternotomi veya anterior toraks insizyonu içeren cerrahilerde analjezik etkinliğin sınırlı olabileceğini düşündürmüştür (34,35).

Bu sınırlılıklar nedeniyle, cerrahi alanın daha geniş kapsanmasını sağlamak amacıyla ESP bloğunun yüzeysel parasternal interkostal plan bloğu ile kombine edildiği çalışmalar yayımlanmıştır. Bu kombinasyonun, tek başına ESP bloğuna kıyasla daha düşük ağrı skorları ve daha az opioid tüketimi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (36).

Öte yandan, bazı yazarlar ESPB'nin etki mekanizmasının tam olarak ortaya konamadığını, paravertebral yayılımının her hastada güvenilir şekilde gerçekleşmediğini ve analjezik etkinliğin özellikle erken postoperatif dönemle sınırlı kalabileceğini ileri sürmüştür (37). Bu görüşler, ESPB'nin klinik etkinliğinin cerrahi türüne ve hasta özelliklerine göre değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, düzlem blok teknikleri uygulama kolaylığı ve güvenlik profili açısından avantajlı görünmekle birlikte, özellikle kardiyak ve majör toraks cerrahisinde uzun dönem sonuçları değerlendiren, yüksek kaliteli randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç olduğu bir gerçektir.

SERRATUS ANTERIOR PLAN BLOĞU (SAPB)

Serratus anterior plan bloğu, lateral toraks duvarının somatik innervasyonunu hedefleyen, ultrason eşliğinde uygulanan bir interfasiyal plan bloğudur. Bu teknikte lokal anestezi; serratus anterior kası ile latissimus dorsi kası arasındaki yüzeysel plan veya serratus anterior kasının derininde, kostalar üzerindeki fasyal plan içerisine enjekte edilir. Blok ile esas olarak 2.–6. interkostal sinirlerin lateral kutanöz dalları etkilenir. Ayrıca enjeksiyon düzeyine bağlı olarak n. thoracodorsalis ve n. thoracicus longus da etkilenebilir. Bu nedenle SAPB, özellikle lateral toraks duvarına yönelik cerrahi insizyonlarda ve toraks tüpü yerleştirilmesi gibi girişimlerde etkili analjezi sağlayabilmektedir.

SAPB, paravertebral veya epidural bloklardan farklı olarak spinal sinir kökleri veya sempatik zincir üzerinde doğrudan etkili değildir. Bu nedenle visseral ağrı komponenti üzerindeki etkisi sınırlıdır. Analjezik etkinliği büyük ölçüde toraks duvarına ait somatik ağrının baskılanması ile ilişkilidir.

Serratus anterior plan bloğu (SAPB), özellikle lateral toraks duvarını içeren cerrahi girişimlerde ve toraks tüpü yerleştirilmesi gibi ağrılı işlemlerde etkili bir analjezi yöntemi olarak tanımlanmıştır. İlk olarak Blanco ve arkadaşları tarafından meme cerrahisi için tarif edilmesinden sonra, toraks cerrahisi pratiğinde de kullanım alanı bulmuştur (38).

Video-yardımlı torakoskopik cerrahi (VATS) sonrası uygulanan SAPB'nin, postoperatif ağrı skorlarını azalttığı ve opioid tüketimini düşürdüğü randomize kontrollü çalışmalarda gösterilmiştir (39,40).

SAPB'nun Komplikasyonları ve Sınırlılıkları

Serratus anterior plan bloğu genel olarak güvenli ve teknik olarak uygulanabilir bir yöntem olarak kabul edilmekle birlikte pnömotoraks teorik bir komplikasyon olarak tanımlanmakla birlikte, ultrasonografi rehberli uygulamalarda plevranın doğrudan görüntülenebilmesi sayesinde bu riskin düşük olduğu bilinmektedir.

Vasküler ponksiyon ve lokal anestezi sistemik toksisitesi özellikle 20–30 mL gibi yüksek hacimli lokal anestezi kullanılan uygulamalarda dikkat edilmesi gereken durumlardır.

