

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI



TRANSFORAMİNAL LOMBER INTERBODY FÜZYON
AMELİYATINDA KAFES YÜKSEKLİĞİNİ BELİRLEMEDE
İNTRAOPERATİF NÖROFİZYOLOJİK
MONİTORİZASYON KULLANIMI ETKİNLİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

UZMANLIK TEZİ
DR. YASİN SAYAR

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. TURGUT AKGÜL
İSTANBUL-2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu çalışmayla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine eklediğimi, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışım olmadığını beyan ederim.

Dr. Yasin Sayar



TEŞEKKÜR

İhtisasım sürecinde mesleki bilgi ve becerimin gelişmesinde emeği olan hocalarıma, beni destekleyen, bir aile ortamında hissetmemi sağlayan asistan arkadaşlarıma, anabilim dalımızın tüm hemşire, sekreter ve personeline ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen anabilim dalı başkanımız saygıdeğer hocamız *Prof. Dr. Hayati Durmaz'a*,

Tez hazırlık süreci boyunca bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, arşivlerini kullanmama izin veren, tez dışında da her konuda bana yardımcı olan, meslek hayatımın ve akademik hayatımda örnek alacağım değerli tez hocam *Doç. Turgut Akgül'e*,

Asistanlık eğitimim süresince spor cerrahisi ve artroplasti konusunda çok şey öğrendiğim değerli hocam *Prof. Dr. Mehmet Aşık'a*, artroplasti konusunda deneyimlerini ve bilgi birikimini bize aktaran değerli hocam *Prof. Dr. İrfan Öztürk'e*, deformite cerrahisi, ilizarov ve artroplasti konularında eğitimimizde emeği olan değerli hocam *Prof. Dr. Cengiz Şen'e*, omurga cerrahisinde bilgilerini paylaşan değerli hocam *Prof. Dr. Cüneyt Şar'a*, ayak-ayak bileği cerrahisinin yanı sıra diğer ortopedik cerrahi alanlarda da eğitime katkısı olan ve bilimsel yaklaşım konusunda bilgilerini paylaşan değerli hocam *Prof. Dr. Önder Kılıçoğlu'na*,

Pediyatrik ortopedi konusunda eğitimimizde emeği geçen *Doç. Dr. Fuat Bilgili'ye*, deformite cerrahisi ve İlizarov konusunda bilgi ve tecrübe birikimini bizimle paylaşan *Doç. Dr. Halil İbrahim Balcı'ya*, kemik ve yumuşak doku tümörleri konusunda eğitimimize katkısı olan *Doç. Dr. Ahmet Saldız'a*, üst ekstremité konusunda bilgilerini aktaran *Doç. Dr. Ali Erşen'e*, spor cerrahisi konusunda bilgi ve becerilerini aktaran *Doç. Dr. Gökhan Polat'a*, travma ve diz cerrahisi konusunda *Op. Dr. Ömer Naci Ergin'e*,

Uzmanlık eğitimim süresince birlikte çalışma imkânı bulduğum, bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan emekli öğretim üyeleri sayın *Prof. Dr. Mehmet Çakmak*, *Prof. Dr. Önder Yazıcıoğlu*, *Prof. Dr. Yener Temelli*, *Prof. Dr. Levent Eralp* ve *Prof. Dr. Ata Can Atalar'a*,

Desteklerinden dolayı *Op. Dr. Yavuz Sağlam* ve *Op. Dr. Ömer Ayık'a*

Tez yazma sürecinde verdiği emek ve yardımlarından dolayı Burak Çopur'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her türlü konuda bana destek olan sevgili anneme ve babama, sevgili kardeşim *Dr. Mert Sayar'a*, tanıştığımız ilk günden itibaren hep yanımda olan desteğini esirgemeyen, sevgili eşim *Dr. Sıla Kılıç Sayar'a* sonsuz teşekkür ederim.

Dr. Yasin Sayar

İÇİNDEKİLER

BEYAN	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
KISALTMALAR	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
ÖZET	1
ABSTRACT.....	3
1. GİRİŞ	5
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. OMURGA ANATOMİSİ	7
2.1.1. Lomber Omurga Anatomisi.....	8
2.1.2. Omurganın Bağları.....	10
2.1.3. İntervertebral Foramen, Nöral Yapılar ve Komşulukları	11
2.1.4. İntervertebral Disk.....	12
2.1.5. Lomber Omurun Arteriyel Yapısı	13
2.1.6. Lomber Omurun Sinirsel İnervasyonu.....	14
2.2. BİYOMEKANİK	15
2.3. DEJENERATİF OMURGA HASTALIKLARI.....	18
2.3.1. Dejeneratif Disk Hastalığı (DDH)	19
2.3.2. Disk Herniasyonu	20
2.3.3. Dejeneratif Lomber Spinal Stenoz	23
2.3.4. Dejeneratif Spondilolistezis.....	25
2.3.5. Dejeneratif Skolyoz.....	26
2.4. LOMBER INTERBODY FÜZYON	28
2.4.1. Lomber Interbody Füzyonla İlgili Genel Bilgi.....	28
2.4.2. Tarihçe	29
2.4.3. Lomber İnterbody Füzyon Teknikleri	29
2.5. İNTRAOPERATİF ELEKTROFİZYOLOJİK MONİTÖRİZASYON (İONM)	38
2.5.1. Somatosensöriyel Uyarılmış Potansiyel (SSEP).....	39
2.5.2. Motor Uyarılmış Potansiyel (MEP)	41
2.5.3. Anestezik maddelerin İONM'ye olan etkisi.....	43

3.	HASTALAR VE YÖNTEM.....	45
3.1.	HASTA SEÇİMİ	45
3.2.	RADYOLOJİK DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİ.....	47
3.3.	İYONM HAZIRLIĞI	51
3.4.	CERRAHİ TEKNİK.....	52
3.5.	VERİLERİN TOPLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	53
3.6.	İSTATİKSEL İNCELEMELER	54
4.	BULGULAR.....	55
5.	HASTA ÖRNEKLERİ.....	68
5.1.	OLGU 1.....	68
5.2.	OLGU 2	70
5.3.	OLGU 3.....	72
5.4.	OLGU 4.....	74
6.	TARTIŞMA	76
7.	KISITLILIKLAR.....	84
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
9.	KAYNAKLAR	86
10.	ÖZGEÇMİŞ.....	95
11.	ETİK KURUL	97

KISILTMALAR

ALIF (Anterior lomber interbody füzyon)
ALL (Anterior longitudinal ligaman)
BT (Bilgisayarlı tomografi)
DDH (Dejeneratif disk hastalığı)
EMG (Elektromiyografi)
GAP (Global Aligment and Proportion)
GLMM (Generalized linear mixed model)
HIZ (High intensity zone)
IONM (İntraoperatif nörofizyolojik monitörizasyon)
LDI (Lordoz dağılım indeksi)
LLA (Lomber lordoz açısı)
LLIF (Lateral lomber interbody füzyon)
MEP (Motor uyarılmış potansiyel)
MIS-TLIF (Minimal invazif transforaminal lomber interbody füzyon)
MR (Manyetik rezonans)
PEEK (polieter eter keton)
PI (Pelvik insidans)
PLIF (Posterior lomber interbody füzyon)
PLL (Posterior longitudinal ligaman)
RLL (Relatif lomber lordoz)
PT (Pelvik tilt)
RPV (Relatif pelvik versiyon)
RSA (Relatif spinopelvik dizilim)
SDA (Segmental disk açısı)
SLA (Segmental lordoz açısı)
SS (Sakral slope)
SSEP (Somatosensöriyel uyarılmış potansiyel)
TLIF (Transforaminal lomber interbody füzyon)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Omurganın önden, arkadan ve lateralden görünümü	7
Şekil 2. Lomber omur anatomisi	9
Şekil 3a. Kauda ekinadan çıkan sinir köklerinin seyrinin şematik gösterimi b. İntervertebral foramen ve sinir kökü komşuluklarının şematik gösterimi	11
Şekil 4. İntervertebral disk anatomisi.....	13
Şekil 5. Omurun arteriyel dolaşımı	14
Şekil 6. Omurun sinirsel inervasyonu... ..	15
Şekil 7. Omurganın normal kifoz ve lordoz açıları	16
Şekil 8. Spinal fonksiyonel ünite.....	16
Şekil 9. Normal ve dejeneratif diskte aksiyel yüklerin dağılımı	18
Şekil 10. MR T2 sekansında high intensity zone (HIZ) ve karanlık disk (dark disk) bulgusu	19
Şekil 11. Disk hernisi tiplerinin anatomik sınıflandırılması.....	20
Şekil 12. Disk hernisi tiplerinin lokasyona göre sınıflandırılması	21
Şekil 13a-b. MR sagittal kesitlerde ekstrude disk görünümü c-d. MR aksiyel kesitlerde ekstrude disk görünümü	22
Şekil 14a. Lomber spinal stenozu olan hastanın lomber ön-arka grafisi b. Lomber yan grafisi c. MR sagittal kesitleri d-e. MR aksiyel eşitleri	24
Şekil 15a-b. BT miyelogramda gösterilen spinal stenoz.....	25
Şekil 16a. Dejeneratif spondilolistezis tanılı hastanın yan grafisi b-c. Sagittal MR kesitleri...26	
Şekil 17a. Dejeneratif skolyozlu lomber ön-arka grafisi b. MR sagittal görüntüsü c. MR koronal görüntüsü d. MR aksiyel görüntüsü	27
Şekil 18. Lomber interbody füzyon tekniklerinde yaklaşım yönleri	30
Şekil 19. Kemik rezeksiyonu ve intervertebral disk aralığına ulaşımın PLIF ve TLIF tekniklerinde şematik gösterimi	32
Şekil 20. Kafes yerleştirme açılarının PLIF ve TLIF tekniklerinde şematik gösterimi.....	32
Şekil 21. Polieter eter keton (PEEK) kafes	34
Şekil 22. Petit aralığının gösterilmesi.....	36
Şekil 23. a. Hasta hazırlığı b. İONM kullanımı c. İnsizyon sahasının belirlenmesi d. Tübüler retraktör e. Cerrahi çalışma sahası f. Yerleştirilen kafesin skopi görüntüsü g. Minimal invazif cerrahi ile pedikül vidalarının yerleştirilmesi h. Postoperatif skopi görüntüsü.....	37
Şekil 24. İONM amplitüd ve latans grafiği	39
Şekil 25. SSEP yolağının şematik gösterimi	40
Şekil 26. MEP yolağının şematik gösterimi	42

Şekil 27. BT üzerinde ön (mavi), orta (sarı) ve arka (kırmızı) disk yüksekliklerinin gösterilmesi	47
Şekil 28. BT üzerinde foraminal yükseklik (sarı renk) ve foraminal alanın (kırmızı renk) gösterilmesi	48
Şekil 29. Tüm omurgayı içeren yan grafide LLA (sarı), SLA (mavi), SDA'nın (kırmızı) gösterilmesi	49
Şekil 30a. SS, PT ve PI açılarının tüm omurgayı içeren yan grafi üzerinde gösterilmesi b. Şematik gösterilmesi	50
Şekil 31a. L4/S1 lordozun şematik gösterimi b. Global tiltin şematik gösterimi.....	51
Şekil 32a. Kafa elektrotlarının yerleştirilmesi b. Alt ekstremité elektrotlarının yerleştirilmesi.....	52
Şekil 33. Cinsiyetlerin dağılımı.....	55
Şekil 34. Orta disk yükseliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri.....	59
Şekil 35. Dekompresyon yapılan tarafın preoperatif ve postoperatif foraminal alan ölçümleri.....	63
Şekil 36. Foraminal alan değişimi ile MEP değişiminin ilişkisi	64
Şekil 37. Dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının preoperatif ve postoperatif foraminal alan ölçümleri.....	65
Şekil 38a. Olgu 1'in tüm omurgayı içeren preoperatif ön-arka grafisi b. Preoperatif yan grafisi c. Postoperatif yan grafisi d. Postoperatif ön-arka grafisi	68
Şekil 39. Olgu 1'in sırasıyla insizyon öncesi, pedikül vidaları konduktan sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlerinin izlenmesi.....	69
Şekil 40a. Olgu 2'nin tüm omurgayı içeren preoperatif ön-arka grafisi b. Preoperatif yan grafisi c. Postoperatif yan grafisi d. Postoperatif ön-arka grafisi	70
Şekil 41. Olgu 2'nin sırasıyla insizyon öncesi, pedikül vidaları konduktan sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlerinin izlenmesi.....	71
Şekil 42a-b. Olgu 3'ün sagittal ve aksiyel MR kesitleri c-d. Preoperatif-postoperatif foraminal alanı gösteren sagittal BT kesitleri	72
Şekil 43. Olgu 3'ün sırasıyla insizyon öncesi, pedikül vidaları konduktan sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlerinin izlenmesi.....	73
Şekil 44a-b. Olgu 4'ün sagittal ve aksiyel MR kesitleri c-d. Preoperatif-postoperatif foraminal alanı gösteren sagittal BT kesitleri	74
Şekil 45. Olgu 4'ün sırasıyla insizyon öncesi, pedikül vidaları konduktan sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlerinin izlenmesi.....	75

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Lomber omur aralıklarının ortalama hareket açıklıkları	17
Tablo 2. Lomber interbody füzyon ameliyatı endikasyonları ve kontraendikasyonları.....	28
Tablo 3. Lomber interbody füzyon tekniklerinin girişim yönüne göre incelenmesi	30
Tablo 4. Anatomik seviyelere göre uygun lomber füzyon teknikleri.....	31
Tablo 5. Çalışma akış şeması	46
Tablo 6. Hastaların genel demografik ve operatif özellikleri.....	55
Tablo 7. Hasta sayılarının TLIF yapılan seviyelere göre dağılımı	56
Tablo 8. Kafes yükseliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM sonuçları.....	57
Tablo 9. Ön disk yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları... ..	57
Tablo 10. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında ön disk yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi	57
Tablo 11. Orta disk yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları... ..	58
Tablo 12. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında orta disk yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi.....	58
Tablo 13. Arka disk yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları	59
Tablo 14. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında arka disk yüksekliği ile MEP değerlerindeki değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi sonuçları	60
Tablo 15. Dekompresyon yapılan tarafın foraminal yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları	60
Tablo 16. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında dekompresyon yapılan tarafın foraminal yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM sonuçları.	61
Tablo 17. Dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümlerinin dağılımları	61
Tablo 18. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi sonuçları	62
Tablo 19. Dekompresyon yapılan tarafın foraminal alan ölçümlerinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları	62
Tablo 20. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında dekompresyon yapılan tarafın foraminal alanı ile MEP değerlerindeki değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi sonuçları.....	63

Tablo 21. Dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal alan ölçümlerinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları.....	64
Tablo 22. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal alanı ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi sonuçları	65
Tablo 23. Ön-orta-arka disk yükseklikleri, foraminal alan ve yüksekliklerin preoperatif-postoperatif ölçümleri ve restorasyon miktar ve oranları.....	66
Tablo 24. Spinopelvik parametrelerin preoperatif ve postoperatif değerlendirilmesi.....	67
Tablo 25. Olgu 1'in radyomorfolojik ölçümleri.....	68
Tablo 25. Olgu 2'nin radyomorfolojik ölçümleri.....	70
Tablo 25. Olgu 3'ün radyomorfolojik ölçümleri.....	72
Tablo 25. Olgu 4'ün radyomorfolojik ölçümleri.....	74

ÖZET

Transforaminal Lomber Interbody Füzyon Ameliyatında Kafes Yüksekliğini Belirlemede İntraoperatif Nörofizyolojik Monitorizasyon Kullanımı Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Giriş ve amaç: Transforaminal lomber interbody füzyon (TLIF) yaklaşım yönüyle nöral yapıların daha az traksiyona maruz kalması, iyi klinik sonuç ve düşük komplikasyon oranlarıyla günümüzde dejeneratif omurga hastalıklarının tedavisinde sık kullanılan bir füzyon tekniğidir. İntraoperatif nörofizyolojik monitörizasyon (İONM) modalitelerinden motor uyarılmış potansiyeller (MEP), kortikospinal yolda meydana gelen değişikliklerle ilgili anlık bilgi vermektedir ve omurga cerrahisinde uzun süredir kullanılmaktadır. TLIF’de kullanılan kafes yüksekliği, disk yüksekliğinin belirlenmesinde anahtar bir rol oynamakta olsa da kafes yüksekliğini belirlemede objektif kriterler belirlenmemiştir. Disk yüksekliğini belirlemek ya da istenilen disk yüksekliğine ulaşmak her zaman mümkün olamamaktadır. İdeal disk yüksekliğine ulaşılması, TLIF’in esas hedeflerinden olan lomber lordozun ve foraminal alanın genişliğinin sağlanması açısından önemlidir. Ameliyat esnasında MEP değerlerindeki değişimlerin foraminal alan genişliğinin yeterliliğini belirlemede kullanılabileceğini düşünmekteyiz. Amacımız İONM eşliğinde uygulanan TLIF ameliyatları sonrasında radyomorfolojik ölçümlerdeki değişimleri saptamak ve MEP amplitüdlerindeki değişim ile foraminal alan, yükseklik ve kafes yüksekliği gibi parameterlerin ilişkisini araştırmaktır.

Hastalar ve yöntem: 2017 ile 2019 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji bölümünde TLIF operasyonu olan 111 hasta tespit edildi. Bu hastalardan İONM uygulanan 65’inin arasından bir ya da en fazla iki seviyeden TLIF uygulanan, İONM kayıtları, preoperatif ve postoperatif tüm omurgayı içeren ön-arka ve yan grafileri, lumbosakral bilgisayarlı tomografi (BT) / manyetik rezonans (MR) görüntülemeleri olan 22 hasta çalışmaya dahil edildi. Hastaların yaşları, cinsiyetleri, tanıları, TLIF uygulanan seviyeleri, ameliyat başlangıcında insizyondan önceki, ameliyat sırasında pedikül vidaları yerleştirildikten sonra ve TLIF uygulanıp kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdüleri kaydedildi ve yaş, cinsiyet, kilo ve anestezi süresi gibi düzeltme faktörleri kullanılarak değişimleri hesaplandı. Preoperatif ve postoperatif ön-orta-arka disk yükseklikleri, dekompresyon yapılan tarafın ve karşı tarafının foraminal alan ve yükseklikleri ve lomber lordoz, segmental lordoz, segmental disk, sakral slope, pelvik insidans, pelvik tilt açıları ve GAP skorları hesaplandı. Uygun istatistiksel yöntemlerle radyomorfolojik parametrelerin TLIF sonrası değişimi, kafes yüksekliklerinin ve radyomorfolojik parametrelerdeki değişimlerin MEP amplitüdlerinin değişimiyle ilişkisi analiz edildi.

Bulgular: Çalışmamıza %13,6'sı (n=3) erkek, %86,3'ü (n=19) kadın olmak üzere toplam 22 hasta dahil edildi. Hastaların yaş ortalamaları $61,90 \pm 8,89$ (37-78) yıl olarak hesaplandı. En çok L4-L5'den olmak üzere (n=19) 10 hastaya tek seviyeden ve 12 hastaya 2 seviyeden TLIF uygulanmıştı. Kullanılan 34 adet kafesin ortalama yükseklikleri $10,26 \pm 1,37$ (8-14) mm olarak hesaplandı. MEP değerlerindeki değişimin (pedikül vidaları yerleştirildikten sonra - kafes yerleştirildikten sonra yapılan ölçümler arası) $\%27,27 \pm 11,09$ (%15-%50) olarak artış yönünde olduğu görüldü. TLIF ile ön-orta ve arka disk yüksekliklerinde sırasıyla $2,02 \pm 1,55$ mm, $2,73 \pm 1,68$ mm ve $1,67 \pm 1,25$ mm yükselme olduğu saptandı. Orta disk yüksekliğinde artışın istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek olduğu ($p < 0,05$) ve arka disk yüksekliğinin görece daha az arttığı belirlendi. Dekompresyon uygulanan taraf ve karşı tarafın her ikisinde de foraminal alan ve yüksekliklerde artış saptandı. Kafes yükseklikleri ve disk yükseklikleri MEP değişimi arasında ilişki saptanmazken, dekompresyon yapılan tarafın foraminal alan değişimiyle MEP değişimi arasında pozitif korelasyon saptandı ($r=0,501$; $p:0,007$; $p < 0,01$). Hesaplanan GAP skorlarına (ortalama $3,36 \pm 3,39$) göre 13 hastanın spinopelvik durumu orantılı, 4 hastanın orta derecede orantısız ve 5 hastanın ağır derecede orantısız olarak değerlendirildi. GAP skoruna göre hastalarda hedeflenen LLA ortalaması $63,96^\circ \pm 7,51^\circ$ olarak hesaplanmış iken çalışmamızda postoperatif ölçülen LLA ortalaması $55,22^\circ \pm 9,63^\circ$ olarak bulunmuştur.

Sonuç ve tartışma: Hastalarımızın yaş, cinsiyet, TLIF uygulanma sebebi ve seviyeleri gibi genel özellikleri literatürle uyumludur. TLIF'in ana hedefleri; foraminal alan genişliğini, disk yüksekliğini, komşu omurlar arasında füzyonu sağlamak, lomber ve segmental lordozun sağlanmasına katkı sağlamak ve posteriordaki implantlara gelen yükü azaltmaktır. Disk yüksekliklerinin sağlanması lomber lordozun düzeltilmesine doğrudan katkı sağlar. Tüm hastalarımızda ön-orta ve arka disk yükseklikleri artmış olup, arka disk yüksekliğinin görece daha az artmasının lomber lordoza katkısı olmuştur. Kafes ve disk yükseklikleriyle MEP değişimi arasında korelasyon bulunmamıştır, bununla birlikte postoperatif foraminal alan genişliği ile MEP değişimi arasında pozitif korelasyon saptanmıştır. MEP değerleri, operasyon sırasında foraminal alanın genişliğinin yeterliliği hakkında bilgi verebilir. TLIF'de preoperatif spinopelvik parametrelerin (PI, SS, PT) hesaplanması, operasyon sırasında istenilen LLA'ya ulaşmak açısından önemlidir. Hedef LLA ile PI arasında denge ($\pm 10^\circ$) kurmaktır. Çalışmamızda literatürle uyumlu olarak LLA, SLA, SDA ve SS artarken, PT azalmıştır. PI'de ihmal edilebilir bir değişiklik olmuş, teknik hatalara bağlanmıştır. PI ile LLA arasında denge genel olarak sağlanmakla birlikte, GAP skorlarına göre hesaplanan ideal LLA'ya göre fark bulunmaktadır.