SAPB'nin en önemli sınırlılığı analjezik kapsamının büyük ölçüde toraks duvarının lateral ve anterolateral somatik bileşeni ile sınırlı olmasıdır. Paravertebral alan veya sempatik zincir üzerinde doğrudan etkisi bulunmadığından visseral ağrı kontrolü sınırlı kalabilir. Bu nedenle sternotomi veya geniş torakotomi insizyonlarında tek başına yeterli analjezi sağlamayabileceği bilinmelidir.

PEKTORAL SİNİR BLOKLARI (PEC-1 ve PECS-2)

PECS blokları, pektoralis majör ve minor kasları arasına veya pektoralis minor ile serratus anterior kasları arasına yapılan ultrason eşliğinde interfasiyal plan bloklarıdır. PECS I bloğu, medial ve lateral pektoral sinirleri hedef alır; genellikle 10 mL lokal anestezi ilaç ile pektoralis major ve minor arasına uygulanır. PECS II bloğu ise PECS I'in üzerine eklenerek üst interkostal sinirler, uzun torasik sinir ve torakodorsal siniri kapsayacak şekilde pektoralis minor ve serratus anterior arasına 20 mL lokal anestezi ilaç enjekte edilerek uygulanır.

RHOMBOİD İNTERKOSTAL PLAN BLOĞU

RIP bloğu, torakal dorsal duvarın interkostal sinirlerini ve özellikle posterior rami ile dorsal kutanöz dalları hedefleyen bir interfasiyal plan blokudur. Bu teknik, rhomboid kası ile interkostal kaslar arasındaki plan içerisine lokal anestetik enjekte edilerek uygulanır ve posterolateral toraks duvarı cerrahisi sonrası analjezi sağlamak amacıyla kullanılabilir. Genellikle 20–25 mL hacimde lokal anestezi ilaç ile uygulanır. RIP bloğu, PECS veya SAPB bloklarıyla kombine edildiğinde hem anterior hem de posterior toraks duvarında geniş bir analjezik alan sağlar ve multimodal reyonel analjezi protokollerinin bir parçası olarak giderek daha fazla tercih edilmektedir.

İNTERKOSTAL SİNİR BLOKLARI

Genellikle tek taraflı ve tek seviye blok elde etmek için kullanılır. Cerrahi işlem bitiminde cerrah tarafından her seviye için 3-5 ml lokal anestezi kullanılarak yapılır. Yapılan çalışmalarda epidural analjezi kadar olmasa da sistemik opioidlerle analjeziye göre daha iyi analjezi sağladığı gösterilmiştir (41).

Torakal Epidural Analjezi Altın Standart mı?

Torakal epidural analjezi uzun yıllar boyunca torakotomi sonrası ağrı kontrolünde “altın standart” yöntem olarak kabul edilmiştir. Bunun temel nedeni, sağladığı üstün segmental analjezi, opioid gereksinimini belirgin azaltması ve pulmoner fonksiyonlar üzerindeki olumlu etkileridir. Özellikle açık torakotomi gibi geniş insizyon ve belirgin interkostal sinir hasarı içeren cerrahilerde TEA’nın etkinliği güçlü klinik deneyim ve literatür desteği ile ortaya konmuştur.

Randomize kontrollü çalışmalar ve meta-analizler, TEA’nın sistemik opioid bazlı analjeziye kıyasla daha iyi ağrı kontrolü sağladığını, pulmoner komplikasyonları azalttığını ve erken mobilizasyona katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bu nedenle uzun süre boyunca torakotomi yapılan hastalarda önerilen birinci basamak rejjyonel analjezi yöntemi olmuştur.

Ancak son yıllarda toraks cerrahisindeki minimal invaziv tekniklerin (özellikle VATS ve robotik cerrahi) yaygınlaşması, postoperatif ağrı şiddetinin azalması ve ultrason eşliğinde uygulanan ve yukarıda detaylı olarak anlatılan plan bloklarının gelişmesi ile birlikte TEA’nın “rutin altın standart” konumu tartışılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda Erektör spina plan bloğu ile epidural analjezi kadar olmasada kabul edilebilir derecede iyi analjezi sağlandığı ve TEA’ya güvenli bir alternatif olabileceği bildirilmiştir (42). Benzer şekilde SAPB’nin torasik cerrahilerde TEA kadar iyi analjezi sağladığı ve sahip olduğu güvenlik profili ile TEA’ya iyi bir alternatif olabileceği bildirilmiştir (43).