SUMMARY

Evaluation of the Efficacy of Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Determining Cage Height in Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Surgery

Background and aim: Transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) is a commonly used fusion technique in the treatment of degenerative spine diseases with less traction of neural structures, good clinical outcome and low complication rates. Motor-evoked potentials (MEPs) from intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) modalities provide instant information on changes in the corticospinal pathway and have been used for a long time in spine surgery. Although cage height used in TLIF plays a key role in determining disc height, objective criteria for determining cage height have not been determined. It is not always possible to determine the disc height or to reach the desired disc height. Achieving the ideal disc height is important for ensuring the width of the lumbar lordosis and foraminal area which are the main targets of TLIF. We think that changes in MEP values during surgery can be used to determine the adequacy of the width of the foraminal area. Our aim is to determine the changes in radiomorphological measurements after IONM-guided TLIF operations and to investigate the relationship between changes in MEP amplitudes and foraminal area, height and cage height.

Patients and methods: Between 2017 and 2019, 111 patients who underwent TLIF operation in the Orthopedics and Traumatology Department of Istanbul University Faculty of Medicine were identified. Among the 65 patients who were applied IONM, 22 patients with IONM recordings, preoperative and postoperative radiographs including lumbosacral computed tomography (CT) / magnetic resonance imaging (MRI) including IONM recordings, preoperatively and postoperatively were included in the study. The age, sex, diagnosis, TLIF applied levels, MEP amplitudes before the incision at the beginning of the operation, after insertion of pedicle screws during operation, and after the placement of the cage with TLIF were recorded and changes were calculated using correction factors such as age, sex, weight and duration of anesthesia. Preoperative and postoperative anterior-middle-posterior disc heights, foraminal area and heights of the decompressed side and opposite sides, and lumbar lordosis, segmental lordosis, segmental disc, sacral slope, pelvic incidence, pelvic tilt angles, and GAP scores were calculated. The changes in radiomorphological parameters after TLIF, the relationship between the cage heights and the changes in radiomorphological parameters with the changes in MEP amplitudes were analyzed with appropriate statistical methods.

Results: A total of 22 patients, 13.6% (n=3) male and 86.3% (n=19) female, were included in the study. The mean age of the patients was 61.9 ± 8.89 (37-78) years. TLIF was performed from one level in 10 patients and from 2 levels in 12 patients, most of them from L4-L5 (n=19). The mean heights of the 34 cages were 10.26 ± 1.37 (8-14) mm. The change in MEP values (between measurements after the pedicle screws were placed and after the cage was placed) was $27.27 \pm 11.09\%$ (15%-50%). TLIF increased anterior-middle and posterior disc heights of 2.02 ± 1.55 mm, 2.73 ± 1.68 mm and 1.67 ± 1.25 mm, respectively. The increase in the middle disc height was found to be significantly higher ($p < 0.05$) and the posterior disc height increased relatively less. Foraminal areas and heights were increased in both sides of the decompression and opposite sides. There was no correlation between cage heights or disc heights and MEP, but there was a positive correlation between MEP change and foraminal area change of decompressed side ($r = 0.501$; $p: 0.007$; $p < 0.01$). According to the calculated GAP scores (mean 3.36 ± 3.39), the spinopelvic status of 13 patients was evaluated as proportional, 4 patients as moderately disproportionate and 5 patients as severely disproportionate. According to the GAP score, the targeted LLA mean of the patients was calculated as $63.96^\circ \pm 7.51^\circ$, whereas the mean LLA measured postoperatively was $55.22^\circ \pm 9.63^\circ$.

Conclusion and Discussion: General characteristics of our patients such as age, gender, reason and levels of TLIF application are consistent with the literature. The main objectives of TLIF are; foraminal area width, disc height, fusion between adjacent vertebrae, contributing to the provision of lumbar and segmental lordosis, and reducing the loading on posterior implants. Ensuring disc heights directly contributes to the correction of lumbar lordosis. In all our patients, anterior-middle and posterior disc heights were increased, and the relatively less increase in posterior disc height contributed to lumbar lordosis. There was no correlation between cage and disc heights and MEP change, however there was a positive correlation between postoperative foraminal area width and MEP change. MEP values can provide information about the adequacy of the width of the foraminal area during the operation. Calculation of preoperative spinopelvic parameters (PI, SS, PT) in TLIF is important to reach the desired LLA during the operation. The goal is to establish a balance ($\pm 10^\circ$) between LLA and PI. In our study, LLA, SLA, SDA and SS increased and PT decreased. There was a negligible change in PI, and technical errors were attributed. Although the balance between PI and LLA is generally achieved, there is a difference from the ideal LLA calculated according to GAP scores.

I. GİRİŞ

İki omur gövdesi arasındaki intervertebral disk aralığında füzyon sağlamak amacıyla yapılan cerrahi işleme interbody füzyon denir (1-3). Lomber interbody füzyon teknikleri, spinal stenoz, spondilolistezis ve DDH gibi dejeneratif omurga hastalıklarının tedavisinde yaklaşık 70 yıldan beri kullanılmaktadır (2,4). Dejeneratif seviyelerin füzyonu, ağırlı hareket segmentini stabilize etmek için etkili bir tedavi seçeneğidir (1-3).

Günümüze kadar çok çeşitli lomber interbody füzyon teknikleri geliştirilmiştir. TLIF, PLIF'in modifikasyonu olarak 1980'lerin başında tanımlanmış olsa da (5), transforaminal girişim ile PLIF'e kıyasla daha az nöral retraksiyona neden olması, yüksek füzyon oranı, iyi klinik sonuçları ve düşük komplikasyon oranları ile gittikçe daha çok tercih edilen bir interbody füzyon tekniği haline gelmiştir (4).

En deneyimli ellerde bile omurga cerrahisinin riskleri bulunmaktadır ve uzun yıllardır İONM iyatrojenik nörolojik komplikasyonları önlemek için kullanılmaktadır (6). Omurga cerrahisinde İONM'nin başlıca kullandığı yöntemler somatosensöriyel uyarılmış potansiyel (SSEP), motor uyarılmış potansiyel (MEP) ve elektromiyografi (EMG)'dir (6,7). Uzun yıllar SSEP bu amaçla en çok kullanılan yöntem olmakla birlikte son çalışmalarda MEP'in motor fonksiyonu ölçmede ve erken iyatrojenik hasarı belirlemedeki duyarlılığının daha fazla olduğu bildirilmiştir. SSEP kullanımını sınırlayan önemli faktörlerden birisi akut nörolojik hasarı geç yansıtabilmesidir (8). MEP ve SSEP tekniklerini karşılaştıran bir çalışmada SSEP'nin oluşan nörolojik hasarı MEP'e göre 16 dakikaya kadar daha geç yansıtabildiği görülmüştür.

Spinal cerrahide İONM kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma olup, bu çalışmalar genel olarak nörolojik hasar açısından MEP ve SSEP amplitüdlerindeki düşme ve latanslarındaki uzama için eşik değer belirlemeye yöneliktir (6-9). Oysaki klinik pratiğimizde TLIF uygulanan seviyedeki sinir kökünden ve basıya maruz kalan komşu köklerden çıkan sinirlerin MEP amplitüdlerinin operasyon başlangıcında düşük olarak tespit edilmesi, cerrahi işlem sonrasında artış görülmesi, hasarlı olmayan karşı tarafta ise belirgin değişim görülmemesi gibi durumlar bize, MEP amplitüdlerindeki artışların spinal köklerin dekompresyonunda değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

TLIF'in ana hedefleri; foraminal alan genişliğini, disk yüksekliğini, komşu 2 omur arasında füzyonu sağlamak, lomber ve segmental lordozun sağlanmasına katkı sağlamak ve posteriordaki implantlara gelen yükü azaltmaktır (10-12). Lomber lordozun sağlanması ile disk yüksekliğinin sağlanması arasında doğrudan ilişki vardır (13). TLIF ile sağlanan lomber lordoz

spinal balansın diğ er göstergeleri olan spinopelvik parametreleri olumlu yönde etkiler. Lomber lordoz açısı (LLA) ile pelvik insidans (PI) arasında uyum bozulmu sa sagittal dengesizlik oluşur, TLIF’de diğ er erişkin omurga cerrahilerinde olduğu gibi bu fark giderilmeye çalışılır (10, 13).

Kafes yüksekliğinin belirlenmesi TLIF ameliyatlarında anahtar bir rol oynamakta olup, intervertebral alanda oluşturulan distraksiyon miktarını belirler (14). İdeal kafes yüksekliğinin belirlenmesi konusunda çalışmalar olmakla birlikte objektif kriterler henüz belirlenmemiştir (14-17).

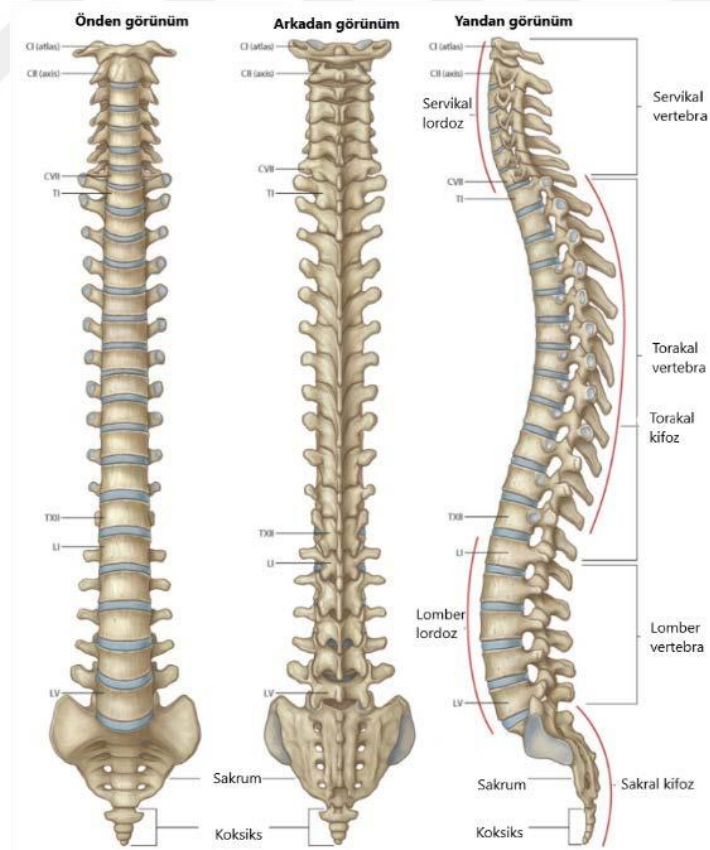
Çalışmamızda İONM eşliğinde TLIF yapılan hastaların preoperatif ve postoperatif disk yükseklikleri, foraminal alan ve yükseklikleri, LLA, segmental lordoz açısı (SLA), segmental disk açısı (SDA), sakral slope (SS), pelvik tilt (PT) ve PI gibi radyomorfolojik parametrelerindeki restorasyonun değerlendirilmesi ve MEP amplitüdlerindeki yükselmenin kafes yükseklikleri, disk yükseklikleri ve foraminal alan ve yükseklik     mleriyle olan ilişkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

II. GENEL BİLGİLER

2.1. Omurga Anatomisi

Tipik olarak 33 omurdan oluşan omurganın hareketli kısmı 7 servikal, 12 torasik ve 5 lomber omurdan ve hareketsiz kısmı 5 omurun kaynaşması ile, pelvik kemiklere nispeten sert bir bağlantı sunan esnek olmayan sakrumdan oluşur. Sakrumun altında ise dört ya da beş düzensiz kemikten oluşan koksiks bulunur (18, 19). Omurganın temel görevi baş, göğüs ve karın bölgelerinde yer alan oluşumların ağırlığını taşımak ve bu ağırlığı pelvis aracılığı ile alt ekstremitelere iletmek, nöral yapıları korumak, baş ve gövdeye hareket kabiliyeti sağlamaktır (18-20).

Omurga önden arkaya doğru bakıldığında, genellikle düz bir sütun şeklindedir. Yandan bakıldığında ise fizyolojik olarak tanımlanan servikal ve lomber bölgede konveksliği öne bakan (lordoz), torakal ve sakral bölgelerde ise konveksliği arkaya bakan (kifoz) eğrilikler oluşturduğu görülür (Şekil 1) (19-20).



Şekil 1. Omurganın önden, arkadan ve lateralden görünümü (18)

Omurlar arasında şekil ve büyüklük bakımından bazı farklılıklar olmasına rağmen genel olarak ortak özelliklere sahiptirler. Gelişme sırasında artan ağırlık, hareket, omurlara yapışan kasların etkileri sonucu omur şekilleri arasında farklılıklar görülür. Birinci servikal omur dışında bir önde gövde ve arkada bir arkustan oluşur (18-19).

Omur gövdesi çoğunlukla trabekülerize süngerimsi kemikten oluşan kısa silindirik şeklindedir. Alt ve üst yüzeylerinin 2-3 mm kalınlığında substantia compacta ile örtülüdür. İki gövde arasında intervertebral disk bulunur (19). Omur gövdelerinin büyüklüğü üzerlerine binen yük ile orantılı olarak aşağı inildikçe artar. Arkus, omur gövdesinin dorsolateral yönlerine pedikül adı verilen iki sağlam sütunla tutturulur. Pediküller arkaya doğru kavışarak transvers çıkıntı ile birleşir. Pedikül ve spinöz çıkıntı arasında kalan kısma lamina denir. Gövde ile arkus tarafından çevrelenen deliğe vertebral foramen denir. Omurlar üst üste sıralandıklarında bu delikler de üst üste gelerek vertebral kanalı oluştururlar. Bu kanalın içinde medulla spinalis seyrederek (19). Yandan bakıldığında, omur gövdesi ve pedikülün processus articularis superior ile oluşturduğu çentiğe insura superior, processus articularis inferior ile oluşturduğu çentiğe ise insura inferior denilmektedir. Bu iki çentik arasından spinal sinir ve damarlar çıkar, bu boşluğa intervertebral foramen denir (18, 19).

Arkus vertebra üzerinde 3 çıkıntı bulunur.

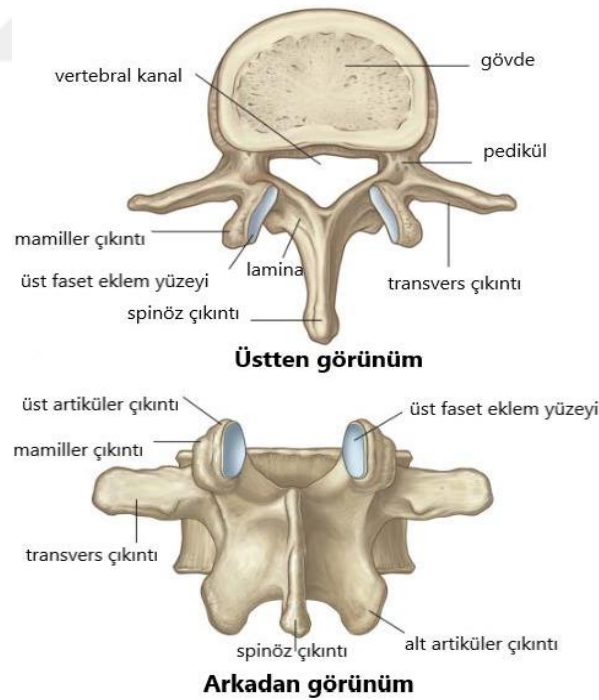
- Spinöz çıkıntı: Arkus vertebranın arka ortasından başlayıp arkaya ve genelde aşağıya uzanır.
- Transvers çıkıntı: Pediküllerden başlayıp yanlara doğru uzanır.
- Artikuler çıkıntı: Superior ve inferior insuraların arkalarında yukarı ve aşağı doğru uzanan bir çift çıkıntıdır. Bir omurun processus articularis superioru üstteki omurun processus articularis inferioru ile birleşerek sinoviyal bir eklem olan faset eklemi oluşturur.

2.1.1. Lomber Omurga Anatomisi

Büyüklüklerinin yanı sıra, transvers foramen veya kosta eklem fasetinin bulunmaması sayesinde diğer omurlardan kolayca ayırt edilirler. Gövde geniştir, lateral çap anteroposterior çapından daha geniştir ve anterioru posteriordan biraz daha kalındır. Kalın pediküller, vücudun dorsolaterosuperior yönlerine geniş bir şekilde seyrederek ve laminaları ile üçgen şeklinde vertebral foramenleri oluşturur. Inferior vertebral çentik, üstlerinden daha derin olmasına

rağmen her ikisi de intervertebral foramenlere önemli katkılarda bulunur. Spinöz çıkıntıları dörtgen şeklinde olup hemen hemen horizontal düzleme paralel olarak uzanır (Şekil 2) (20-21).

Önde intervertebral disk ve her 2 posterolateralde faset eklemlerin oluşturduğu yapıya eklem üçgeni (artiküler triad) denir. İntervertebral disk simfizis eklem tipindedir. İntervertebral disk başlıca kompresif yük aktarımından sorumludur. Üst faset pediküllerin ve laminaların birleşiminden çıkar. Eklem yüzeyleri içbükey ve dorsomedial olarak yönelir, böylece eklem yüzleri birbirlerine bakar. Alt faset laminanın uzantısı olup, eklem yüzeyleri dışbükey ve ventrolateral olarak yönlendiren ve bir sonraki alt omurun üst yüzeyleri arasında faset eklemleri oluşturur. Faset eklemler kartilaj eklem yüzeylerinin kıkırdakla kaplı olduğu ve kapsül tarafından çevrelenen diartroz eklem tipindedir. Faset eklemler hareketli segmentin stabilizasyonundan sorumludur. Lomber omurlarda faset eklem vertikal doğrultudadır. Bu düzenleme lomber bölgede fleksiyon, ekstansiyon ve lateral bükülmeye izin verirken, rotasyonu kısıtlar. Lomber vertebralara özgü olarak, superior artiküler çıkıntıların arka dış tarafında mamiller çıkıntılar bulunur (Şekil 2). Derin parasipinal kaslar bu çıkıntılara yapışır (19).



Şekil 2. Lomber omur anatomisi (18)

2.1.2. Omurganın Bağları

Vertebral kolon bağları omurganın aşırı hareketini engelleyerek olası yaralanmaları engelleyen anatomik çeşitli yapılardır (18-20).

- **Anterior longitudinal ligaman (ALL):** Omur gövdelerinin ön yüzeyleri boyunca uzanan güçlü bir banttır. Kaudal olarak daha geniştir ve torasik bölgede servikal ve lomber bölgelere göre daha dar ve kalındır. Oksipital kemiğin baziler kısmından C1'in ön tüberkülüne ve C2'nin gövdesinin önüne kadar uzanır ve daha sonra kaudal olarak sakrumun üst önüne kadar devam eder. Omur gövdelerine daha kuvvetli tutunur.
- **Posterior longitudinal ligaman (PLL):** Omur gövdelerinin arka yüzünde ve vertebral kanalın içerisinde yer alır. Üstte axis'in gövdesine yapışır ve aşağı doğru omur gövdelerinin arka yüzlerine ve intervertebral disklere sıkıca tutunarak devam eder ve sakruma yapışarak sonlanır. Disklere daha kuvvetli tutunur.
- **Ligamentum flavum:** Vertebral kanal iç kısmında daha iyi görülen elastik yapıda bağlardır. Komşu laminaları birbirine bağlar. Servikal bölgede ince, geniş ve uzun, torasik kalın ve lomber düzeyde en kalındır. Aşırı fleksiyonu kısıtlar, fleksiyondan erekte postüre dönüşü yardımcı olur.
- **Supraspinöz ligaman:** Servikal omurdan sakruma uzanan ve spinöz çıkıntıların uçlarının birbirine bağlayan ligamandır.
- **İnterspinöz ligaman:** Komşu spinöz çıkıntılar arasında bulunur.
- **İntertransvers ligaman:** Komşu transvers çıkıntılar arasında bulunur.

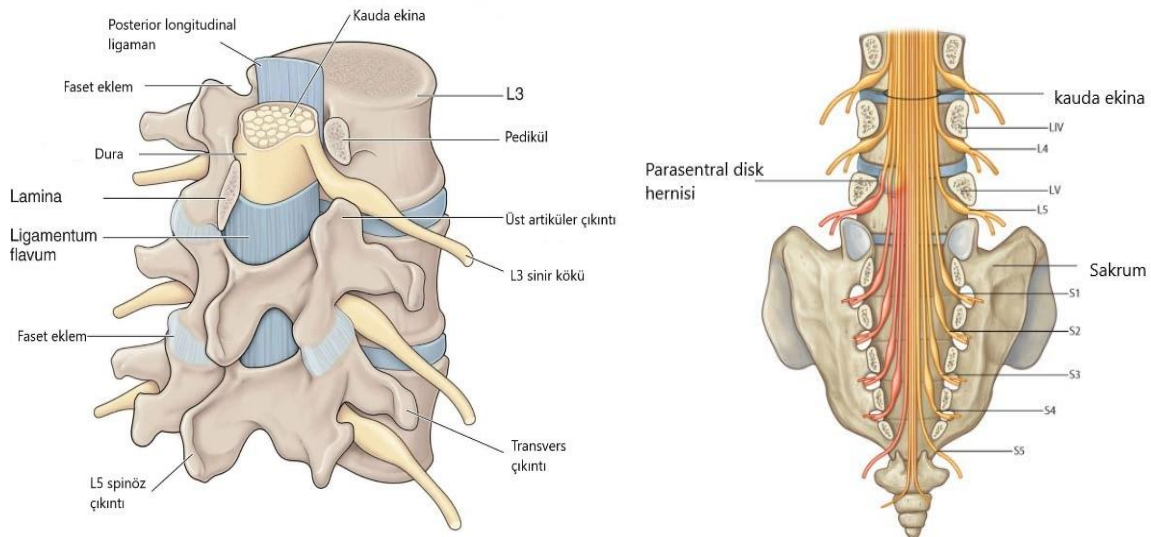
2.1.3. İntervertebral Foramen, Nöral Yapılar ve Komşulukları:

Dorsal ve ventral sinir kökleri subaraknoid boşluktan geçerek spinal siniri oluşturmak için intervertebral foramen seviyelerinde birleşir. Servikal bölgede, spinal sinir, omurilikten ayrıldığı seviyedeki omurilik kanalından çıkar. Bel bölgesinde, farklı bir durum mevcuttur. Kauda ekinadan ayrılan sinir kökleri omurga kanalında intervertebral diskin arkasında dikey bir seyir izler (Şekil 3a). Lomber bölgede dorsal veya dorsolateral (yani parasentral) disk hernileri, bir alt seviyedeki spinal siniri etkiler.