Paravertebral blok ile yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, benzer analjezik etkinlik sağlanabildiği, ancak PVB’nin daha az hipotansiyon ve üriner retansiyon ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Erektör spina plan bloğu ise teknik olarak daha kolay uygulanabilir olması ve daha düşük ciddi komplikasyon riski nedeniyle özellikle son yıllarda popülerlik kazanmıştır. Bununla birlikte ESP bloğunun analjezik derinliği ve visseral komponent üzerindeki etkinliği konusunda literatürde halen heterojen sonuçlar bulunmaktadır.

TEA’nın en önemli dezavantajları arasında hipotansiyon, idrar retansiyonu, nadir fakat ciddi nörolojik komplikasyon riski ve antikoagülan tedavi alan hastalarda kullanım kısıtlılığı yer almaktadır. Ayrıca teknik uygulama zorluğu ve deneyim gereksinimi de yöntemin her merkezde standart olarak uygulanmasını sınırlayabilmektedir.

Güncel yaklaşımda TEA'nın açık torakotomi yapılan, yüksek ağrı potansiyeline sahip ve pulmoner rezervi sınırlı hastalarda halen güçlü bir seçenek olduğu; buna karşın minimal invaziv cerrahilerde hasta bazlı değerlendirme yapılarak alternatif rejyonal tekniklerin tercih edilebileceği yönünde görüşler bulunmaktadır.

Sonuç olarak, torakal epidural analjezi tarihsel olarak "altın standart" olarak kabul edilmiş olmakla birlikte, günümüzde bu kavram mutlak bir üstünlükten ziyade hasta seçimine dayalı bir üstünlük şeklinde yeniden tanımlanmaktadır. Uygun hasta, uygun cerrahi ve deneyimli uygulayıcı koşullarında TEA halen toraks cerrahisinde en güçlü analjezik yöntemlerden biri olmaya devam etmektedir.

Kaynaklar:

- 1- Maloney J, Wie C, Pew S, Covington S, Maita M, Kozinn R, et al. Post-thoracotomy pain syndrome. *Curr Pain Headache Rep* 2022;26:677–681.
- 2- Bayman EO, Brennan TJ. Incidence and severity of chronic pain at 3 and 6 months after thoracotomy: meta-analysis. *J Pain* 2014;15:887–897.
- 3- Hegarty D. Post thoracotomy pain syndrome: what pain management options do we have? *J Surg Transplant Sci* 2017;5:1059.
- 4- Erturk E, Aydogdu Kaya F, Kutanis D, Besir A, Akdogan A, Geze S, Tugcugil E. The effectiveness of preemptive thoracic epidural analgesia in thoracic surgery. *Biomed Res Int.* 2014;2014:673682.
- 5- Della Rocca G, Coccia C, Pompei L, Costa MG, Pierconti F, Di Marco P, Tommaselli E, Pietropaoli P. Post-thoracotomy analgesia: epidural vs intravenous morphine continuous infusion. *Minerva Anesthesiol.* 2002;68:681-693.
- 6- Moyse DW, Kaye AD, Diaz JH, Qadri MY, Lindsay D, Pyati S. Perioperative Ketamine Administration for Thoracotomy Pain. *Pain Physician.* 2017;20:173-184.
- 7- Kosucu M, Tugcugil E, Erturk E, Topbas M, Eroglu A, Ulusoy H, Tekinbas C. The effects of the pre-emptive oral gabapentin on post-anesthesia recovery criteria, acute post-thoracotomy pain and development of chronicity in pain with benign thoracotomy operations. *Turk Gogus Kalp Dama.* 2014;22:389-396
- 8- Carrier FM, Turgeon AF, Nicole PC, Trépanier CA, Fergusson DA, Thauvette D, et al. Effect of epidural analgesia in patients with traumatic rib fractures: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Can J Anaesth.* 2009;56:230-242.
- 9- Li Y, Dong H, Tan S, Qian Y, Jin W. Effects of thoracic epidural anesthesia/analgesia on the stress response, pain relief, hospital stay, and treatment costs of patients with esophageal carcinoma undergoing thoracic surgery: A single-center, randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore).* 2019;98:e14362.
- 10- Erturk E, Bostan H, Eroglu A. Epidural analgesia and vaginal delivery in a patient with aortic stenosis and insufficiency. *Med Princ Pract* 2011;20:574–576.
- 11- Sarica F, Erturk E, Kutanis D, Akdogan A, Senel AC. Comparison of Thoracic Epidural Analgesia and Traditional Intravenous Analgesia With Respect to Postoperative Respiratory Effects in Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2021;35:1800-1805