İntervertebral foramen, segmental spinal sinirlere çıkış, damarlar ve sinir dallarına giriş sağlayan açıklıktır. Bu alan altta ve üstte komşu pediküllerle, ön tarafta intervertebral disk ve PLL, arka tarafta faset eklem ve ligamentum flavumla komşudur (Şekil 3b). Kanalın lateral sınırını iliopsoas kası ve fasyası, medial sınırını dura mater oluşturur. (22). Yapılan kadavra çalışmalarında lomber foraminal alan genişliği 7 mm ve yüksekliği 12-19 mm arasında olduğu görülmüştür (23, 24)

Sinir kökünün pediküllerle yakın komşuluğu vardır. Ebraheim ve ark. lomber omurgada pedikülden inferior sinir köküne ortalama 1,5 mm, pedikülden üst sinir köküne 5,3 mm ve medial pedikül duvarından dura'ya 1,5 mm'lik bir mesafe olduğunu bulmuşlar (25).

Foramenlerin yüksekliği, karşılık gelen intervertebral diskin yüksekliğine bağlıdır. Yaşlanma ile disk dejenerasyonu ve disk yüksekliğinde azalma görülür. Disk yüksekliğindeki bu azalma, nörovasküler yapıların geçtiği foraminal alanı doğrudan azaltır.



Şekil 3a. Kauda ekinadan çıkan sinir köklerinin seyrinin şematik gösterimi (18) b.

İntervertebral foramen ve sinir kökü komşuluklarının şematik gösterimi (18)

2.1.4. İntervertebral Disk

C2'den sakruma uzanan komşu omur gövdeleri arasındaki asıl bağlantıdır. Omurga yüksekliğinin %20'sini oluşturmaktadır (18-20). Her disk dış lamelli anulus fibrozus ve bir iç nucleus pulposus'dan oluşur (Şekil 4). Üst ve alt omur yüzeylerinde, omur uç plaklarında ince kıkırdak tabakalarına yapışırlar. Diskler üst torasik bölgede en ince ve bel bölgesinde en kalındır. Servikal ve lomber bölgelerde diskler anteriorda daha kalındır ve omurganın anterior konveksitesine katkıda bulunur. Diskler avaskülerdir ve beslenmeleri bitişik uç plakların altındaki vertebral kemikten ve periferik anulustan difüzyona bağımlıdır (19).

a. Anulus fibrosus

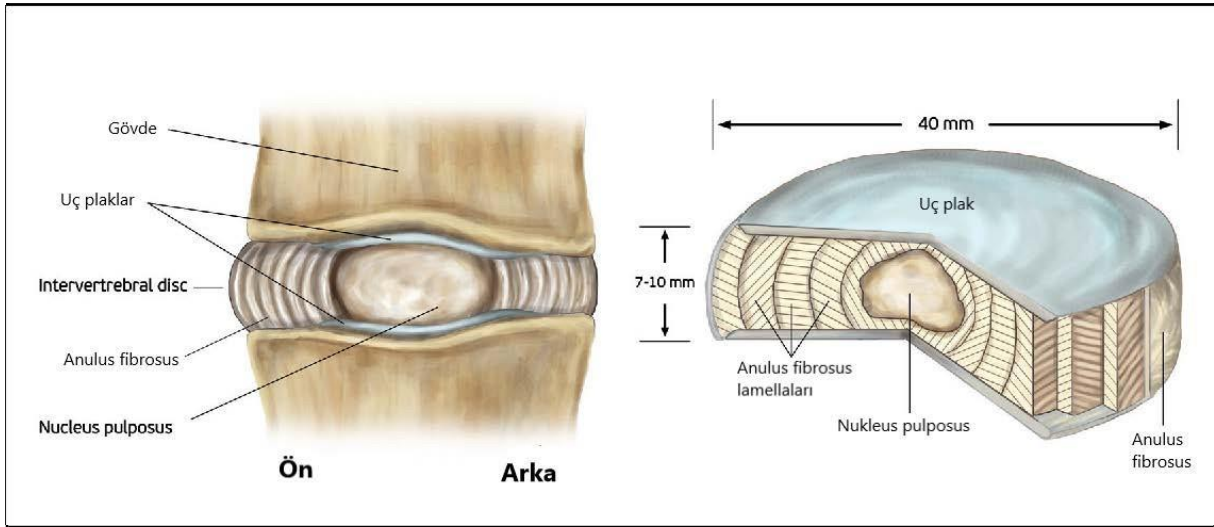
Fibröz doku (başlıca tip 1 kollajen) lamellerinden oluşmaktadır. Fibröz bantlar, zıt yönlerde 30° açı yapacak şekilde oryante olmuşlardır. Anulus fibrosus; ventralde ve laterallerde, dorsaldekilere göre daha güçlü ve dayanıklıdır. Arka tarafta, anulus fibrosusun zayıf olması disk herniasyonu gelişiminde önemli bir etkidir (Şekil 4) (18).

b. Nucleus pulposus

Notokord artığıdır. Lomber bölgede diskin posterioruna yakın yerleşmiştir. Tip 2 kollajen, su ve proteoglikandan oluşur. Kondrosit benzeri hücreleri barındırır. Bu hücreler kollajen proteoglikan yapımından sorumludur. %88 olan su içeriği yaş ilerledikçe azalır. Sinir uçları içermez (Şekil 4) (18).

c. Kıkırdak uç plak

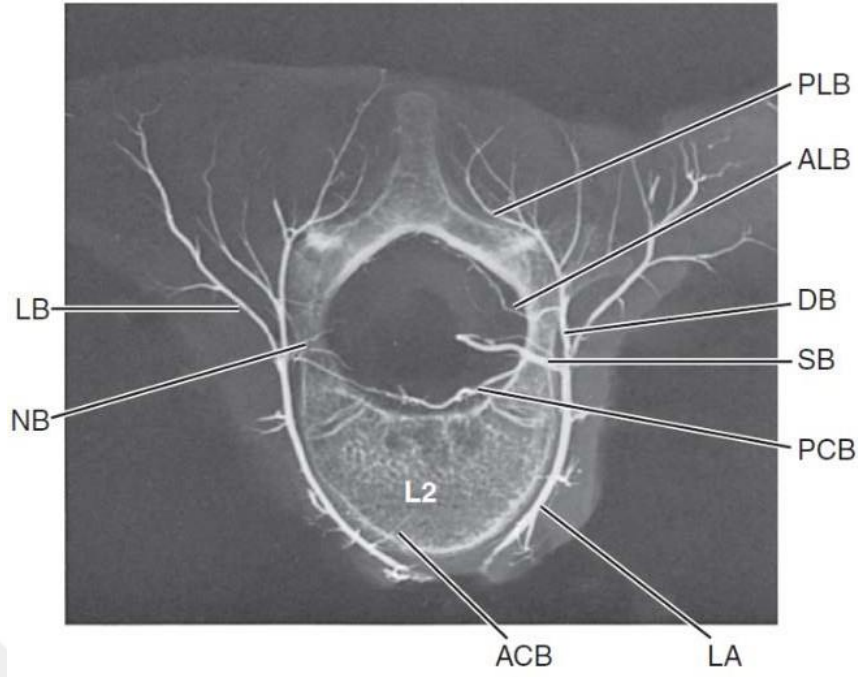
Hyalin kıkırdak yapısında olup omur gövdesi ve intervertebral disk arasında yer alır. Yaklaşık 1 mm kalınlığındadır. Besin ve atık değişimi için yarı geçirgen bariyerler görevi görür (18).



Şekil 4. İntervertebral disk anatomisi

2.1.5. Lomber Omurganın Arteriyel Yapısı

Lomber bölge omurlarında kanlanma aynı seviyeden doğrudan inen aortanın posteriorundan çıkan bir çift segmental arterden (lomber arter) sağlanmaktadır (Şekil 5) (19). Her iki tarafta, arterin ana gövdesi omur gövdesinin çevresinden geçerek vücuda primer periost ve ekvator dallarını ve daha sonra da büyük bir dorsal dal verir. Sonuncusu, faset eklemlerini, laminanın arka yüzeylerini ve üstündeki kasları ve cildi beslemeden önce, intervertebral foramene giren bir spinal dal verir (19). Omurga dalları, omurların tüm kemikli elementlerine, dura ve epidural dokulara beslenmenin ana arterleridir ve ayrıca omurilik ve sinir köklerinin radiküler kollar yoluyla beslenmesine katkıda bulunur. Omurga dalları vertebral kanala girerken postsentral, prelaminar ve radiküler dallara ayrılır. Omurga gövdelerini ve intervertebral disklerin çevresini besleyen postsentral dallar, arka boyuna ligamanın alt ve üst kısımları ile orta boyuna gelecek şekilde arka boyuna ligamanın altında anastomoz yapar. Bu anastomoz aynı zamanda ön epidural dokuları ve durayı da besler (18,19). Omur kemerinin büyük kısmı, arka epidural dokular ve dura ve ligamentum flavum prelaminar dallar ve vertebral kanalın arka duvarındaki anastomoz pleksusları tarafından sağlanır. Omurganın venleri internal ve eksternal pleksuslar olarak iki grupta incelenebilir. Eksternal venöz pleksus omurların özellikle de posterior kemik ve çevre yapının venöz dolaşımın sağlarken internal venöz pleksus da dura mater ile omur arasından dört damardan oluşur ve vertebral kanal çevresinin drenajını sağlar (19).

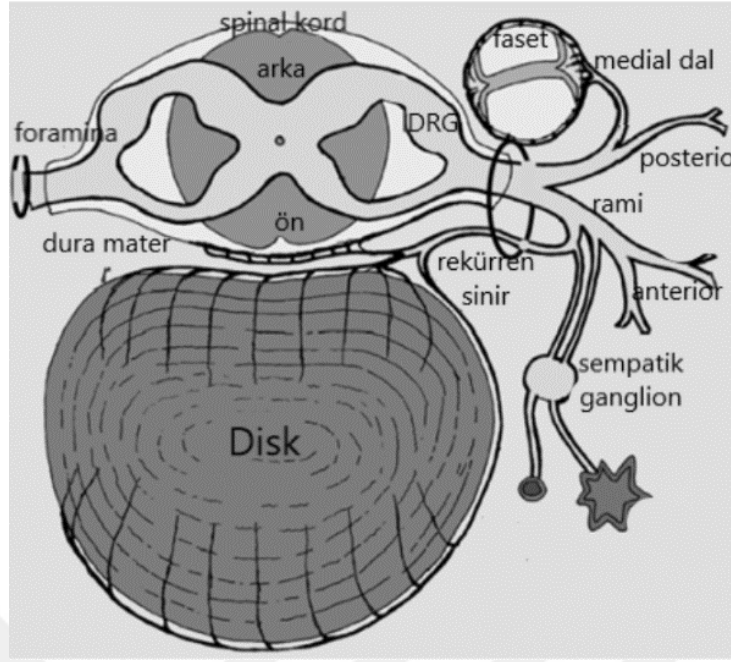


Şekil 5. Omurun arteriyel dolaşımı (19)

(LA, lomber arter; SB, Spinal dal; DB, Dorsal dal; ALB, Anterior laminal dal; PLB, posterior laminal dal; NB, nöral dal; ACB, ön santral dal; LB, lomber dal; PCB, posterior santral dal.)

2.1.6. Lomber Omurganın İnervasyonu

Lomber omurganın inervasyonu intervertebral foramenin içinde ve ötesinde dallanan spinal sinirlerden elde edilir (Şekil 6). Sempatik sisteme gri rami aracılığıyla ya da doğrudan sempatik ganglionlardan bir girdi vardır. İlgili spinal sinirin dalları, dorsal ramus, rekürren meningeal veya sinüvertebral sinirlerdir (genellikle her seviyede birden fazla) (18-19). Dorsal ramus; faset eklemlerin, arka kemik elementlerinin periostunun, üstündeki kasların ve cildin duyusu için dallanır. Sinüvertebral sinirlerin tam orijini ve dallanma şekli tartışmalıdır, ancak bunlar en iyi ventral rami rekürren dalları olarak düşünülebilir. Sempatik girdiyi alırlar, daha sonra vertebral kanalın duvarlarını, dura ve epidural yumuşak dokuların duvarlarını oluşturan yapıların inervasyonunu sağlamak için intervertebral foraminaya tekrar girerler. Annulus fibrozusun iç kısmında ve nukleus pulposusta ise sinir elemanları yoktur (18-19).

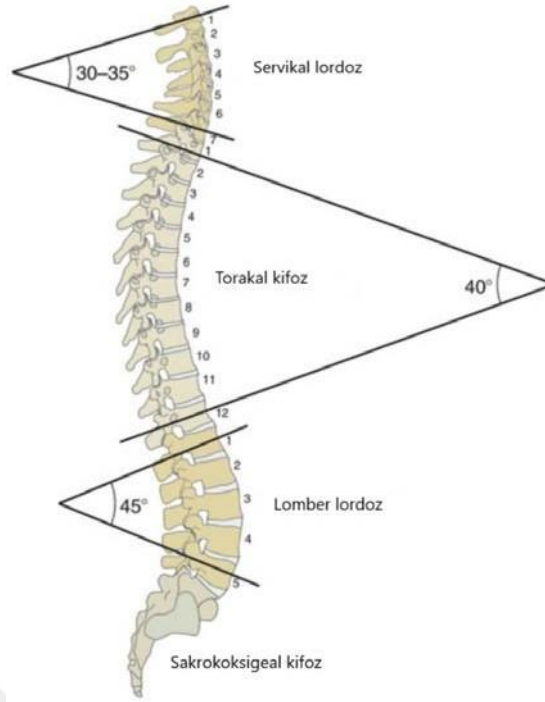


Şekil 6. Omurun sinirsel inervasyonu

2.2. Biyomekanik

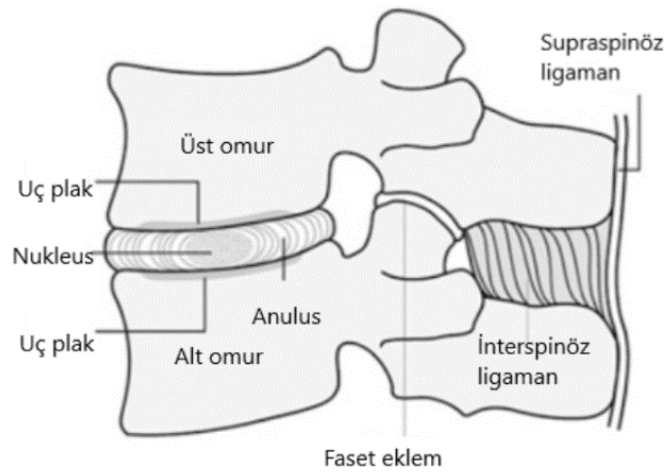
Omurga biyomekanik özelliklerinin bilinmesi, omurga rahatsızlıklarının patofizyolojisinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu durumun tanı koyma ve hastalığın tedavisi aşamasında uygun yöntemin belirlenmesinde önemi vardır (26). Biyomekanik açıdan bakıldığında, omurga üç ana işlevi yerine getirir. İlk olarak, omurga yüklerin vücuttan iletilebileceği bir yapı sağlar. İkincisi, omurga çok boyutlu uzayda harekete izin verir. Üçüncü olarak ise omurilik elemanlarını korumak için bir yapı sağlar (27).

İnsan omurgası, bir dizi doğal eğimden oluşur. Bu karşılıklı eğimler, omurganın normal istirahat veya nötral duruşundan sorumludur. Servikal ve lomber bölgelerde sagittal düzlemde doğal bir lordoz, torasik ve sakrokoksigeal bölgeler doğal bir kifoz mevcuttur (Şekil 1, 7). Torasik ve sakral bölgelerin ön kıvrımlılığı göğüs ve pelvis içindeki önemli hayati organlara yer sağlar (21).



Şekil 7. Omurganın normal kifoz ve lordoz açıları (18)

Fonksiyonel spinal ünite veya spinal hareket segmenti, omurganın bütününe benzer biyomekanik özellikler sergileyen en küçük fizyolojik hareket ünitesidir (Şekil 8). İki komşu omur, intervertebral disk, faset eklemler ve ligamanlardan oluşur (28). Bu birim, biyomekanik işleyiş ve klinik değerlendirmenin merkezi odağını temsil eder.



Şekil 8. Spinal fonksiyonel ünite

Vücutun mekaniğinin kuvvetler ve deformasyonlar ile ilgili olarak incelenmesi kinetiktir. Buna karşın kinematik, deformasyonlardan sorumlu kuvvetlerden bağımsız olarak vücudun hareketiyle ilgilenir. Her iki terim de omurganın biyomekaniği için geçerlidir (29).

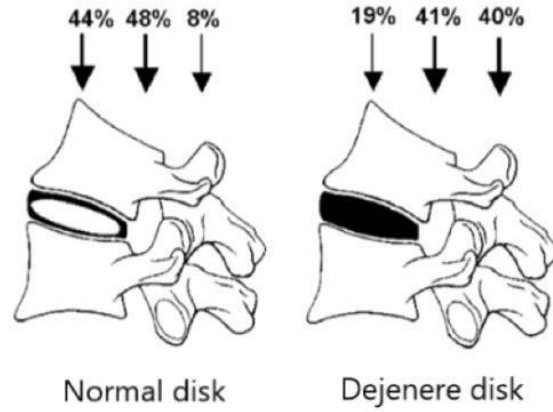
Lomber bölgede birleşik hareket oldukça fazladır. Fleksiyon-ekstansiyon hareketi, L1 seviyesinde 12-14 dereceden L5 seviyesinde 18 dereceye kadar artmaktadır. Lateral bending biraz daha sabit kalmaktadır. Her bir segmentte yaklaşık 7-9 derece olmaktadır. Aksiyel rotasyon ise, her bir segmentte 3 derece kadardır (Tablo 1) (30).

Lomber omurganın tüm omurga hareketine olan katılımı; toplam 250 derece olan tüm omurga fleksiyon ve ekstansiyon hareketinin 95 derecesini, toplam 150 derece olan yana eğilme “*lateral bending*” hareketinin 40 derecesini ve toplam 100 derece olan aksiyel rotasyon hareketinin ise 18 derecesini sağlamaktadır (30).

Tablo 1. Lomber omur aralıklarının ortalama hareket açıklıkları

Seviye	Fleksiyon- ekstansiyon hareket arkı	Lateral fleksiyon	Aksiyel rotasyon
L1-L2	12 derece	6 derece	2 derece
L2-L3	14 derece	6 derece	2 derece
L3-L4	15 derece	8 derece	2 derece
L4-L5	16 derece	6 derece	2 derece
L5-S1	17 derece	3 derece	1 derece

Normal bir intervertebral disk yapısında; lomber omur gövdesi aksiyel kompresif yüklerin %80’ini taşıırken, arka eleman olan fasetler bu yükün %20’sini taşımaktadır (30, 31). Ancak, disk dokusunun dejenere olduğu ve buna bağlı olarak intervertebral disk mesafesinin daraldığı durumlarda, fasetlerden geçen yük yaklaşık olarak %70’lere kadar çıkmaktadır (Şekil 9). Lomber omurga basma yüklenmesine dayanımı korteks bölümünden kaynaklanırken, faset eklemlerin basma yüklenmesine dayanımını eklem yüzeylerinin konumundan, kapsüler ligamandan ve bir miktar da alt fasetin bir alt mesafedeki laminasına dayanmasından kaynaklanmaktadır (31-33).



Şekil 9. Normal ve dejeneratif diskte aksiyel yüklerin dağılımı

2.3. Dejeneratif Omurga Hastalıkları

Omurganın dejeneratif hastalıkları oldukça geniş bir spekturumu kapsar. Dejenerasyon omurganın tüm bölümlerini etkileyen sistemik bir olaydır. İntervertebral disklerin, omur gövdelerinin, faset eklemlerin ve ligamanların progresif dejeneratif değişiklikleri ile karakterizedir (34). Yaşam boyunca omurga fizyolojik aksiyal yüke cevap olarak sürekli değişikliklere uğrar. Hafif derecede dejeneratif değişiklikler fizyolojiktir ve asemptomatik seyreder. Bu dejeneratif değişikliklere semptomlar eşlik ediyorsa patolojik olarak düşünülmelidir (35).

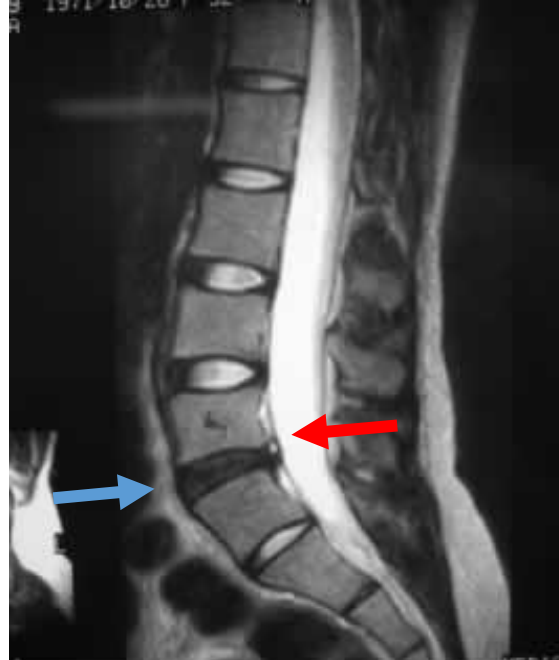
Omurganın dejeneratif hastalıkları yaşlanma süreci ile bağlantılıdır. Toplumdaki yaşlı nüfusundaki artışa bağlı yaşlanma ile ilişkili omurganın dejeneratif hastalıklarında da artış olmuştur (34). Dejeneratif omurganın ilk basamağı interbertebral disk dejenerasyonudur. Kirkaldy-Willis ve Farfan, dejeneratif sürecin; “disfonksiyon evresi”, “instabilite evresi” ve “stabilizasyon evresi” olmak üzere üç fazı olduğunu ileri sürmüşlerdir (35). Disfonksiyon evresinde, nükleusun dejenerasyonu, anüler yırtıklar ve faset eklem patolojileri görülür. İnstabilite evresinde ise, posterior faset eklemlerin ve ligamanların gevşemesi, disk mesafesinin azalması ve segmental hareketin artması göze çarpar. İnstabilite evresini, restabilizasyon evresi izlemektedir. Bu son aşamada disk içindeki kollajen miktarında artış görülür. Bunun sonucunda, disk sıvı miktarının azalması ile birlikte elastikiyetini kaybeder. Yine, bu evrede faset hipertrofisi ve osteofit formasyonu meydana gelir. Bu son evre foraminal ve santral spinal stenoz olarak karşımıza çıkar (35).