- 12- Tenenbein PK, Debrouwere R, Maguire D, et al. Thoracic epidural analgesia improves pulmonary function in patients undergoing cardiac surgery. *Can J Anesth* 2008;55:344–50.
- 13- Akdoğan A, Ertürk E, Özdemir AC, Kutaniş D, Güven KY. The effect of thoracic epidural analgesia on short-term outcome and mortality in geriatric patients undergoing open heart surgery. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2022;28:382-389.
- 14- Mostafa SF, Eid GM. Ultrasound guided erector spinae plane block versus thoracic epidural analgesia in traumatic flail chest, a prospective randomized trial. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2023;39:250-257.
- 15- Greengrass R, O'Brien F, Lyster K, et al. Paravertebral block for breast cancer surgery. *Can J Anesth* 1996;43:858–61.
- 16- Karmakar MK. Ultrasound-guided thoracic paravertebral block. *Tech Reg Anesth Pain Management* 2009;13:142–9.
- 17- Davies RG, Myles PS, Graham JM. A comparison of the analgesic efficacy and side-effects of paravertebral vs epidural blockade for thoracotomy: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Br J Anaesth.* 2006;96:418–426.
- 18- Richardson J, Sabanathan S, Mearns AJ, Evans CS. A prospective, randomized comparison of interpleural and paravertebral analgesia in thoracic surgery. *Br J Anaesth.* 1995;75(4):405–408.
- 19- Scarci M, Joshi A, Attia R. In patients undergoing thoracic surgery, is paravertebral block as effective as epidural analgesia for pain control? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2010;10(1):92–96.
- 20- Richardson J, Sabanathan S. Thoracic paravertebral analgesia. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1995;39(8):1005–1015.
- 21- Davies RG, Myles PS, Graham JM. A comparison of the analgesic efficacy and side-effects of paravertebral vs epidural blockade for thoracotomy: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Br J Anaesth.* 2006;96:418–426.
- 22- Naja Z, Lönnqvist PA. Somatic paravertebral nerve blockade. Incidence of failed block and complications. *Anaesthesia.* 2001;56(12):1184–1188.
- 23- Scarci M, Joshi A, Attia R. Is paravertebral block as effective as epidural analgesia for thoracic surgery? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2010;10:92–96.
- 24- Narouze S, Benzon HT, Provenzano D, et al. Regional anesthesia in patients receiving antithrombotic therapy. *Reg Anesth Pain Med.* 2018;43:263–309.