2.3.1. Dejeneratif Disk Hastalığı (DDH)

Diskojenik ağrı, disk herniasyonu olmadan intervertebral disklerden köken alan ağrı olarak tanımlanır ve periferik diskte bir şekil anormalliği olmaması ile karakterizedir. Dejenerasyon sürecinin erken evrelerinde görülen klinik tablodur (37). Nükleer matriksin yıkılması ve disk içinde fissürler gelişmesi ile karakterizedir. Dış anulus temelde görece sağlam kalmıştır, tüm anulusu delip geçen bir defekt yoktur

Diskojenik ağrının olası mekanizması; dejenerasyonla birlikte nosiseptif sinirin intervertebral disk içerisine doğru büyüme göstermesi ve inflamatuvar mediyatörlerin bu sinir uçlarını uyararak ağrıya neden olması ile ilgilidir (37,38). Ağrı, diske gelen aksiyel yüklenme ile derinden hissedilen, ayakta durmakla, oturmakla, öne doğru eğilmekle artar. Beraberinde nörolojik bulgu yoktur. Sinir germe testleri negatiftir, radiküler bulgular, spinal deformite ve instabilite bulunmaz (39).

Provokasyonlu diskografi ya da manyetik rezonans görüntüleme (MR) ile tanı konabilir. MR’da T2 sekanslarda intervertebral diskin su içeriğinin azalmasına paralel olarak daha koyu görülmesi karanlık disk (dark disk) olarak adlandırılır (Şekil 10) (34). Dorsal anulus içinde yer alan anüler yırtılma veya ödem sıvısı T2 sekanslarda yüksek sinyal alanı olarak görülür ve HIZ (high intensity zone) olarak adlandırılır (Şekil 10) (34).



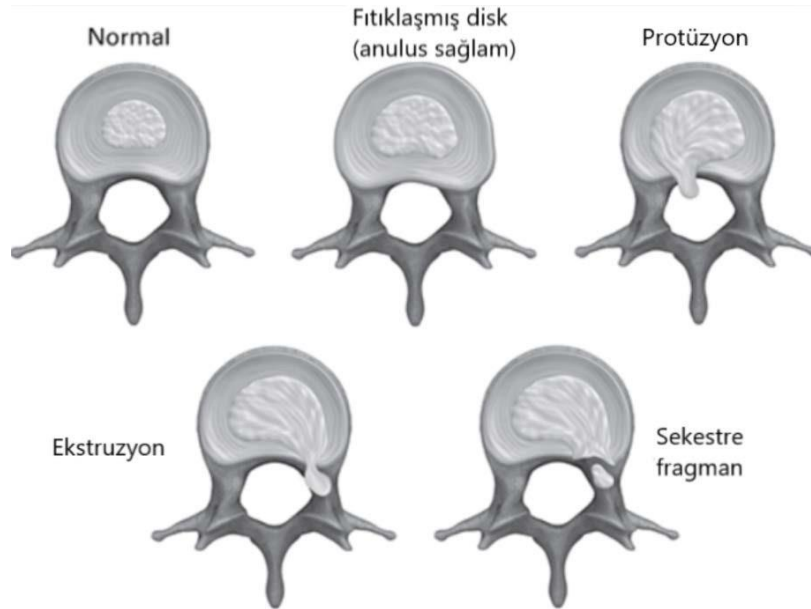
Şekil 10. MR T2 sekansında high intensity zone (HIZ) (kırmızı ok) ve karanlık disk (dark disk) bulgusu (mavi ok)

Tedavi yöntemleri arasında ilaç tedavisi, fizyoterapi modaliteleri, multidisipliner rehabilitasyon gibi invaziv olmayan tedavilerden; intradiskal tedaviler ve epidural enjeksiyonlar gibi girişimsel modaliteler, son seçenek olarak füzyon ve intervertebral disk protezi uygulanması gibi cerrahi yaklaşımlar yer alır (37).

2.3.2. Disk Herniasyonu

Disk herniasyonu, sıklıkla dejenerasyon sürecindeki patolojilerden biridir. Bu, özellikle torsiyonel kuvvetlere dayanamayan anulus fibrillerinin yırtılması ve bunun sonucu kapalı bir sistem olarak çalışan uç plak-nükleus-anulus kompleksinin devre dışı kalması ve gelen kompresif kuvvetin etkisiyle nükleusun yırtık anulus bölgesinden herniye olması şeklindedir (40). Lomber disk hernisi morfolojisine göre üç alt başlıkta sınıflandırılmıştır (Şekil 11) (41).

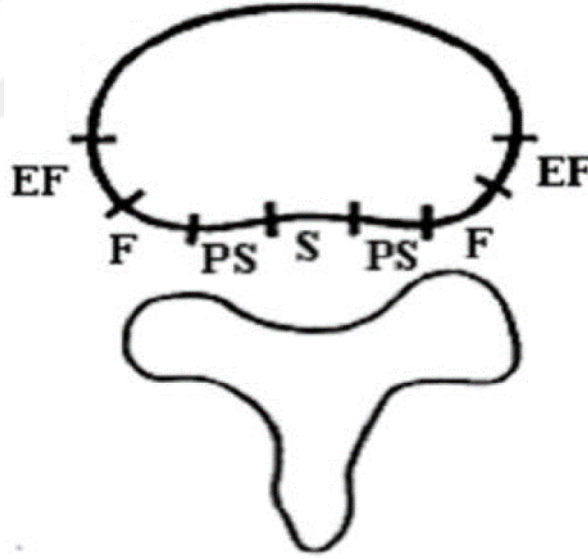
- 1) Protrude disk hernisi: eksentrik taşma mevcuttur; anulusu sağlamdır.
- 2) Ekstrude disk hernisi: nükleus yırtık anulusu geçmiştir; ancak, hala disk aralığındaki nükleus gövdesiyle bağlantısı vardır.
- 3) Sekestre disk hernisi: Artık parça disk aralığı ile bağlantısı yitirmiştir ve serbest fragman halindedir.



Şekil 11. Disk hernisi tiplerinin anatomik sınıflandırılması (Spengler)

Genellikle ilk yakınma bel ağrısıdır. Bu ağrıyı birkaç gün sonrasında bacak ağrısı izler. Ağrıya his kusuru ve güçsüzlüğü eşlik edebilir. Bacak ağrısı belirgin hale geldikçe, sıklıkla bel ağrısında azalma olur. Karakteristik olarak ayakta durma, yürüme, hapşırma, öksürme ağrısı arttırır (42).

Lomber disk herniasyonları en sık posterolateral yerleşimli (%90-95) olur (Şekil 12). Posterolateral yerleşimli disk herniasyonu, diskin bulunduğu düzeyde duradan ayrılan ve alt foramenden çıkan sinir köküne bası yapar (42). Örneğin L4-5 diski, L5 sinir köküne bası uygular. Foraminal ya da ekstraforaminal lokalizasyonlu disk hernileri ise o düzeydeki foramenden çıkan sinir köküne bası yapar. Örneğin; L4-5 foraminal diski, L4 sinir kökünü sıkıştırır. Orta hat disk herniasyonlarında bacak ağrısı olabilir ancak radiküler bir tutulum tarzında değildir. Bu tip herniasyonlarda en ciddi klinik tablo perineal uyuşukluk, mesane-bağırsak kontrolünün kaybı, bacaklarda güçsüzlük hissi ile karakterize olan kauda ekina sendromu gelişimidir. Kauda ekina sendromu acil tedavi gerektirir (42).

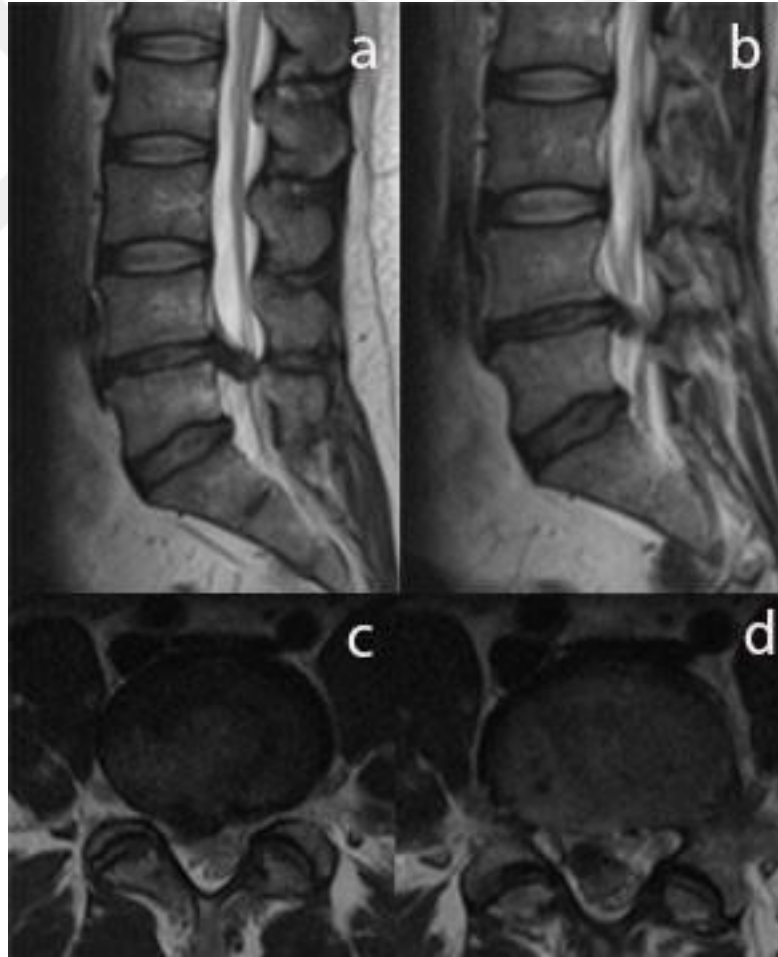


Şekil 12. Disk hernisi tiplerinin lokasyona göre sınıflandırılması

(S, santral; PS, parasentral (posterolateral); F, foraminal; EF, ekstraforaminal)

Lomber disk herniasyonu teşhisinde altın standart manyetik rezonans (MR) görüntüleme yöntemidir (Şekil 13a-d). MR çekilemeyen durumlarda alınan yumuşak doku ağırlıklı BT kesitleri herniye diski gösterebilir.

Nörolojik defisit bulunmadığı, klinik tablonun sadece ağrı ile karakterize olduğu olguların tedavisinde ilk seçenek konservatif tedavidir. İstirahat, ortez ve medikal tedavi uygulanabilir. Fiziksel tedavi yöntemleri ve epidural steroid enjeksiyonu da ağrıyı gidermede etkindir. Lomber disk hernisinin cerrahi tedavisinde mutlak endikasyon kauda ekina sendromu varlığıdır. Konservatif tedaviye rağmen 6 haftadan uzun süren ve günlük yaşamın etkilendiği, yılda birkaç kez tekrar eden durumlarda cerrahi uygulanabilir. Laminotomi ve diskektomi en sık kullanılan cerrahi yöntemdir. İnstabilite veya diskojenik ağrı bulunan olgularda diskektomi sonrası füzyon ve enstrumantasyon tercih edilir (42).



Şekil 13a-b. MR sagittal kesitlerde ekstrude disk görünümü c-d. MR aksiyel kesitlerde ekstrude disk görünümü

2.3.3. Dejeneratif Lomber Spinal Stenoz

Spinal stenoz; lateral resesin ya da nöral foramenin kemik ya da yumuşak doku basısına bağlı spinal kanalın daralmasıdır. Kanal çapının 10-13 mm arasında olması rölatif spinal stenoz, 10 mm'den az olması ise belirgin spinal stenoz olarak kabul edilir (43).

Lomber dejeneratif spinal stenozda şikayetler genellikle sinsi ve yavaş gelişir (43-44). Dejeneratif lomber spinal stenoz kadınlarda daha sık olup sıklıkla 7. dekada semptomatik olur. En çok L3–L4 ve L4–L5 seviyesi etkilenir ve %5 oranında servikal stenoz eşlik eder. Etiyolojisine göre; kazanılmış (dejeneratif, travmatik, cerrahi sonrası, inflamatuvar) ya da konjenital (akondroplazi) olarak veya anatomik lokasyonuna göre santral, lateral reses, foraminal ve ekstraforaminal olarak sınıflandırılır (43-44).

Santral spinal stenoz, nörojenik kladikasyo şeklinde kendini gösterirken, lateral reses ya da foraminal basılarda radiküler ağrı ortaya çıkar. Spinal stenozun klasik bulgusu olan nörojenik kladikasyo alt ekstremitelerde özellikle baldırda ağrı, uyuşma ve karıncalanma ile karakterizedir (44, 45). Tipik olarak belden başlayıp bacaklara yayılsa da etkilenim her zaman homojen olmayıp gün içinde bile yer değiştirebilir. Yani hasta bazen sağ uyluk bazen sol bacak ağrı ve uyuşmasından yakınır. Çoğu hastada kramp yakınması ve yaygın parestezi, hatta yürürken bacaklarda boşalma yakınması da vardır. Hastalar tipik olarak lomber fleksiyonda rahatlar, ekstansiyonda yakınmaları artar. Bu artış lomber ekstansiyon ile kanalın daralmasına bağlıdır. Nörojenik kladikasyo olan hastalar genellikle lomber fleksiyonun arttığı, yokuş yukarı yürüme, alışveriş arabası ya da bisiklet kullanma gibi aktiviteleri daha rahat tolere ederler. Nörojenik kladikasyosu ayırıcı tanısı da vasküler kladikasyo ve periferik nöropati düşünülmelidir (45). Vasküler kladikasyoda yakınmalar omurganın pozisyonu ile değil alt ekstremit fonksiyonu ile ilişkilidir. Spinal stenozlu bir hasta bisikleti semptomsuz kullanabilirse de vasküler kladikasyosu olan hastada semptomlar hemen oluşur. Periferik nöropatide hastada duyuşsal kayıp ön planda olup altta yatan diabetes mellitus, kronik alkolizm gibi hastalıklar vardır. Ağrı kalıbı radiküler değil daha çok eldiven çorap tarzındadır, elektromiyografi ve sinir ileti çalışmaları ayırıcı tanıda yardımcı olur (43).

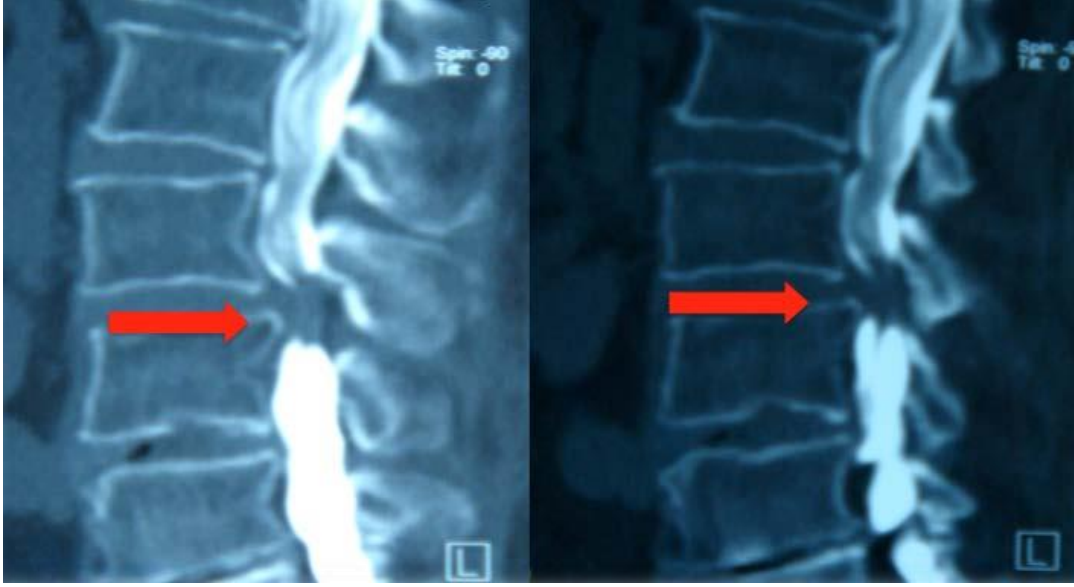
Ön–arka ve yan plandaki direkt grafiler ile disk dejenerasyonunu gösteren işaretler; osteofitler, faset hipertrofisi, dejeneratif spondilolistezis ve dejeneratif skolyoz tespit edilebilir (Şekil 14a-b). Fleksiyon ve ekstansiyonda yan grafiler ile sagittal plandaki instabilite incelenir. Manyetik rezonans görüntüleme spinal stenozun tanısında ve tedavi planlamasında en sık tercih edilen görüntüleme yöntemi olmuştur(Şekil 14c-e). Stenozun daha çok santral kanal, lateral

reses ya da foraminal olduğu ortaya konur. Faset eklem değişiklikleri, intervertebral diskin durumu, ligamentöz yapılar değerlendirilerek cerrahi planlama yapılır. Myelografi, dinamik myelografi ve myelo-BT de tanı koymada kullanılabilir (Şekil 15a-b), fakat MR'ın yaygınlaşmasıyla birlikte kullanımı azalmıştır.

Ciddi yakınmaları olmayan spinal stenozlu hastalar konservatif yöntemlerle tedavi edilebilirler. Konservatif tedavi olarak antiinflamatuvar ilaçlar, istirahat, fizyoterapi, ortezler, epidural ve faset enjeksiyonlar uygulanabilir. Konservatif yöntemlere cevap vermeyen ve hastanın günlük yaşam aktivitelerini belirgin olarak kısıtlayan ciddi ağrı varlığında cerrahi tedavi endikasyonu ortaya çıkar. Dekompresif laminektomi (füzyonlu veya füzyonsuz), laminotomi, minimal invaziv dekompresyon, dekompresyon + enstrumentasyon ± füzyon cerrahi seçeneklerden bazılarıdır. Spinal stenoza eşlik eden dejeneratif spondilolistezis veya skolyoz varlığında dekompresyon işlemine füzyon ve enstrumentasyon eklenmesi gerektiği kabul görmektedir (21,45). Füzyonsuz dekompresyon ise santral kanal stenozu bulunan, yaşlı, osteoporotik, spinal hareketin ileri derecede azaldığı olgularda daha az travmatize edici bir ameliyat seçeneği olarak uygun olabilir (45).



Şekil 14a. Lomber spinal stenozu olan hastanın lomber ön-arka grafisi b. Lomber yan grafisi c. MR sagittal kesitleri d-e. MR aksiyel kesitleri



Şekil 15a-b. BT miyelogramda gösterilen spinal stenoz

2.3.4. Dejeneratif Spondilolistezis

Dejeneratif spondilolistez (DS) ilk olarak 1930 yılında Junghanns tarafından tanımlanmıştır. Omurganın arka elemanlarında yapısal defekt olmadan bir omurun komşu omura göre öne kaymasını ifade eder (Şekil 16a) (46). Sıklıkla L4-5 seviyesinde ve 50 yaş üstü kadınlarda görülür. Kadınlarda erkeklere göre 4-5 kat daha sık görülür. Kadınlarda daha sık görülmesi, ligaman laksitesinin erkeklere göre fazla oluşu ve hormonal etkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir (47,48) 4151 hastalık bir çalışmada prevalansı erkeklerde %2,7, kadınlarda %8,4 olarak bildirilmiştir (49). Disk dejenerasyonu faset kapsül dejenerasyonuna ve instabiliteye neden olur. Bu instabilite uzun vadede omurda öne kayma ile sonuçlanır. Disk mesafesinde yükseklik kaybı, faset eklem ve ligamentum flavum hipertrofisi, faset osteofiti ve üstteki omurun alttakinin üzerinde kayması spinal kanal darlığı ve foraminal darlık meydana getirir. Alt lomber bölge ağrısı ile nörojenik kladikasyo ve/veya radikülopati görülebilir (49, 50). Semptomlar tipik olarak ayakta durmak veya yürümekle artar ve oturmak veya öne eğilmekle azalır. L4-5 seviye listezisinde en sık bir alt segmentten çıkan L5 kökü etkilenir ve buna bağlı ekstensor hallusis longus zayıflığı görülebilir. Fleksiyon ve ekstansiyonda çekilen yan grafilerde, komşu segment instabiliteleri değerlendirilebilmektedir. Her iki grafi arasında 4 mm'den veya 10°'den fazla hareket, instabilite olarak değerlendirilir (50). T2 sekansında MR görüntüleme bası altındaki nöral yapıları göstermede faydalıdır (Şekil 16b-c).

Çoğu hasta konservatif olarak tedavi edilir. Aktivite kısıtlaması, kilo kontrolü, anti-inflamatuar ilaçlar, ortez kullanımı konservatif tedavinin ilk basamağını oluşturur (49). Şikayetlerin geçmemesi durumunda epidural steroid enjeksiyonu uygulanabilir. Hayat kalitesini olumsuz yönde etkileyen ve en az üç aylık konservatif tedaviye yanıt vermeyen ısrarcı, tekrarlayan bel ve bacak ağrısı veya nörolojik kladikasyonun varlığı, ilerleyen motor defisit ve inkontinans varlığı olarak belirlenmiştir (50). Cerrahi tedavi seçenekleri arasında, sadece dekompresyon, dekompresyon ve posterior enstrumentasyon ve buna interbody füzyon ile anterior desteğin eklenmesi sayılabilir. Tek başına dekompresyon eşlik eden instabilite nedeniyle tercih edilmez. Biyomekanik açıdan daha stabil yapı sağlanması ve üst düzey füzyon başarısını sağlamak için posterolateral füzyonla birlikte interbody füzyon tekniklerinin kullanılması fayda vardır (51).



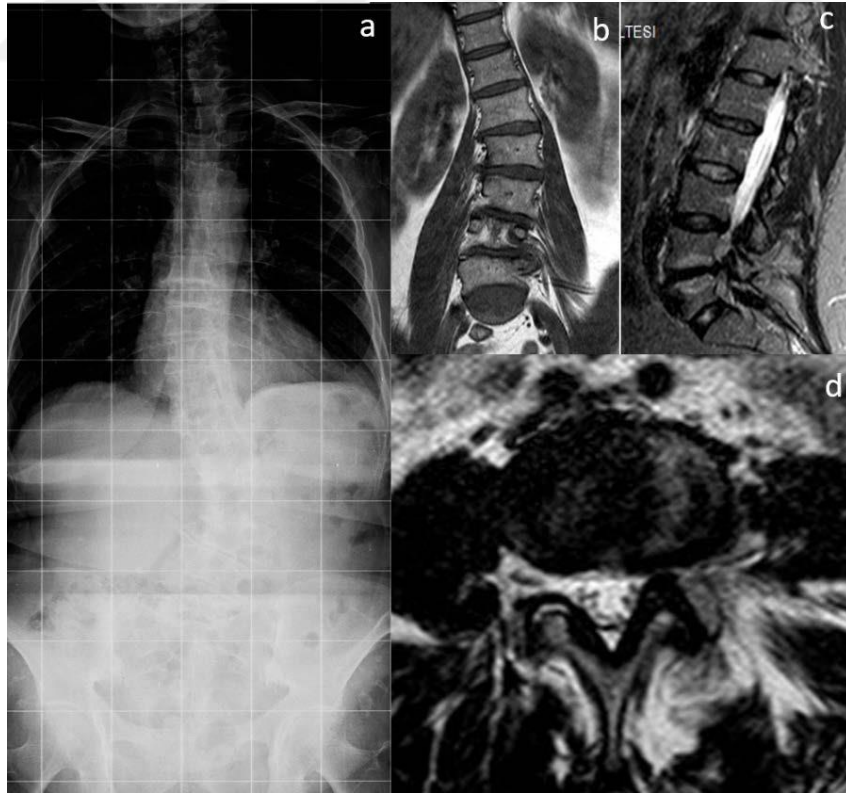
Şekil 16a. Dejeneratif spondilolistezis tanılı hastanın yan grafisi b-c. Sagittal MR kesitleri

2.3.3. Dejeneratif Skolyoz

Erişkin hastalarda ön-arka grafide 10° 'nin üzerinde eğriliklere “erişkin lomber skolyoz” denilmektedir (52). Adölesan idiopatik skolyozun tedavi edilmemiş formunun erişkin hastada ilerlemesi ile ortaya çıkabileceği gibi 50 yaş üzerindeki hastalarda ortaya çıkan de novo formu da mevcuttur. Daha çok torakal bölgede görülen idiopatik skolyozun aksine dejeneratif skolyoz lomber bölgede görülür. Eğrilik genellikle 40 dereceden azdır (52,53). Etiyolojisi, diskin ilerleyici ve asimetrik dejenerasyonu, faset eklemleri ve tipik olarak nöral yapıların kompresyonuna yol açan diğer yapısal spinal elementlerle ilişkilidir. Klinik tabloda en sık kronik instabiliteye bağlı aksiyel sırt ağrısı görülür. Vertebral kanal ve lateral reses darlığına

bağlı nörojenik kladikasyo ve radikülopati eşlik edebilir. Eğriliğin konkav tarafında basıya bağlı konveks tarafında ise gerilmeye bağlı radiküler bulgular görülür (53).

Hastanın ayakta C2, tüm omurga, femur başları mümkünse dizleri de içine alacak şekilde veya tüm vücut ön-arka ve yan grafiplerinin elde edilmesi gerekmektedir (Şekil 17a). Bu grafi ile sagittal ve koronal dengesi anlaşılabilir. Omuriliğin, kauda ekinanın, köklerin ve disk yapısının değerlendirilmesinde MR ilk seçenektir (54) (Şekil 17b-d). BT omurganın aksiyel rotasyonu hakkında bilgi verir ve pediküler vidaların yerleştirilmesinde yardımcı olur. 30 dereceden az eğrilikler nadiren progresyon gösterir ve konservatif tedavi ön plandadır. Konservatif tedavi olarak antiinflamatuvar ilaçlar, istirahat, fizyoterapi, ortezler, epidural ve faset enjeksiyonlar uygulanabilir. Elli dereceden fazla eğriliği ve sagittal dengesizliği olan, konservatif tedaviye yanıt vermeyen ve ilerleyen motor defisiti olan hastalar cerrahi tedaviye adaydır (52, 54). Cerrahi tedavi geniş dekompresyon, füzyon ve posterior enstrumentasyon ile deformitenin düzeltilmesi ve stabilizasyonunu içerir. Cerrahi tedavinin amacı restorasyon ile nöral elemanların dekompresyonu, sagittal ve koronal dengenin stabilizasyonudur (54). Posterior segmental fiksasyona interbody füzyon teknikleri ile ön kolon desteği sağlanarak 360 derece füzyon gerçekleştirilebilir (52).



Şekil 17a. Dejeneratif skolyozlu hastanın tüm omurga ön-arka grafisi b. MR koronal görüntüsü c. MR sagittal görüntüsü d. MR aksiyel görüntüsü

2.4. Lomber Interbody Füzyon

2.4.1. Lomber Interbody Füzyonla İlgili Genel Bilgi

İki omur gövdesi arasındaki intervertebral disk aralığında füzyon sağlamak amacıyla yapılan cerrahi işleme interbody füzyon denir (1-3). Lomber interbody füzyon teknikleri, spinal stenoz, spinal deformite ve dejeneratif disk hastalığına (DDH) ya da konservatif tedaviyle sonuç alınamayan herniasyona sekonder radikülopati dahil olmak üzere bir takım bel hastalığının tedavisi için kullanılmaktadır (1).

Dejeneratif seviyelerin interbody füzyonu, ağırlı hareket segmentini stabilize etmek için etkili bir tedavi seçeneğidir ve nöral elemanların dolaylı dekompresyonunu sağlayabilir, lordozu yenileyebilir ve deformiteyi düzeltebilir (1-3). Etkin bir lomber interbody füzyon sağlamak için gerekli biyomekanik prensipler Lin tarafından tarif edilmiştir: hareketli segmentte posterior elemanların korunması (bu greftleri dengeleyip sıkıştıracaktır); daha geniş füzyon sahası oluşturmak için total (%80) diskektomi uygulanması; süngerimsi ve kortikal greftlerin sıkıştırılması ve daha geniş bir alan yaratılarak yumuşak vasküler süngerimsi kemiğe girmesini önlemek için uç plakların kısmi dekortikasyonudur (55). Lomber interbody füzyon ameliyatlarının endikasyonları ve kontraendikasyonları tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Lomber interbody füzyon ameliyatı endikasyonları ve kontraendikasyonları

Endikasyonlar	Kontraendikasyonlar
Mekanik bel ağrısı ya da radiküler sendromlarla beraber grade 1 ve 2 spondilolistezis (dejeneratif ya da litik olabilir)	Yüksek derece spondilolistezis
Redükte yüksek grade spondilolistezis	Şiddetli osteoporoz
Santral kanal stenozu	Aktif enfeksiyon
Lateral reses sendromu	Travmatik instabilite
Faset eklem hastalığı	Cerrahiye engel diğer hastalıklar
Ciddi diskojenik bel ağrısı	Yüksek derece spondilolistezis
Lomber segmental instabilite	
Rekürren disk hernisi	
Postlaminektomi instabilitesi	
Psödoartroz tedavisi	
Diğer tekniklerle başarısız lomber füzyon	

2.4.2. Tarihçe

Interbody füzyon posteriordan denenilen füzyon yöntemlerinin başarısız veya yetersiz olması sonrasında 1944 yılında ortaya çıkmıştır. Briggs ve Milligan, füzyonun iyileştirilmesi için posterior bir yaklaşımı olan ve eksiz edilen spinöz çıkıntıları otogreft olarak disk aralığına yerleştirdikleri tekniği tanımladılar (56). Cloward'ın nöroşirürji toplantılarında iliak kanat otogreftini kullandığı kendi PLIF vakalarını sunmasıyla takip eden yıllarda tekniği popülerleştirdi (57). Teknik zorluklar nedeniyle, PLIF prosedürünün kullanımı 1980'li yıllara kadar önemli ölçüde sınırlı kaldı; bu sırada önceden oluşturulmuş destekleyici interbody implantlar ve bunları yerleştirecek olan enstrümanların ortaya çıkışı bu tekniğin kolaylığını ve ardından popülerliğini arttırdı.

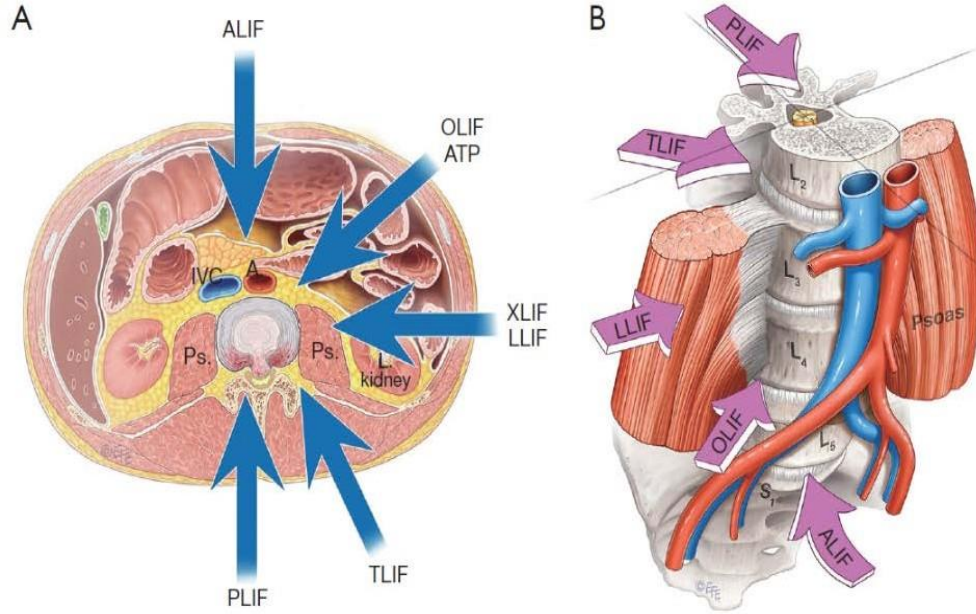
Transforaminal lomber interbody füzyon (TLIF), posterior lomber interbody füzyon tekniğinin (PLIF) modifikasyonu olarak ilk olarak 1982 yılında titanyum mesh içine sıkıştırılmış kemik greftinin tek taraflı transforaminal yoldan disk aralığının ön kısmına yerleştirildiği teknikle Harms ve Rolinger tarafından uygulandı (11). Füzyon için vidaların ilk kullanımı King tarafından 1940 ile 1959 arasında gerçekleştirdi (5). 1959'da Boucher, King faset vida tekniğini daha uzun vidaları daha medial olarak pediküllere yerleştirerek geliştirdi (58). 1988'de ortopedi cerrahı Steffee, ön kolondan yük paylaşımını sağlamak için pedikül vidası sabitlemesini interbody füzyonuyla birleştirmeyi önerdi (59). Harms, tekniği daha da geliştirdi ve bunu 1998'de detaylı bir şekilde tarif etti (60). Bu teknikte pedikül vidaları, kafes yerleştirilmeden önce yerleştirildi ve tüm faset eklemi çıkarıldı, böylece tekal kesenin traksiyonunu en aza indirilerek potansiyel olarak ciddi nörolojik araz olasılığı azaltıldı.

2.4.3. Lomber İnterbody Füzyon Teknikleri

Lomber interbody füzyon disk aralığına greftin yerleştirilme yönüne göre beş ana yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilir (Şekil 18) (61); bunlar tablo 3'de özetlenmiştir. Teknikler tercih edilirken anatomik seviyeler de göz önünde bulundurulur (Tablo 4).

Tablo 3. Lomber interbody füzyon tekniklerinin girişim yönüne göre incelenmesi

Teknik	Girişim Yönü
Lomber İnterbody Füzyon (PLIF),	Direk posteriordan posterior
Transforaminal Lomber İnterbody Füzyon (TLIF veya MIS-TLIF),	Fasetleri ve nöroforamenleri geçerek
Anterior Lomber İnterbody Füzyon (ALIF)	Transperitoneal veya retroperitoneal yolla
Lateral Lomber İnterbody Füzyon (LLIF)/ Extreme Lateral İnterbody Füzyon	Transpsoas girişimle
Oblik Lomber İnterbody Füzyon / (OLIF / ATP)	Psoas kasının önünden



Şekil 18. Lomber interbody füzyon tekniklerinde yaklaşım yönleri (mobs)

Tablo 4. Anatomik seviyelere göre uygun lomber interbody füzyon teknikleri

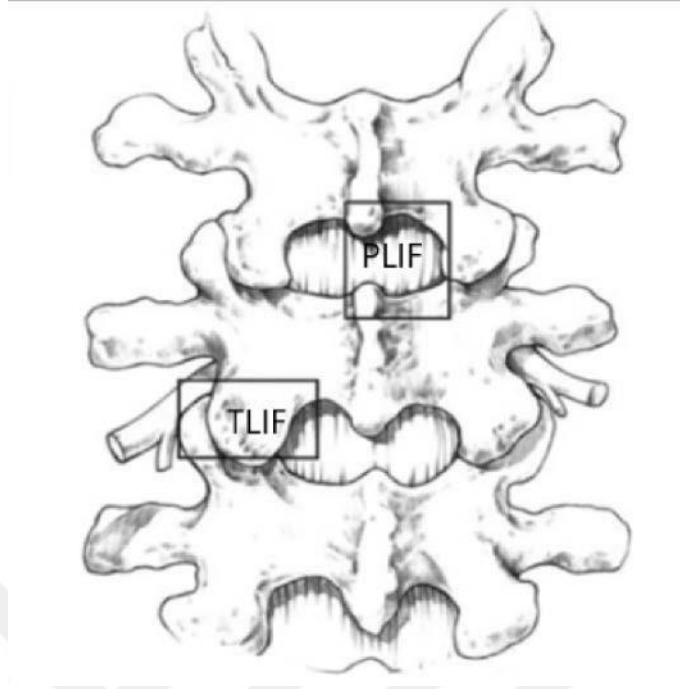
	L5/S1	L4/5	L3/4	L2/3	T12/L1/2
PLIF	+++	+++	+++	+++	++
TLIF	+++	+++	+++	+++	++
ALIF	+++	+++	+	-	-
LLIF	-	+++	+++	+++	++

(+, zayıf seçenek; ++, iyi seçenek; +++, mükemmel seçenek; -, uygun değil.

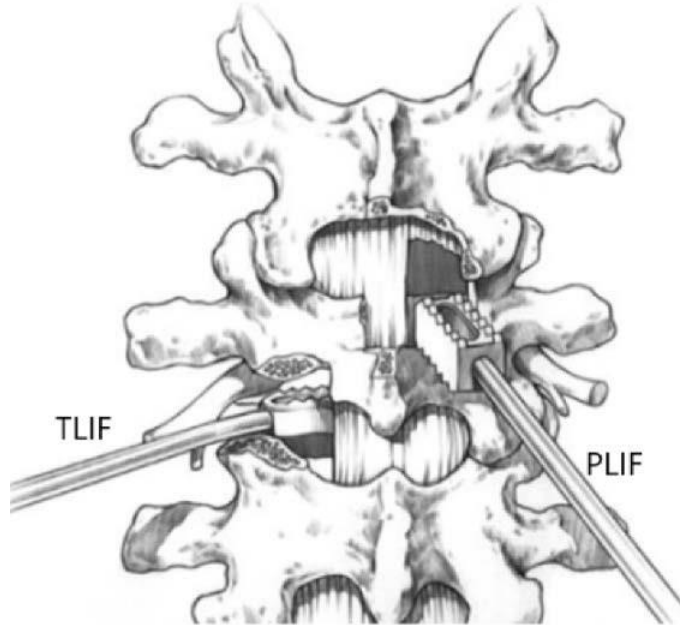
PLIF, Posterior lomber interbody füzyonu; TLIF, Transforaminal lomber interbody füzyon; ALIF, Anterior lomber interbody füzyon; LLIF, lateral lomber interbody füzyon)

a. Posterior lomber interbody füzyon (PLIF)

Posterior lomber interbody füzyon (PLIF) ilk kez 1940'ta Cloward tarafından uygulandı. Bu teknik daha sonra Lin tarafından revize edildi (62). Hasta genel anestezi altında prone pozisyonunda hazırlanır. Spinöz çıkıntılar üzerinden standart orta hat insizyonu uygulanır. Yağ doku ve lumbosakral fasya geçilir. Subperiostal olarak paraspinal kaslar ve yumuşak dokular laterale çekilerek spinöz çıkıntı, lamina, faset eklem ve transvers çıkıntılar ekspozite edilir. Faset eklem bistüri yardımıyla açılır ve alt faset osteotomi yardımıyla çıkartılır. Transpediküler vidalar yerleştirilir ve rod konularak distraktör ile disk aralığı açılır. Yapılan laminektomiden sonra dura medialis retrakte edilerek disk aralığına ulaşılır (Şekil 19). PLIF te diskektomi ve interbody füzyon ayrı ayrı her iki taraftan gerçekleştirilir (Şekil 20). Dura ve sinir köklerinin gerilmesini asgariye indirmek için faset eklemlerinin medial bölümünün geniş bir laminektomi ve rezeksiyonu esastır (62-63). Cerrahin kemik rezeksiyon miktarını tercih etmesi bakımından büyük miktarda farklılıklar vardır; bununla birlikte, genel olarak pedikülün medialine kadar taşınır, üst ve alt fasetlerin en az yarısını uzaklaştırır. Geniş rezeksiyon, nöropatik ağrı ve güçsüzlüğe neden olabilen lomber köklerinde traksiyon hasarını önlemeye yardımcı olur. Geniş epidural skar, araknoidit ve aktif enfeksiyon posterior füzyon cerrahisi için kontrendikasyon oluşturur (62-63).



Şekil 19. Kemik rezeksiyonu ve intervertebral disk aralığına ulaşımın PLIF ve TLIF tekniklerinde şematik gösterimi



Şekil 20. Kafes yerleştirme açılarının PLIF ve TLIF tekniklerinde şematik gösterimi

b. Transforaminal Lomber Interbody Füzyon (TLIF)

Bilindiği gibi spinal cerrahideki temel amaçlar; nörolojik dekompresyon, normal stabilitenin sağlanması, redüksiyon, normal dizilimin korunması ve füzyondur (1, 29, 61). Lomber spinal füzyon, semptomatik spinal instabilite, spinal stenoz, spondilolistezis gibi dejeneratif omurga hastalıklarında yaklaşık 70 yıldan beri kullanılmaktadır (29). TLIF’de temel amaç sirkümfrensiyal artrodesin sağlanmasıdır. Lateral girişim rotası ile PLIF’e kıyasla daha az nöral retraksiyonun sağlandığı TLIF, yüksek füzyon oranı, iyi klinik sonuçlar ve düşük komplikasyon oranları ile popülerliğini giderek arttıran bir posterior füzyon tekniğidir (64).

Hasta genel anestezi altında prone pozisyonda bası yapabilecek noktalara yastıkçıklar konularak radyolusen ameliyat masasında hazırlanır. Konulan yastıkçıklarla aynı zamanda batını rahatlatılır. Bu şekilde batın içi basınç azalır ve epidural venöz pleksusta basınç düşürülmesi sağlanarak kanama azaltılır (65). Hastayı düz veya kifotik bir pozisyona yerleştirmekten kaçınılmalıdır, çünkü hastanın bu fizyolojik olmayan pozisyonda füzyonu gerçekleştirilebilir. İstenilen lordozun sağlanması, pozisyonlama sırasında maksimum kalça ekstansiyonu ile gerçekleştirilir. Spinöz çıkıntılar üzerinden standart orta hat insizyonu uygulanır. Yağ doku ve lumbosakral fasya geçilir. Subperiostal olarak paraspinal kaslar ve yumuşak dokular laterale çekilerek spinöz çıkıntı, lamina, faset eklem ve transvers çıkıntılar ekspoze edilir. Faset eklem bistüri yardımıyla açılır ve alt faset osteotom yardımıyla çıkartılır (Şekil 19). Transpediküler vidalar yerleştirilir ve rod konularak distraktör ile disk aralığı açılır. Kalan üst faset Kerrison ronjür yardımıyla eksize edilir. Böylece sinir kökünün, tekal kesenin ve diskin doğru tanımlanması mümkün olabilir. TLIF çalışma bölgesinin sınırları, medialde dural kese ve travers sinir, üstte çıkan sinir kökü, aşağıda alt omur pedikülü ve lateralde ekstraforaminal alandır. Anulus fibrozus bistüri yardımıyla penetre edilir. Küret ve punch ile diskektomi uygulanır. Omur uç plakları küret ve shaver yardımıyla hazırlanır. Çökmeyi (subsidence) önlemek için uç plaklara fazla zarar verilmemelidir. Kademeli distraksiyonlar deneme kafesi sıkı şekilde oturuncaya kadar devam ettirilir. İliak kanat ve çıkan proseslerden hazırlanan otograft ve allograftın bir kısmı greft itici ile ön tarafa yerleştirilir (Şekil 20). Greftle doldurulmuş kafes transforaminal aralıktan intervertebral aralığın olabildiğince ön ve orta bölgesine yerleştirilir (Şekil 21). Füzyon ve stabiliteyi arttırmak için kafes kemik-kemik yüzeye oturtmaya çalışılır. Lateral ve anteroposterior floroskopi, vida ve kafes yerleşimini doğrulamak için kullanılır. Kafesin yerleşiminin uygun olması durumunda posteriordan rodler her iki taraftan da komprese edilerek kilitlenir. Cerrahin tercihinə göre, dekortike edilen faset, lamina,

spinöz prosesler ve chips greft rodların lateraline yerleştirilerek posterolateral füzyon uygulanabilir (65). TLIF ile 270 ° füzyon sağlamak mümkündür.



Şekil 21. Polieter eter keton (PEEK) kafes

c. Minimal İnvaziv Transforaminal Lomber İnterbody Füzyon (MIS-TLIF)

Açık TLIF yaklaşımının birincil dezavantajı, önemli miktarda postoperatif ağrıya neden olması ve geniş paraspinal kas diseksiyonu ve retraksiyon gerektirmesidir. 1990'lar boyunca, cerrahlar lomber füzyonları daha az invazif hale getirmek için teknikleri geliştirmeye ve değiştirmeye devam etmişlerdi. Bu çabalar, 2002'de Foley ve ark. tarafından minimal invaziv (MIS) TLIF yaklaşımını geliştirmesiyle sonuçlanmıştır (66).