- 25- Forero M, Adhikary SD, Lopez H, Tsui C, Chin KJ. The erector spinae plane block: a novel analgesic technique in thoracic neuropathic pain. *Reg Anesth Pain Med.* 2016;41:621–627.
- 26- Koo CH, Lee HT, Na HS, Ryu JH, Shin HJ. Efficacy of Erector Spinae Plane Block for Analgesia in Thoracic Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2022;36:1387-1395.
- 27- Nair A, Saxena P, Borkar N, Rangaiah M, Arora N, Mohanty PK. Erector spinae plane block for postoperative analgesia in cardiac surgeries- A systematic review and meta-analysis. *Ann Card Anaesth.* 2023;26:247-259.
- 28- van den Broek RJC, van Meegen VMM, Al Khawaja H, Bouwman RA, Versyck B. Erector spinae plane block improves postoperative recovery after laminectomy and discectomy surgery: a retrospective cohort study. *BMC Anesthesiol.* 2023;23:308.
- 29- Fan Q, Liu H, Li Y, Dai H, Wang Y. Comparison of ultrasound-guided erector spinae plane block and thoracic paravertebral block for postoperative analgesia after laparoscopic nephrectomy: a randomized controlled non-inferiority clinical trial. *Minerva Anesthesiol.* 2023;89:520-528
- 30- Koo CH, Lee HT, Na HS, Ryu JH, Shin HJ. Efficacy of Erector Spinae Plane Block for Analgesia in Thoracic Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2022;36:1387-1395.
- 31- Bailey JG, Uppal V. The erector spinae plane block: silver bullet or over-hyped? *Can J Anaesth.* 2024;71:710-5.
- 32- Saadawi M, Layera S, Aliste J, Bravo D, Leurcharusmee P, Tran Q. Erector spinae plane block: A narrative review with systematic analysis of the evidence pertaining to clinical indications and alternative truncal blocks. *J Clin Anesth.* 2021;68:110063
- 33- Tulgar S, Ahiskalioglu A, Balaban O. Reply to Dr. Ueshima: The relationship of local anesthetic volume and dermatomal spread of sensorial block in erector spinae plane blocks: A new dilemma. *J Clin Anesth.* 2019;52:57.
- 34- Zhang J, He Y, Wang S, Chen Z, Zhang Y, Gao Y, Wang Q, Xia Y, Papadimos TJ, Zhou R. The erector spinae plane block causes only cutaneous sensory loss on ipsilateral posterior thorax: a prospective observational volunteer study. *BMC Anesthesiol.* 2020;20:88.
- 35- Byrne K, Smith C. Human volunteer study examining the sensory changes of the thorax after an erector spinae plane block. *Reg Anesth Pain Med.* 2020;45:761-2.

- 36- Dost B, Kaya C, Turunc E, Dokmeci H, Yucel SM, Karakaya D. Erector spinae plane block versus its combination with superficial parasternal intercostal plane block for postoperative pain after cardiac surgery: a prospective, randomized, double-blind study. *BMC Anesthesiol.* 2022;22:295.
- 37- Lonnqvist PA, Karmakar MK, Richardson J, Moriggl B. Daring discourse: should the ESP block be renamed RIP II block? *Reg Anesth Pain Med.* 2021;46:57-60.
- 38- Blanco R, Parras T, McDonnell JG, Prats-Galino A. Serratus plane block: a novel ultrasound-guided thoracic wall nerve block. *Anaesthesia.* 2013;68:1107–1113.
- 39- Khalil AE, Abdallah NM, Bashandy GMN, Kaddah TA. Ultrasound-guided serratus anterior plane block versus thoracic epidural analgesia for thoracotomy pain. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2017;31:152–158.
- 40- De Cassai A, Boscolo A, Zarantonello F, Piasentini E, Di Gregorio G, Munari M, Persona P, Zampirolo S, Zatta M, Navalesi P. Serratus anterior plane block for video-assisted thoracoscopic surgery: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Anaesthesiol.* 2021;38:106-114.
- 41- Debreceni G, Molnár Z, Szélig L, Molnár TF. Continuous epidural or intercostal analgesia following thoracotomy: a prospective randomized double-blind clinical trial. *Acta Anaesthesiol Scand.*;47:1091-5
- 42- Hong JM, Kim E, Jeon S, Lee D, Baik J, Cho AR, Cho JS, Ahn HY. A prospective double-blinded randomized control trial comparing erector spinae plane block to thoracic epidural analgesia for postoperative pain in video-assisted thoracic surgery. *Saudi Med J.* 2023;44:155-163.
- 43- Lusianawati, Suhardi CJ, Sumartono C, Wungu CDK. Efficacy and safety of the serratus anterior block compared to thoracic epidural analgesia in surgery: Systematic review and meta-analysis. *Tzu Chi Med J.* 2023;35:329-337.