Bu teknikte, hasta genel anestezi altında prone pozisyonda TLIF prosedüründeki gibi hazırlanır. Floroskopi kullanılarak doğru seviye tespit edilir ve orta hattın 3.5–4 cm lateraline 2-3 cm uzunluğunda bilateral cilt insizyonu yapılır. Fasyanın derin tabakası kesilir ve en küçük dilatör multifidus kası ile longissimus kası arasından (wiltse yaklaşımı) faset ekleme kadar sokulur. Dilatörler kullanılarak seri dilatasyon yapılır. Pedikül vidaları cerrahi koridorlardan bilateral yerleştirilir. Fasetektomi hastanın semptomlarının daha fazla olan taraftan yapılır. Diskektomi yapılır. Uç plakların hazırlanması sonrası pedikül vidaların distraksiyonu ile

intervertebral disk mesafesi açılır, lomber lordoz sağlanarak disk mesafesinin ön ve orta bölgesine, transforaminal yolla kafes ve otogreftler kullanılarak füzyon sağlanır. Postoperatif dönemde ağrının az olması, daha erken rehabilitasyon, daha az komplikasyon ve hastanede kalış süresinin kısa olması avantajlarıdır (65, 66).

d. Anterior lomber interbody füzyonu (ALIF)

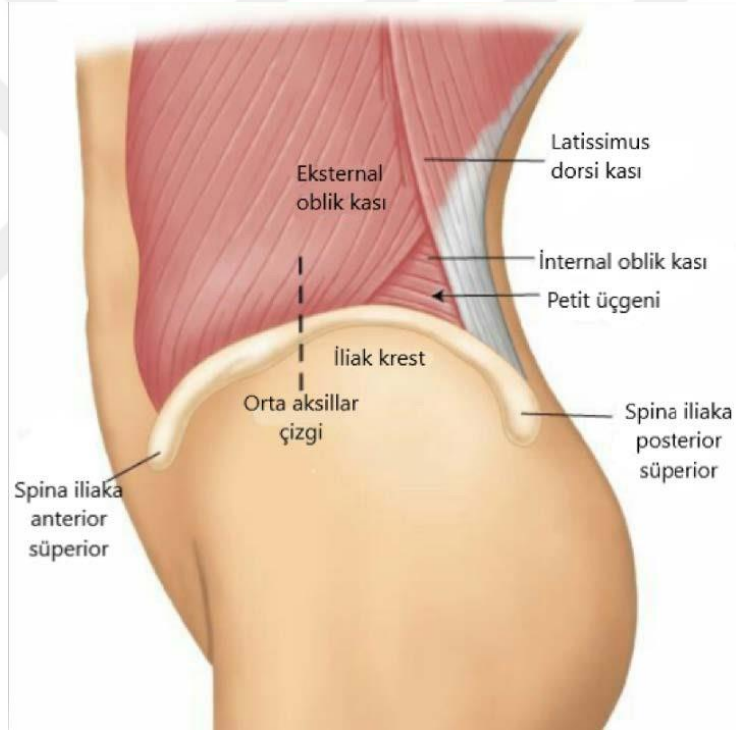
Anterior lomber interbody füzyonu (ALIF), lomber omurgada füzyon sağlamak için anterior yaklaşımını kullanan bir tür spinal füzyon yöntemidir (11). ALIF yöntemi ile retroperitoneal olarak intervertebral aralığa ulaşıp disk kürete edilip interbody füzyon yapılabilir. İntervertebral disk aralığını direk karşıdan gördüğü için yeterli omur uç plaklarının hazırlanmasında ve kafesin uygun pozisyonunda ön tarafa yerleştirilmesinde kolaylık sağlar. Tek seviyeli ALIF te posterior fiksasyon desteği olmadan stabilite sağlanabilirse de genellikle posterior entrumantasyon ilave edilir. Anteriordan uygulanabilen plak vida sistemleriyle de destek sağlanabilir. Dejeneratif disk hastalığı, spondilolistezis ve başarısız posterior füzyonun revizyonunda uygulanabilir. Geçirilmiş batın cerrahisi, iliak damarların kalsifikasyonu, morbid obezite, crohn hastalığı varlığı durumu kontraendikasyon oluşturur (67). Major damarların (aort, vena cava, common iliak damarlar), major sinir pleksusların (hipogastrik pleksus), iç organların yaralanma riski, daha uzun operasyon süresi ve fazla kanama miktarı, revizyonunun daha zor olması, erkeklerde retrograd ejakulasyon görülebilmesi bu yöntemin dezavantajlarıdır.

e. Lateral lomber interbody füzyon (LLIF)

LLIF veya ekstrem lateral interbody füzyon (XLIF) tekniği Özgür ve ark. 2006'da tanımlanmıştır (67). Disk alanına lateral retroperitoneal olarak, transpsoas koridoru vasıtasıyla erişmeyi içerir. LLIF, T12 / L1'den L4 / 5 seviyeleri arasında disk alanına erişim gerektiren koşullar için uygundur. Lateral erişimi engelleyen iliak krestinin yeri ve lumbosakral pleksus nedeniyle, bu teknik L5 / S1 seviyesi için uygun değildir. Ayrıca, lomber omurganın daha üst seviyelerinde, lomber pleksus daha anterior ve iliak damarlar daha lateral olarak ilerler, bu da lateral bir yaklaşımla yaralanma riskini arttırır (67). Hasta, cerrahın tercihinine ve erişim kolaylığına bağlı olarak sol veya sağ lateral dekübit pozisyonunda hazırlanır. (Şekil 23a). Bu teknikte İONM transpsoas disk alanına erişmek için gereklidir (Şekil 23b). Hasta

yerleştirildiğinde diskin pozisyonuna ve açısına bağlı olarak floroskopi diski tam lateralden görecekte şekilde ayarlanır ve küçük bir lateral insizyon yapılır (Şekil 23c) (65).

Retroperitoneal boşluğa erişim, latissimus dorsinin arkası ile eksternal oblik kas arasında kalan ve inferiordan iliak krestte komşu Petit üçgeni ile sağlanır (Şekil 22). Künt parmak diseksiyonu ile transvers proses palpe edilir. Guide teli yardımıyla floroskopi altında hedef disk bulunur. Guide üzerinden gönderilen seri tübüler retraktör ile psoas kası içinden geçilerek çalışma alanı oluşturulur (Şekil 23d-e). Disk aralığı küretler yardımıyla temizlendikten sonra uygun kafes ya da implant yerleştirilir (Şekil 23f). Füzyona mekanik destek sağlamak için minimal invazif girişimle posterior enstrumentasyon eklenir (Şekil 23g-h). LLIF yaklaşımı, tüm dejeneratif endikasyonlar için uygundur (67-68).



Şekil 22. Petit aralığının gösterilmesi (18)



Şekil 23a. Hasta hazırlığı b. İONM kullanımı c. İnsizyon sahasının belirlenmesi d. Tübüler retractor e. Çalışma alanı f. Yerleştirilen kafesin skopi görüntüsü g. Minimal invazif cerrahi ile pedikül vidalarının yerleştirilmesi h. Postoperatif skopi görüntüsü

2.5. İntraoperatif Elektrofizyolojik Nöromonitorizasyon (İONM)

Omurga cerrahisinde İONM'nin amacı ameliyat esnasında omurilik ve sinirlerin elektrofizyolojik bütünlüğü hakkında sürekli bilgi sağlamak ve böylece bir cerrahın iyatrojenik nörolojik defisitleri zamanında önlemesine yardımcı olmaktır (6). İONM aslında hasta genel anestezi altındayken nörolojik muayenenin yerini alır. Cerrahi sırasında nöromüsküler kavşak, periferik sinir, omurilik, beyin sapı ve korteks dahil olmak üzere birçok sinir yapısının değerlendirilmesine olanak sağlar (29).

İONM, omurgadan tümör rezeksiyonu, spinal dekompresyon ve füzyon, deformite cerrahisi, omur kırıklarının ve omuriliğin vasküler cerrahisi gibi çeşitli omurga cerrahilerinde kullanılmaktadır. Bunların dışında akustik nöroma, beyin vasküler cerrahisi, karotis endarterektomi, torasik aorta cerrahisi, parotis ve tiroid cerrahisi, kraniyal ve periferik sinir tümörlerin cerrahisinde de kullanılmaktadır (69).

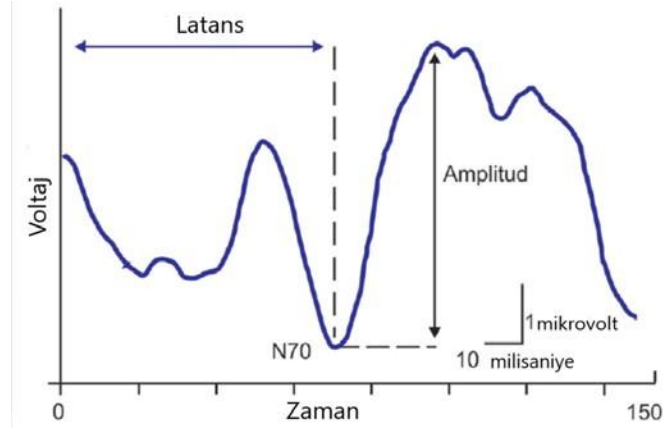
İONM, 1970'lerden beri kullanılmaktadır. Ameliyat sırasında nörolojik hasarı tespit etmek için kullanılan ilk yöntemlerden biri uyandırma testidir (29). Bu testte operasyon sırasında spinal implantların yerleştirilmesinden sonra genel anestezi geçici olarak kesilir ve nörolojik muayene yapılır. Uyandırma testi işlevsel olmasına rağmen teknik olarak zorluklarına ek olarak meydana gelen sorunun tanımlanması da zordur ve beraberinde anesteziye bağlı sorunlar da eşlik edebilmektedir.

Omurga cerrahisinde en sık kullanılan İONM teknikleri şunlardır: somatosensöriyel duysal uyarılmış potansiyeller (SSEP), motor uyarılmış potansiyeller (MEP), pedikül vida simülasyonu ve spontan elektromiyografi (EMG) (6).

Nöromonitorizasyon sırasındaki uyarılmış potansiyel yanıtlarındaki değişiklikler çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Bu faktörler şöyle kategorize edilebilir;

- 1) Cerrahi faktörler
- 2) Farmakolojik faktörler (anestezik ajanlar)
- 3) Fizyolojik faktörler (hipoksi, hipotansiyon, hipotermi, anemi)
- 4) Konumsal faktörler (aşırı baş pozisyonu, periferik sinir sıkışması, omurga fleksiyonu veya ekstansiyonu)
- 5) Teknik faktörler (uyarı elektrot yetmezliği veya yerinden çıkması, ameliyathane ekipmanından elektriksel giriş, stimülasyon ve kayıt elektrotların hatalı yerleştirilmesi) (69)

Uyarı verildikten sonra ilk zirveye kadar geçen süre latans (ms), komşu iki zirve arasındaki fark ise amplitüd (μV) olarak adlandırılır (Şekil 24).



Şekil 24. İONM amplitüd ve latans grafiği

2.5.1 Somatosensöriyel Uyarılmış Potansiyel (SSEP)

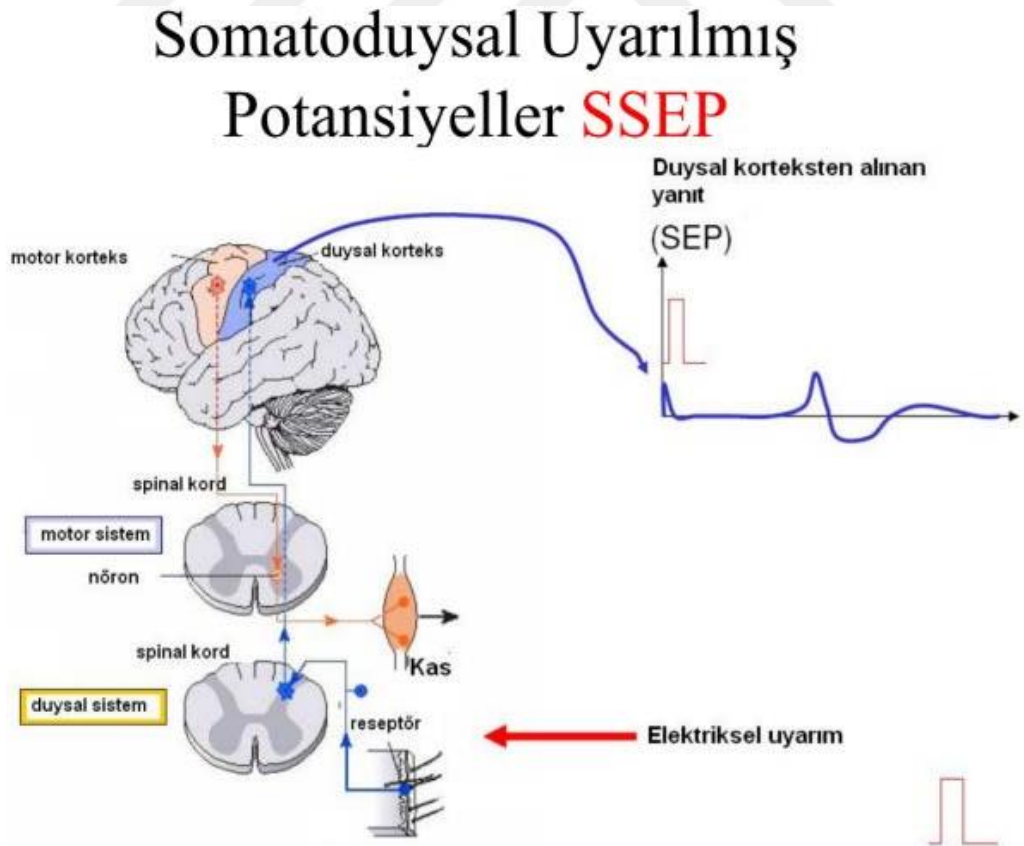
SSEP'ler ilk olarak 1947'de periferik sinirlerin stimüle edilmesi ve somatosensöriyel korteks üzerindeki tepkilerin kaydedilmesiyle kullanılmıştır (70). 1974 yılında Nash ve ark. omurga cerrahisi sırasında İONM amaçlı SSEP kullandıklarını bildirmişlerdir (71). SSEP uzun yıllardır omurga cerrahisinin nörofizyolojik değerlendirmesinde en yaygın kullanılan monitorizasyon yöntemi olmuştur (72-75). Ekstremitelerden verilen distal uyarılar kafa veya arka boyun derisindeki elektrotlar yoluyla kaydedilir. Uyarı için alt ekstremitede en sık tibial ve peroneal, üst ekstremitede için median ve ulnar sinirler kullanılır. SSEP'ler iki nokta ayrımı, titreşim ve proprioseptif hissine aracılık eden dorsal kolon-medial lemniscus yolağını hakkında bilgi verir (76) (Şekil 25). Omurga cerrahisi sırasında olası bir iyatrojenik nörolojik defisiti gösterme açısından alarm kriterleri henüz yayınlarda fikir birliği olmasa da SSEP amplitüdlerinde bazale göre %50'den fazla düşme ve/veya latensta %10'un üzerinde uzamadır. Yapılan yayınlarda omurga cerrahisinde SSEP kullanımı için yüksek spesifite (%95-100) ile birlikte düşük sensivite (%0-52) bildirilmiştir (77).

Omurga cerrahisinde SSEP'nin kullanımının bazı dezavantajları vardır bunlardan birisi doğrudan kortikospinal aktiviteyi izlememesidir (72). Aslında SSEP'ler duyusal bir yolak hakkında bilgi verir ve bu bilginin omurga cerrahisinde kullanımında motor yolakları da yansıttığı kabul edilir. Bu nedenle SSEP'ler, kortikospinal sistem yaralanmasında yanlış negatif sonuçlar verebilir. Örneğin kortikospinal yolağın fokal zedelenmesine sebep olan anterior spinal arter sendromunda SSEP amplitüdlerinde değişim olmayabilir. Omurga cerrahisi sonrasında nörolojik iyatrojenik hasar gelişmiş (paraparezi gibi) bazı hastaların İONM sırasında SSEP amplitüdlerinin normal seyrettiği görülmüştür (77). İkinci dezavantaj SSEP'ler sıcaklık

ve kan basıncının yanı sıra çeşitli anesteziye karşı çok hassas olmasıdır (78-80). Kas gevşeticilerin genellikle SSEP üzerinde etkisinin olmadığı düşünülmektedir (78).

Üçüncü ve çok önemli bir dezavantaj ise SSEP'nin periferden verilen uyarının kortikal sumasyonu sonucu uyarıların bir ortalamasını yansıtmasıdır. Bu nedenle akut oluşan bir değişiklik SSEP hemen değişikliğe yol açmaz. SSEP ve MEP modalitelerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada akut bir değişiklik sonrası SSEP'de değişiklik oluşmasının MEP'de oluşan değişiklikten sonra 16 dakikaya kadar uzayabildiğini göstermiştir. Bu nedenle cerrahi sırasında SSEP'de alarm kriterlerini karşılayan bir değişiklik olduğunda, çok daha önceden kalıcı nörolojik defisit gelişmiş olabilir. Buna ek olarak SSEP sinir kökü hasarını belirlemede yetersiz bulunmuştur, SSEP'nin kullanımıyla omurga cerrahisinde, yanlış vida yerleşimi veya sinir kökü traksiyonu hakkında bilgi alınamayabilir (77).

Özet olarak doğrudan motor yolların izlenememesi, gecikmiş yanıtın olması, motor defisit için sensitivitesinin düşük olması ve anterior spinal arter yaralanmasında değerlerin değişmeden kalabilmesi dezavantajlarıdır (77). Yaygın olarak kullanılması ve ucuz olması, vaka süresince devamlı izlem sağlama, spesifitesinin %100'lere yakın olması, nöromusküler blok yapan ajanlarla birlikte kullanılabilmesi ise avantajları olarak sayılabilir.



Şekil 25. SSEP yolağının şematik gösterimi

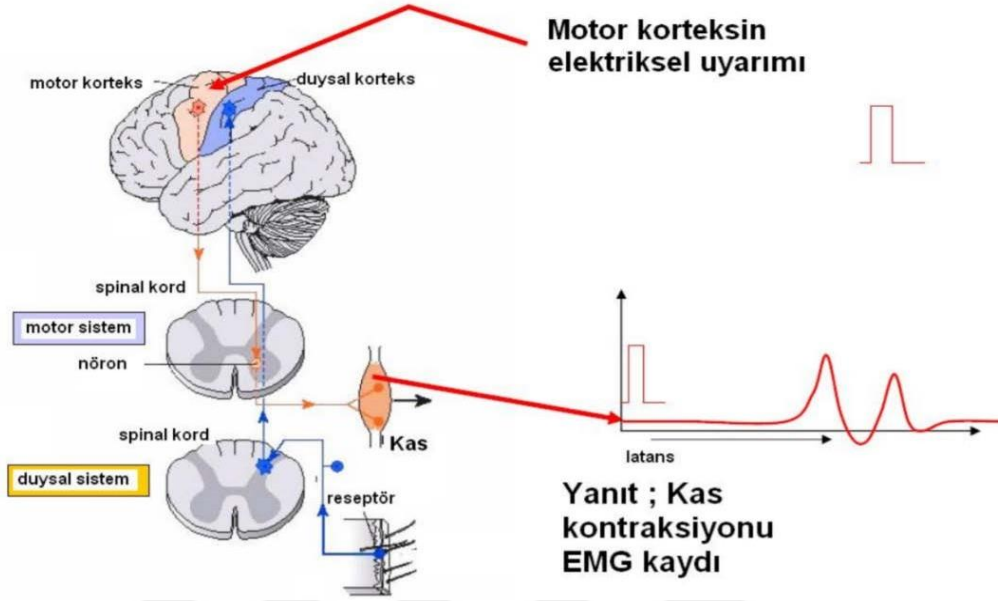
2.5.2. Motor Uyarılmış Potansiyel (MEP)

İnsan korteksinin direk olarak uyarılmasıyla aktivasyonu ilk defa 1937 yılında gösterilmiş olsa da (81), ancak 1980’de kortikal stimülasyonun kullanılarak uyarıların kaydedilmesi mümkün olmuştur (82). Bu teknik daha sonra motor kortikospinal yolağın intraoperatif izlenmesini sağlayacak şekilde uyarlanmıştır (69).

Kortikospinal yolun doğrudan izlenmesinin mümkün olması SSEP’nin bulunmasından ancak birkaç yıl sonra mümkün olmuştur (83). MEP’ler transkraniyal uyarının periferde kaslara yerleştirilen elektrotlar ile elektromiyografik olarak ölçülmesiyle elde edilir. Motor korteks, medulla spinalis, sinir kökleri ve periferik sinirler dahil olmak üzere tüm motor yolağın değerlendirilmesine izin verir (77, 83). Cerrahi sırasında anlık verilen uyarılarla ölçülebilmesi ve periferik sinirlerin izlenmesindeki başarısı özellikle SSEP’ye olan üstünlükleridir. MEP’lerin izlenmesinde kayıtlar genellikle birden fazla üst ve alt ekstremitte kaslarına yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla yapılır. Günümüzde genellikle 6 kastan izlem yapılır, çalışmalarda 6 kastan yapılan izlemin, 2 kasa göre daha sensitif olduğu bildirilmiştir. MEP amplitüdlerinin ölçülmesi hem iyatrojenik hasarı hem mekanik hem de iskemik olarak saptamada SSEP’ye göre daha sensitiftir. Yapılan çalışmalarda sensitivitesi %75-100 ve spesifitesi %84-100 arasında bulunmuştur (77).

Elektrotlar aracılığıyla transkraniyal olarak verilen uyarının ekstremitte kaslarından alınmaya kadar izlediği yola anatomik olarak bakıldığında, primer motor korteks olan Brodmann 4 bölgesinden başlar. Üst motor nöronların aksonları iç kapsülün içinden geçer ve medulla ulaşmadan önce orta beyin ve ponslardan aşağı iner. Medulla oblongatada, liflerin yaklaşık %80-90’ı omuriliğin karşı tarafına geçer ve lateral kortikospinal yolak ismini alarak alır. Bu lif demetleri ön boynuzlardaki alt motornöronları ile sinaps ettiği için kademeli olarak küçülür. Çapraz geçmeyen liflerin geri kalan %10-20’si, omuriliğin ön kortikospinal yolak ismini alır ve bu iki yolak ön boynuzlarda bulunan ve kasları inerve eden alt motornöronlarına ulaşır (Şekil 26) (84).

Motor Uyarılmış Potansiyeller **MEP** (Transkranyal, Direk Kortikal)



Şekil 26. MEP yolağının şematik gösterimi

Uyarıcı elektrotlar tipik olarak, alt ekstremitayı temsil eden motor kortekse yakın olan 10-20 EEG sistemindeki C1 ve C2 konumlarına yerleştirilir ve bir dizi uyarılar verilir. Her dizide 4-13 uyarı vardır. Bu uyarılar, 70-900 V ve maksimum akımları 0,8-0,9 A arasında değişir. Uyarılar 50-500 msn sürer ve 150-500 Hertz frekans aralığındadır.

Günümüzde omurga cerrahisinde MEP, SSEP yöntemine göre nörofizyolojik izlemde üstün sayılsa da MEP'in de bazı dezavantajları mevcuttur. Özellikle yöntem ilk çıktığında inhaler anesteziğin MEP amplitüdü üzerine çok büyük bir etkisi mevcuttu. Bu problem uyarının daha düşük voltajlarla yüksek frekanslı hale getirilmesiyle ve IV anestezi protokollerine geçişle anesteziğe karşı duyarlılık bir ölçüde azalmıştır.

Her ne kadar hayvan deneylerinde periferik sinirlerin spinal korda göre, korteksten gelen uyarıları yansıtmakta ya da anestezi gibi faktörlerden etkilenme konusunda daha duyarlı olduğu gösterilmiş olsa da (85), periferik sinir hasarı MEP ile değerlendirildiği çalışmalarda ölçümün yapıldığı kasın inervasyonuna katılan periferik sinirler arasında kesin bir ayırım yapılamaması (radiküler örtüşme) bir zorluk oluşturmuştur (83, 86). Buna rağmen MEP, SSEP'ye göre motor yolağı gösterebilmesi bakımından periferik sinir incelenmesinde çok daha başarılıdır. Tek

başına periferik sinirin değerlendirilmesi istendiğinde sinirin ucundan ucuna ölçüm yapılan sinir aksiyon potansiyeli (NAP) ölçümü tekniği tercih edilebilir (87).

Yapılan çalışmalarda MEP amplitüdlerindeki değişiklikler değerlendirilirken 3 adet alarm kriteri göz önünde tutulur. Birincisi kortikospinal yolakta hasar olduğunda, bir kas MEP elde etmek için gereken uyaran eşik değerinin artması durumuna dayanır. Tipik olarak, bir kas MEP'si elde etmek için eşik değerinde 100 mV'dan daha fazla artışlar, erken bir yaralanma işareti olarak kabul edilir (76). İkincisi, amplitüd değerindeki düşme yüzdesini değerlendirir. Çoğu klinik çalışma alarm kriteri olarak MEP amplitüddeki %50 düşmeyi belirlemiştir, bazı çalışmalar amplitüddeki %60, %65, %80 düşmeyi alarm kriteri olarak almış (8-9,74). Üçüncüsü MEP uyarısı alınamaması durumundadır (77). Bu duruma örnek olarak kliniğimizden 73 yaşında dejeneratif L4-5 spondilolistezis tanısı ile L4-L5 TLIF prosedürü ve L3-L5 arası seviyelere posterior enstrümantasyon uygulanan bir kadın hastada; sağ L4 pedikül vidasının değişiminden sonra sağ tibialis anterior MEP amplitüd değerinin 1989 µV'dan 18,5 µV'a düştüğü görülmüştür. Ameliyat esnasında karşılaştığımız bu durum İONM 'nin cerraha hızlı bilgi vererek nörolojik araz gelişmesini engellemede faydalı olduğunu göstermektedir.

Genel olarak bakıldığında MEP iyatrojenik hasarı erken saptaması, anlık verilen uyarılan takip edilebilmesi, kortikospinal yolun direk izlenmesine olanak sağlanması ve özellikle periferik sinirler hakkında da bilgi vermesi nedeniyle günümüzde omurga cerrahisinin nörofizyolojik izlenmesinde altın standarttır.

2.5.3. Anestezik Maddelerin İONM'ye Olan Etkisi

İONM seçilen operasyon için seçilen anestezik ajan çeşidi ve bunun uygulanma yönteminden etkilenir. İnhaler ve intravenöz anestezik ajanlar, nöral sinaptik ve aksonal fonksiyonel aktiviteler üzerinde etkilidir. Çoğu anestezik ajan sinaptik aktivitede doza bağımlı depresyon oluşturarak nöral fonksiyonu değiştirir. Genel olarak, inhaler ajanlar tüm nöromonitör modalitelerini intravenöz (IV) anestezik ajanlara göre daha fazla etkiler. Nöromonitör değerlerinde dalgalanmayı önlemek için anestezi seviyesini sabit tutmak önemlidir (78,79).

Halojenli inhaler ajanlar (Desfluran, sevofluran ve izofluran), doza bağımlı olarak latansı artırır ve amplitüdü baskılar. MEP üzerine etkileri SSEP'den daha belirgindir. 0.5 minimum alveolar konsantrasyon (MAC) üzerinde MEP değerleri güvenilir değildir.

Azot oksit, tek başına kullanıldığında amplitüdü azaltır ve dalga morfolojisini değiştirmeden latansı artırır. Halojenli inhaler anesteziklerle kullanıldığında bu etkisi artar

Opioidler (fentanil, alfentanil, sufentanil and remifentanil), analjezik etki gösterir ve intravenöz olarak uygulanır. Amplitüd ve latans üzerinde etkileri inhaler ajanlara göre düşüktür.

Propofol, indüksiyon ve anestezinin devamında sık kullanılır. TİVA'da en sık tercih edilen ajandır. Hızlı titre olur. Kesildiğinde etkisi çabuk geçer. Yüksek dozlarda MEP'i baskılar.

Ketamin analjezik olarak etki eder. Diğer anestezi ajanlarının aksine amplitüdü ve latansı artırır. TİVA ile kombine edilebilir. Halüsinasyona neden olur. Kafa içi basıncı artırır.

Barbitüratlar (tiyopental, fenobarbital), yüksek dozlarda dahi SSEP cevabını değiştirmez ama MEP cevapları oldukça duyarlıdır.

Nöromusküler blokör ilaçlar (roküronyum veya veküronyum), entübasyon esnasında kas gevşetici olarak kullanılırlar. SSEP üzerinde etkileri az olmasına rağmen, MEP'i belirgin baskılar (78-80).

İONM'deki mevcut **altın standart** anestezi şekli, hipnotik olarak propofol ve analjezik olarak remifentanil, sufentanil veya ketamin ile nöromusküler blok içermeyen TİVA'dır (80).

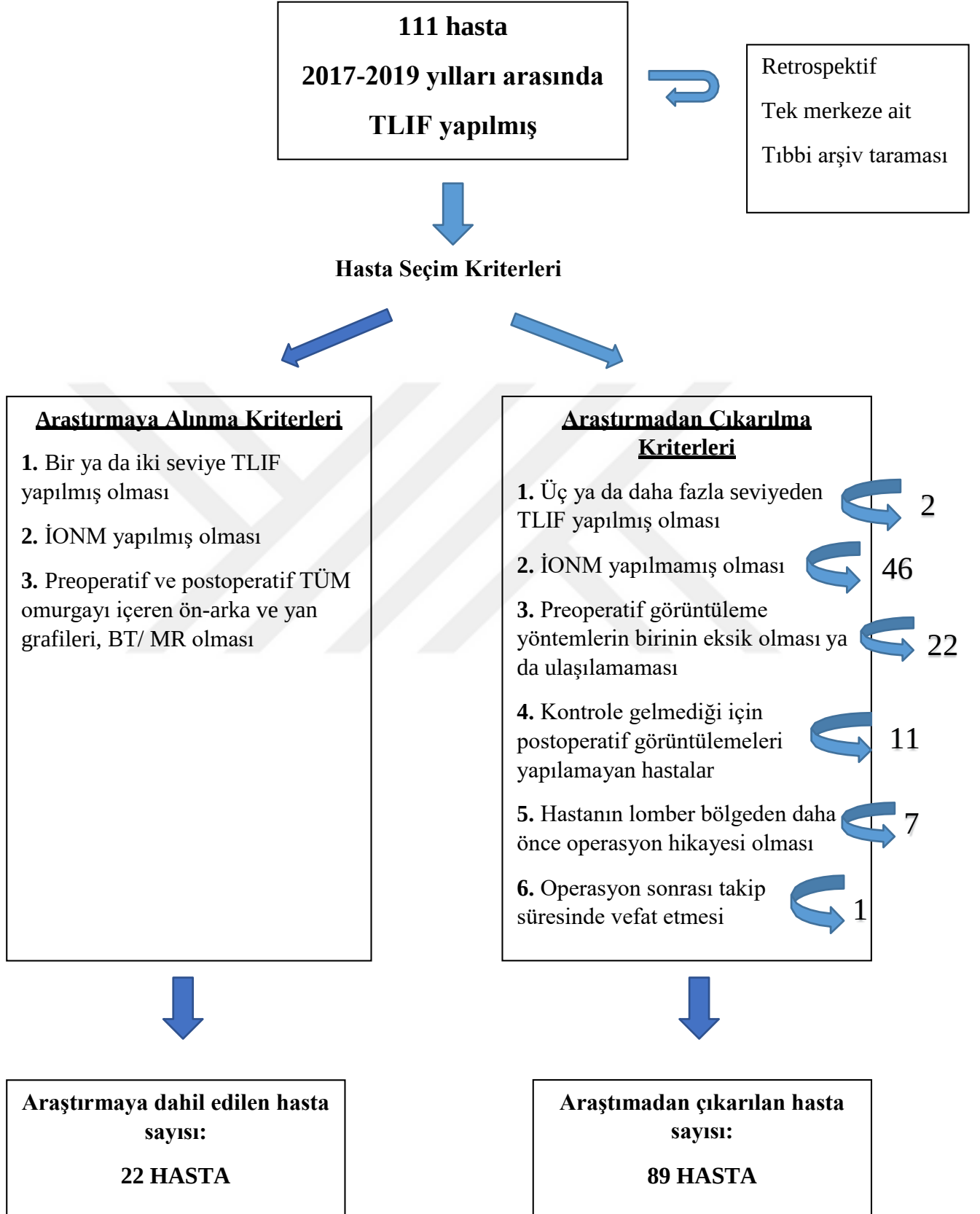
HASTALAR VE YÖNTEM

3.1. Hasta Seçimi

Çalışmaya dahil edilecek hastaların seçilmesinde ve değerlendirilmelerinde İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı arşivleri tarandı. Kliniğimizde 2017-2019 tarihleri arasında TLIF ameliyatı olan 111 hasta tespit edildi. Çalışmaya dahil edilme kriterlerine uygun 22 hastanın retrospektif kohort çalışması yapıldı. Bu hastaların preoperatif ve postoperatif değerlendirilmesinde tüm omurgayı içeren ön-arka ve yan grafilere, lumbosakral BT ve/veya MR görüntülemeleri mevcuttu. Hastanın cerrahisi aynı ekip tarafından standart ameliyat tekniği ile uygulandı. Bir ya da en fazla iki seviyeden TLIF uygulandı. Hastaların hepsinin operasyonlarında İONM uygulandı. İONM için NIM Eclipse® (Medtronic, Medtronic Inc., Jacksonville, FL) cihazı kullanıldı.

Hastaların çalışmaya dahil edilme, çalışmadan çıkarılma kriterleri ve sayıları çalışma akış şeması halinde Tablo 5’de detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Tablo 5. Çalışma Akış Şeması



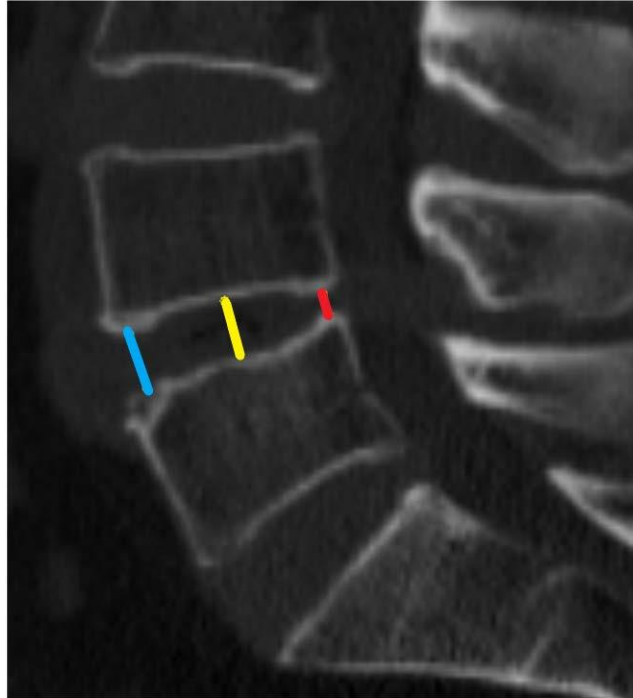
3.2. Radyomorfolojik parametreler

Radyolojik değerlerin ölçümü için “Extreme PACS (Picture Archival and Communications System)” programı kullanıldı.

Ön disk yüksekliği: Lumbosakral BT kesitlerinde koronal planda orta hatta iken sagittal kesitlerde ölçülen önde üst ve alt uç plakların arasındaki mesafenin mm cinsinden değeri ölçüldü (Şekil 27).

Orta disk yüksekliği: Lumbosakral BT kesitlerinde koronal planda orta hatta iken sagittal kesitlerde ölçülen ortada üst ve alt uç plakların arasındaki mesafenin mm cinsinden değeri ölçüldü (Şekil 27).

Arka disk yüksekliği: Lumbosakral BT kesitlerinde koronal planda orta hatta iken sagittal kesitlerde ölçülen arkada üst ve alt uç plakların arasındaki mesafenin mm cinsinden değeri ölçüldü (Şekil 27).



Şekil 27. BT üzerinde ön (mavi), orta (sarı) ve arka (kırmızı) disk yüksekliklerinin gösterilmesi

Foraminal yükseklik: Lumbosakral BT kesitlerinde üst omur pedikülünün alt kenarı ile alt omur pedikülünün üst kenarı arasındaki maksimum mesafe (mm) ölçüldü (Şekil 28).

Foraminal alan: Lumbosakral BT üzerinde sagittal kesitlerde foramenin en geniş alanı (mm²) ölçüldü. (Şekil 28).

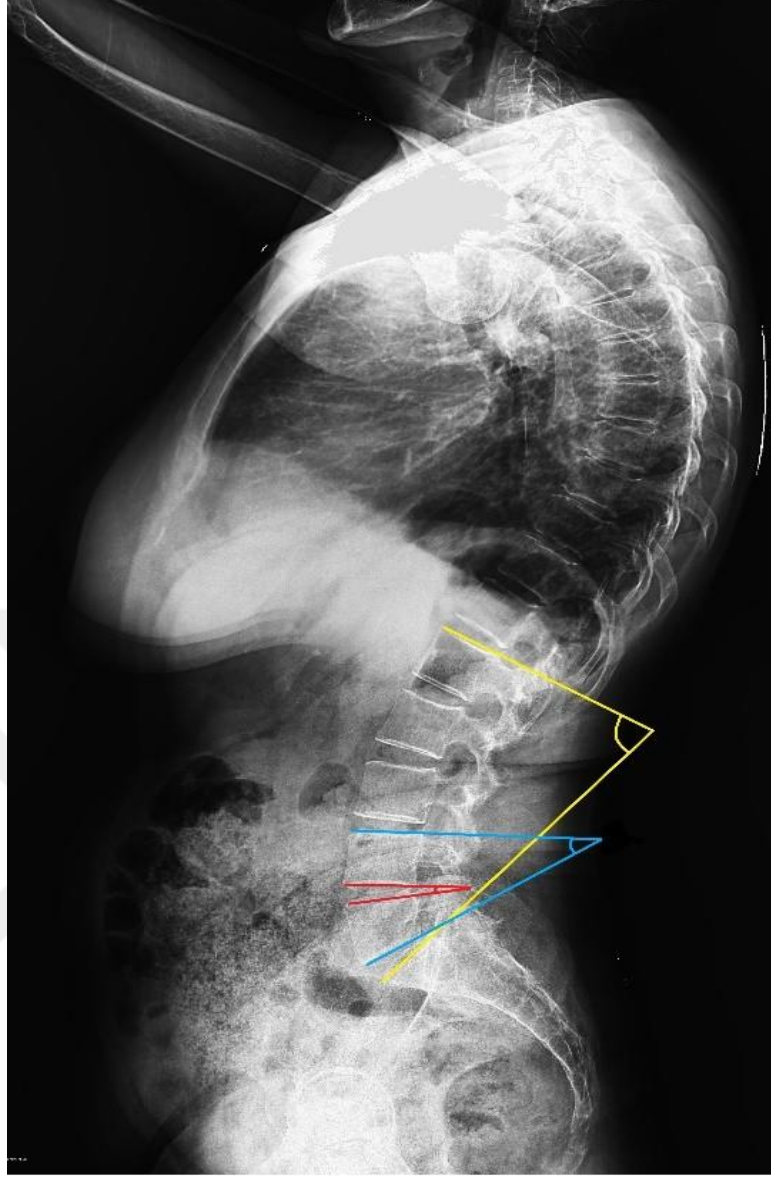


Şekil 28. BT üzerinde foraminal yükseklik (sarı) ve foraminal alanın (kırmızı) gösterilmesi

LLA: Yan grafi üzerinde L1 ve S1 omur üst uç plaklarına teğet çizilen çizgiler arasında kalan açı ölçüldü (Şekil 29).

SLA: Yan grafi üzerinde diske komşu olan üstteki omurun üst uç plağı ve alttaki omurun alt uç plağına teğet çizilen çizgiler arasında kalan açı ölçüldü (Şekil 29).

SDA: Yan grafi üzerinde diske komşu olan üstteki omurun alt uç plağı ve alttaki omurun üst uç plağına teğet çizilen çizgiler arasında kalan açı ölçüldü (Şekil 29).

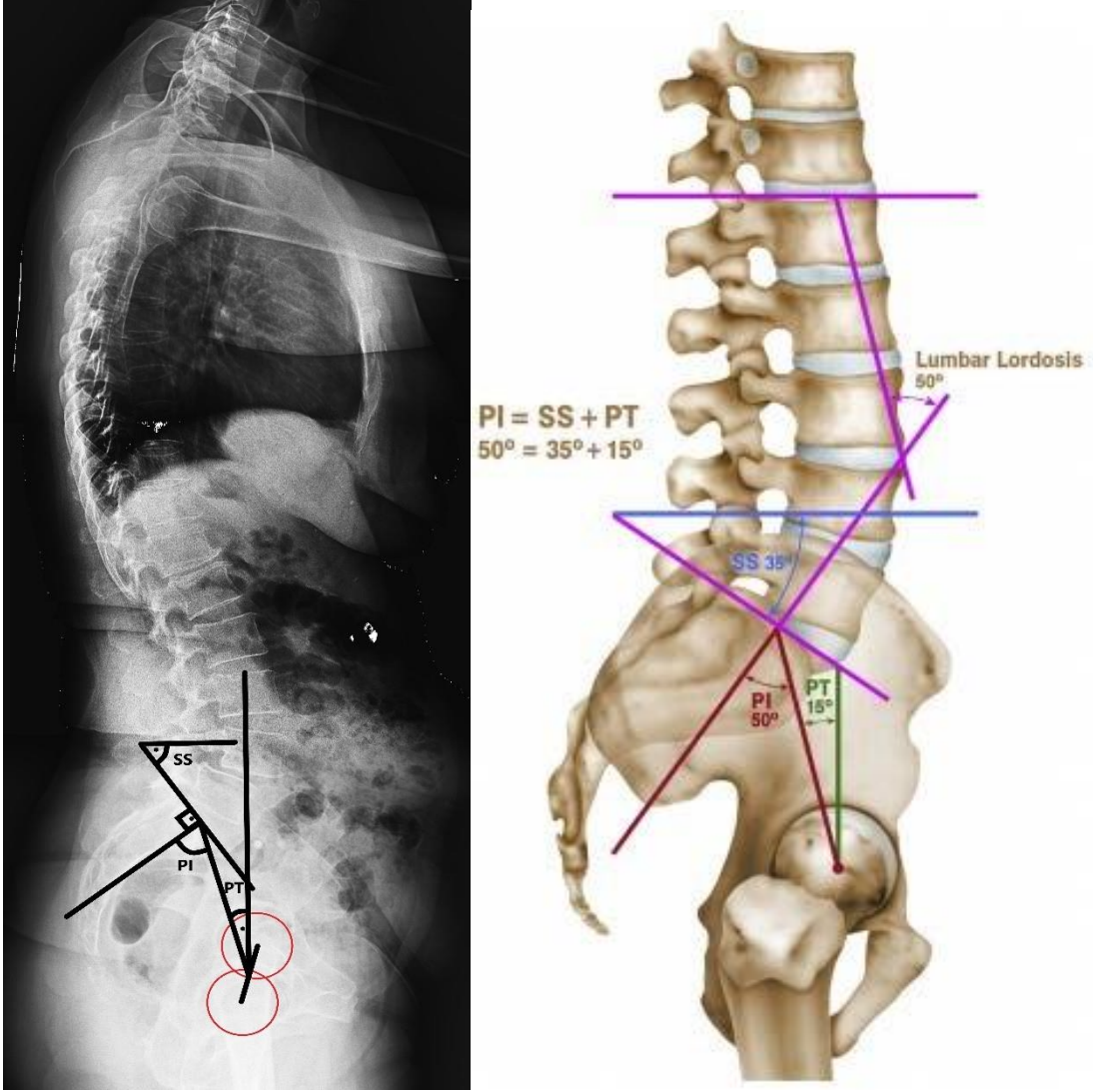


Şekil 29. Tüm omurgayı içeren yan grafide LLA (sarı), SLA (mavi), SDA'nın (kırmızı) gösterilmesi

PI: Yan grafi üzerinde femur başının orta noktasından sakral uç plak orta noktasına çekilen çizgiyle sakral uç plağa teğet geçen çizgiye dik çekilen çizginin arasında kalan açı ölçüldü (Şekil 30a-b). SS+PT değerine karşılık gelir.

SS: Yan grafi üzerinde horizontal düzlem ile S1 uç plağına teğet geçen çizgi arasındaki açı ölçüldü (Şekil 30a-b).

PT: Yan grafi üzerinde femur başının orta noktasından çizilen vertikal çizgi ile aynı noktadan sakral uç plak orta noktasına çizilen çizgi arasında kalan açı ölçüldü (Şekil 30a-b).



**Şekil 30a. SS, PT ve PI açılarının tüm omurgayı içeren yan grafi üzerinde gösterilmesi
b.Şematik gösterilmesi (SS, sakral slope; PT, pelvik tilt; PI, pelvik insidans)**

GAP skoru: Relatif pelvik version (RPV) + Relatif lomber lordoz (RLL) + Lordoz dağılım indeksi (LDI) + Relatif spinopelvik dizilim (RSA)+ Yaş faktörü (>60, +1) şeklinde hesaplanır. Bu skorun komponentleri aşağıda açıklanmıştır;

1) **RPV:** Hesaplanan- İdeal SS

İdeal SS: $PI \times 0,59 + 9$

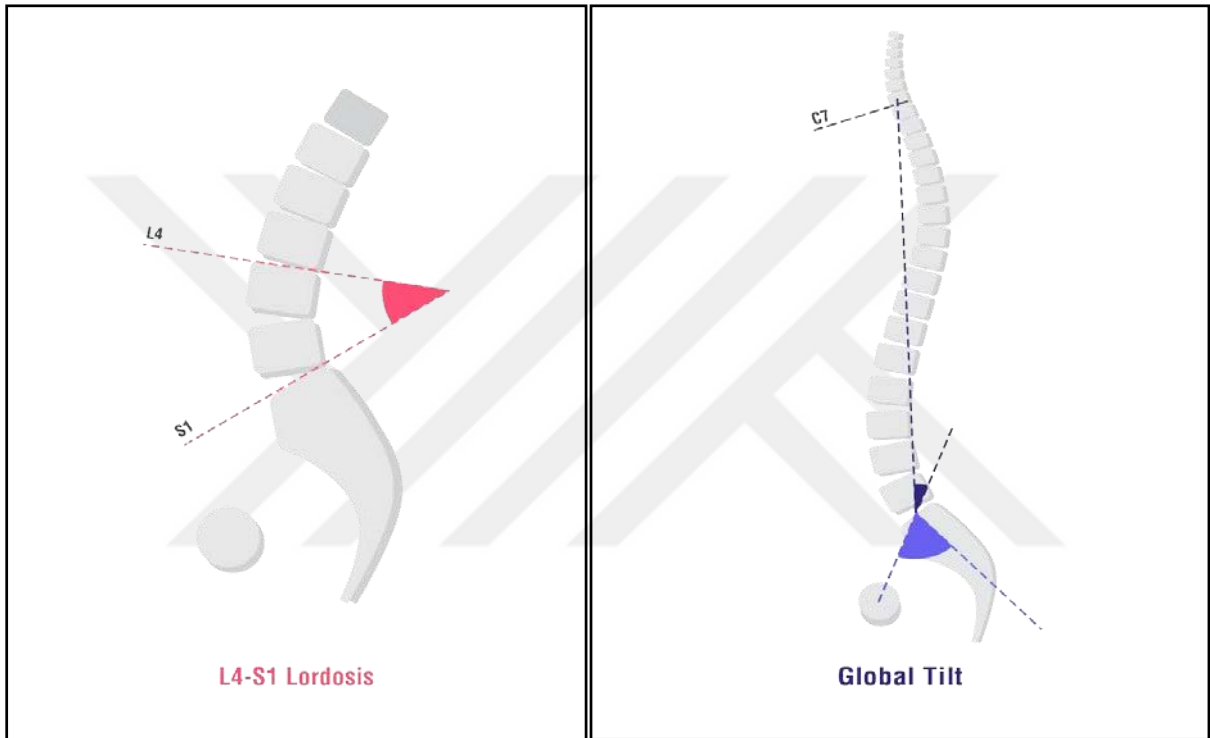
2) **RLL:** Hesaplanan-İdeal LL

$$\text{İdeal LL: } PI \times 0,62 + 29$$

3) **LDI:** L4/S1 lordozu / L1-S1 lordozu X100 (Şekil 31a)

4) **RSA:** Hesaplanan- İdeal global tilt (Şekil 31b)

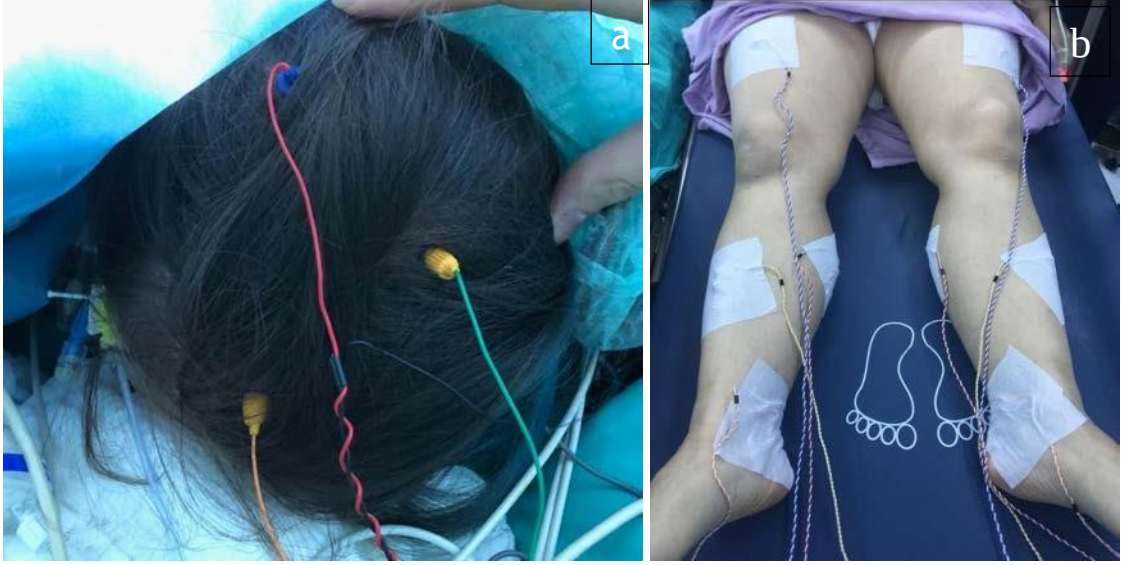
$$\text{İdeal global tilt: } PI \times 0,48 + 15$$



Şekil 31a. L4/S1 lordozun şematik gösterimi b. Global tiltin şematik gösterimi

3.3. İONM Hazırlığı

MEP stimülasyonu için elektrodlar kafatasının kulak hizasında orta hatta doğru her iki kulağın yaklaşık 7 cm yukarısına (10-20 EEG sisteminde standart C1 ve C2 pozisyonları) yerleştirildi (Şekil 32a). Transkraniyal stimülasyon ile uyarılan MEP aktivitesi, rektus femoris, tibialis anterior, ekstensor hallucis longus ve medial gastrokinemius kaslarında yaklaşık 4-6 cm aralıklarla yerleştirilen subdermal iğne elektrotları yerleştirildi (Şekil 31b). İONM için NIM Eclipse® (Medtronic, Medtronic Inc., Jacksonville, FL) cihazı kullanıldı.



Şekil 32a. Kafa elektrotlarının yerleştirilmesi b. Alt ekstremitte elektrotlarının yerleştirilmesi

Anestezi protokolü;

Tüm hastalar genel anestezi altında hazırlandı. Cerrahi prosedür IONM eşliğinde yapılacağı için hastalara TİVA protokolü uygulandı. İndüksiyon fazında amnezi ve sedasyon için midazolam 0,05 mg/kg dozunda uygulandı. Fentanil 2-3 mcg/kg ile narkotik analjezisi ve propofol 3 mg/kg ile hipnotik anestezi ve 0.6 mg/kg rokuronyum ile kısa süreli kas gevşemesi sağlandı ve indüksiyon tamamlandı. Fentanil (0.05-0.2 mcg/kg/dk) ve propofol (75-300 mcg/kg/sa) infüzyonu ile anestezinin idamesi sağlandı.

3.4. Cerrahi Teknik

Hasta genel anestezi altında prone pozisyonda bası yapabilecek noktalara yastıkçıklar konularak radyolusen ameliyat masasında hazırlandı. Konulan yastıkçıklarla aynı zamanda batin rahatlatılır. Bu şekilde batin içi basınç azalır ve epidural venöz pleksusta basınç düşürülmesi sağlanarak kanama azaltılır. Hastayı düz veya kifotik bir pozisyona yerleştirmekten kaçınmalıdır, çünkü hastanın bu fizyolojik olmayan pozisyonda füzyonu gerçekleştirilebilir. İstenilen lordozun sağlanması, pozisyonlama sırasında maksimum kalça ekstansiyonu ile gerçekleştirildi. İnsizyon öncesinde uyarı verilerek başlangıç MEP değerleri kaydedildi.

Spinöz çıkıntılar üzerinden standart orta hat insizyonu uygulandı. Yağ doku ve lumbosakral fasya geçildi. Subperiostal olarak paraspinal kaslar ve yumuşak dokular laterale çekilerek spinöz çıkıntı, lamina, faset eklem ve transvers çıkıntılar ekspozite edildi. Floroskopi

kullanılarak işlem seviyesi kontrolü yapıldı. Faset eklem bistüri yardımıyla açıldı ve alt faset osteotom yardımıyla çıkartıldı. Transpediküler vidalar bilateral yerleştirildi ve bilateral rod konuldu. Dekompresyon ve diskektomi öncesi MEP değerleri kaydedildi.

Kalan üst faset Kerrison ronjür yardımıyla eksize edildi. Böylece sinir kökünün, tekal kesenin ve diskin doğru tanımlanması mümkün olabilir. Distraktör ile disk aralığı açıldı. TLIF çalışma bölgesinin sınırları, medialde dural kese ve travers sinirdir, üstte çıkan sinir kökü, aşağıda alt vertebranın pedikülü ve lateralde ekstraforaminal alandır. Anulus fibrozus bistüri yardımıyla penetre edildi. Küret ve punch ile diskektomi uygulandı. Vertebra uç plakları küret ve shaver yardımıyla hazırlandı. Kademeli distraksiyonlar deneme kafesi sıkı şekilde oturuncaya kadar devam ettirildi. Distraksiyon sonrasında kafes 1 mm aralıklarla 7 mmden başlayarak artırıldı. Belirli bir sıklığa gelince MEP değerleri tekrar değerlendirildi. MEP değerlerinde yükselme elde edilince gerçek kafes boyu hesaplandı. İliak kanat ve çıkan kemik parçalarından hazırlanan otogreft ve allogreftin bir kısmı greft itici ile anteriora yerleştirildi. Greftle doldurulmuş PEEK ya da titanyum kafes transforaminal yoldan intervertebral aralığın olabildiğince ön ve orta hattına yerleştirildi. Füzyon ve stabiliteyi arttırmak için kafes kemik-kemik yüzeye oturtmaya çalışıldı. Vida ve kafes yerleşimini doğrulamak için lateral ve anteroposterior floroskopi kullanıldı. Elde edilmek istenilen lordoz açısına bağlı olarak kafesin yerleşim yeri ve posterior kompresyon belirlendi. Peroperatif çekilen yan grafi ile lordoz ölçümü ile kontrolü yapıldı. Kafesin yerleşiminin uygun olması durumunda posteriordan rodlar her iki taraftan da komprese edilerek kilitlendi. Rodlar kilitlendikten sonra MEP değerleri alındı. Dekortike edilen faset, lamina, spinöz çıkıntılar ve chips greft rodların latereline yerleştirilerek posterolateral füzyon uygulandı. Bir adet diren konularak fasya, yağ tabaka ve cilt uygun biçimde kapatıldı.

3.5. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

Hastaların operasyon sırasındaki yaşları, cinsiyetleri, tanıları, TLIF uygulanan seviye ya da seviyeleri, kullanılan kafes yükseklikleri kaydedildi. Çalışmaya dahil edilen hastaların tümünde insizyondan önce, pedikül vidaları yerleştirildikten sonra ve kafes yerleştirildikten sonra rektus femoris, tibialis anterior, ekstansör hallusis longus ve gastrokinemiustan ölçülen MEP'ler μV cinsinden kaydedildi. Pedikül vidaları yerleştirildikten sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki ölçülen MEP amplitüdlerinin değişimi, nöromonitörizasyon cihazıyla (NIM Eclipse®) (Medtronic, Medtronic Inc., Jacksonville, FL) yaş, cinsiyet, kilo ve anestezi

süresi gibi düzeltme faktörleri kullanılarak sayısal olarak ve % cinsinden hesaplandı ve kaydedildi.

Hastaların “radyolojik parametreler” bölümünde anlatıldığı şekilde BT üzerinden preoperatif ön, orta ve arka disk yükseklikleri, dekompresyon yapılan tarafın ve kontralateral tarafın foraminal yükseklik ve alanları hesaplandı. Tüm omurgayı içeren direk grafiler üzerinden preoperatif ve postoperatif LLA, SLA, SDA, SS, PT, PI, TPA, T1-SPi açıları hesaplandı. Hastaların postoperatif BT’leri arasında ameliyattan sonra geçen süre açısından heterojenite olmakla birlikte, açı ölçümlerinin yapıldığı direk grafilerin hepsi servise yatış sonrasında preoperatif ve postoperatif 1. hafta içerisinde çekilmişti. Hastaların preoperatif ve postoperatif tüm ölçümlerinin farkları ve değişim yüzdeleri hesaplandı.

3.6. İstatiksel İncelemeler

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için NCSS (Number Cruncher Statistical System) 2007 Statistical Software (NCSS LLC, Kaysville, Utah, USA) programı kullanıldı. Çalışma verileri değerlendirilirken tanımlayıcı istatistiksel metodların (ortalama, standart sapma, medyan, sıklık ve oran) yanı sıra preoperatif ve postoperatif dönem arasında değişen parametrelerden MEP ile kafes yüksekliği, ön, orta ve arka disk yükseklikleri, dekompresyon yapılan tarafın ve kontralateral tarafın foraminal yükseklik ve alanları gibi niceliksel verilerin karşılaştırılmasında bir hastada birden fazla seviyede ölçüm alındığından hem tekrarlayan ölçümlerin olması hem de farklı seviyeleri olan hastaların bulunması sebebiyle değerlendirmelerin Generalized Linear Mixed Model (GLMM) analizi kullanılmıştır. Pos Hoc değerlendirmeler Bonferroni düzeltmeli test ile değerlendirilmiştir.

Sonuçlar %95’lik güven aralığında, anlamlılık $p < 0.05$ düzeyinde değerlendirildi.

IV. BULGULAR

Çalışmamıza 2017-2019 tarihleri arasında İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı'nda TLIF ameliyatı sırasında İONM yapılan %13,6'sı (n=3) erkek, %86,3'ü (n=19) kadın olmak üzere toplam 22 hasta dahil edildi (Şekil 33). Çalışmamızdaki hastaların yaşları 37 ile 78 yaş aralığında değişmekte olup ortalaması 61,90±8,89 yıldır

Bu hastalara 10'u tek seviyeden ve 12'si 2 seviyeden olmak üzere toplam 34 farklı seviyeden TLIF uygulanmıştır (Tablo 6-7). Ameliyatta kullanılan kafes yükseklikleri (n=34) ortalama 10,26±1,37 mm (min:8-mak:14, medyan 10 mm) olarak hesaplanmıştır. MEP amplitüd değerlerindeki değişim (pedikül vidaları yerleştirildikten sonra- kafes yerleştirildikten sonra yapılan ölçümler arası) % 27,27±11,09 (min:%15 ve mak:%50) olup artış yönündedir (Tablo 6).

Tablo 6. Hastaların genel demografik ve operatif özellikleri

No	C	Yaş	Tanı	Kafes yüksekliği (mm)	Seviyeler	1. Ölçüm (µV)	2. Ölçüm (µV)	3. Ölçüm (µV)	MEP artışı (%)
1	K	37	Spinal stenoz	10 / 12	L4-L5 / L5-S1	1073	1455	1550	25
2	K	59	DDH	8	L3-L4	52	95	101	40
3	E	57	Spinal stenoz	11 / 11	L4-L5 / L5-S1	1214	1618	1923	40
4	K	53	Spinal stenoz	9 / 12	L2-L3 / L3-L4	1740	1830	2033	15
5	K	50	Spinal stenoz	11	L4-L5	97	196	253	40
6	K	67	Spinal stenoz	10	L4-L5	380	416	460	20
7	K	66	Spinal stenoz	14	L4-L5	1003	1334	1426	35
8	K	65	Spondilolistezis	10 / 10	L3-L4 / L4-L5	121	242	323	40
9	K	60	Spondilolistezis	11 / 11	L3-L4 / L4-L5	975	1140	1225	30
10	K	78	Spondilolistezis	10	L4-L5	610	740	850	20
11	K	66	Spinal stenoz	9	L4-L5	416	478	510	20
12	K	58	Erişkin skolyoz	9 / 9	L3-L4 / L4-L5	104	145	245	30
13	K	69	Spondilolistezis	9	L5-S1	798	1145	1557	20
14	K	67	DDH	9	L4-L5	147	198	359	40
15	K	70	Erişkin skolyoz	10 / 12	L4-L5 / L5-S1	613	681	820	15
16	E	67	Spinal stenoz	8 / 11	L4-L5 / L5-S1	73	98	198	50
17	K	50	Spondilolistezis	8	L4-L5	393	684	884	35
18	K	58	Spinal stenoz	8 / 10	L3-L4 / L4-L5	2863	2950	2998	15
19	K	67	Spinal stenoz	11	L4-L5	144	167	210	25
20	K	71	Spinal stenoz	11/10	L4-L5 / L5-S1	146	196	216	15
21	K	63	Spinal stenoz	11/12	L4-L5 / L5-S1	224	212	382	15
22	E	64	Spinal stenoz	11/11	L3-L4 / L4-L5	720	760	840	15

C, Cins; E, erkek; K, kadın; DDH, Dejeneratif disk hastalığı

Açıklama: İlk ölçüm, insizyondan önceki; 2. ölçüm, pedikül vidaları konduktan sonra; 3. ölçüm, kafes yerleştirildikten sonraki **düzeltilmiş** MEP amplitüdlerini (µV) gösterir.



Şekil 33. Cinsiyetlerin dağılımı

Tablo 7. Hasta sayılarının TLIF yapılan seviyelere göre dağılımı

Seviye	TLIF yapılan hasta sayısı
L2-L3	1
L3-L4	7
L4-L5	19
L5-S1	7

Aynı hastada birden fazla seviyede TLIF yapıldığı ve radyomorfolojik ölçümler bu seviyeler için ayrı ayrı yapıldığı için hem tekrarlayan ölçümlerin olması hem de hasta grubunun farklı seviyeleri olan hastalardan oluşması sebebiyle değerlendirmelerin Generalized Linear Mixed Model (GLMM) ile yapılması planlanmıştır.

Kafes yükseklikleri ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM uygulanmıştır. Modelde de MEP değişimi artış yüzdesi ile kafes yüksekliği arasında istatistiksel olarak anlamlılık bulunmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 8).

Tablo 8. Kafes yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM sonuçları

	F	p
Intercept	112,642	0,000
MEP değişimi	0,007	0,932

Dependent Variable: Kafes yüksekliği

Preoperatif ve postoperatif dönemde hastaların ön disk yükseklikleri hesaplandı (Tablo 9). Preoperatif ve postoperatif dönem arasında değişen ölçümlerden **ön disk yüksekliği** ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM uygulandı (Tablo 10).

Tablo 9. Ön disk yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları

	Min-Mak (medyan)	Ort±SD
Preoperatif ön disk yüksekliği (mm)	4,2-18,4 (9,3)	9,42±3,17
Postoperatif ön disk yüksekliği (mm)	6,3-19,7 (11,3)	11,44±2,61

GLMM modelinde MEP değişiminin artış yüzdesi, preoperatif ve postoperatif dönemler arasında ön disk yüksekliği değişimi ve MEP değişimi x ön disk yüksekliği değişimlerinin etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 10. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında ön disk yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi

	F	p
Intercept	40,380	<0.001**
MEP değişimi	0,001	0.973
Zaman	0,025	0.876
Zaman x MEP % artış	1,426	0.240

Dependent Variable: Ön_Disk_Yüksekliği.

Preoperatif ve postoperatif dönemde hastaların orta disk yükseklikleri hesaplandı (Tablo 11). Preoperatif ve postoperatif dönem arasında değişen ölçümlerden **orta disk yüksekliğiyle** MEP değerlerindeki değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi uygulandı.

Tablo 11. Orta disk yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları

	Min-Mak (medyan)	Ort±SD
Preoperatif orta disk yüksekliği(mm)	2,6-12,0 (7,3)	7,23±2,62
Postoperatif orta disk yüksekliği (mm)	4,9-14,6 (9,9)	9,96±1,95

GLMM modelinde MEP değerlerindeki değişimi artış yüzdesi ve MEP artışı x orta disk yüksekliği değişimlerinin etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken ($p>0,05$), preoperatife göre postoperatif orta disk yüksekliği değişimi kendi içerisinde anlamlı bulunmuştur ($p:0,023$; $p<0,05$) (Tablo 12). Değişim farkı $2,94\pm1,67$ mm olarak saptanmıştır (Şekil 34).

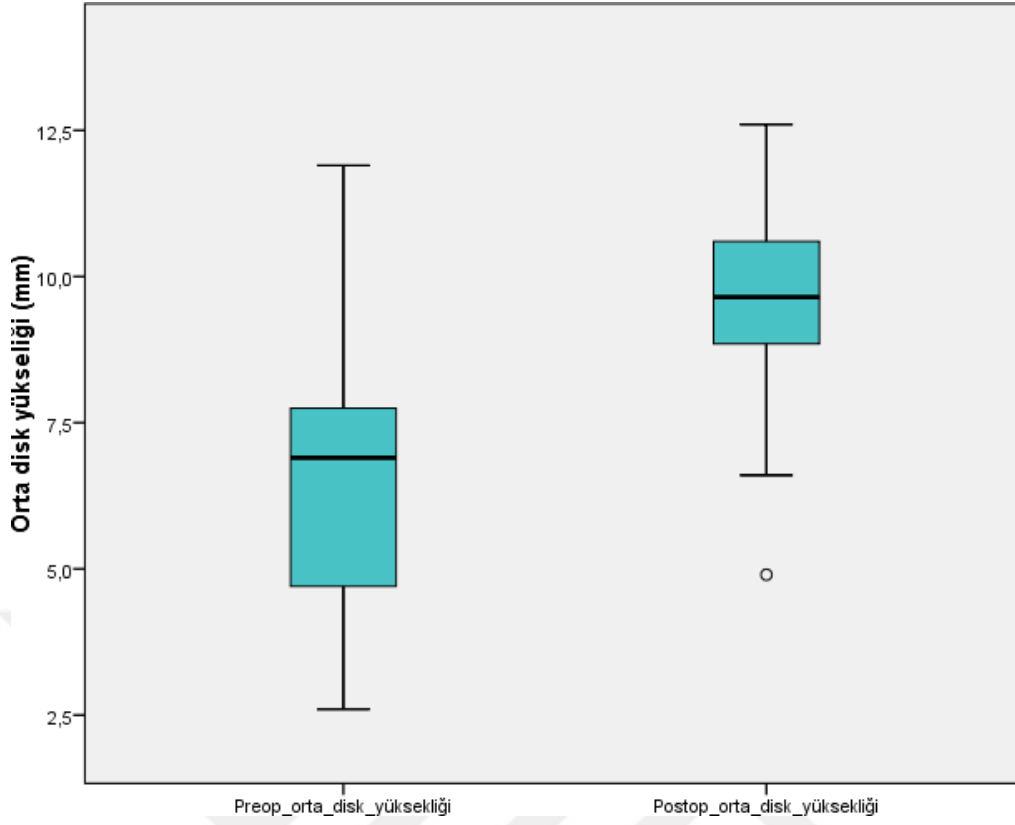
Tablo 12. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında orta disk yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi

	F	p
Intercept	68,522	<0.001**
MEP değişimi	2,973	0.104
Zaman	5,703	0.023*
Zaman x MEP % artış	0,239	0.628

Dependent Variable: Orta_Disk_Yüksekliği.

** $p<0,01$

* $p<0,05$



Şekil 34. Orta disk yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri

Preoperatif ve postoperatif dönemde hastaların arka disk yükseklikleri hesaplandı (Tablo 13). Preoperatif ve postoperatif dönem arasında değişen ölçümlerden **arka disk yüksekliği** ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi uygulandı (Tablo 14).

Tablo 13. Arka disk yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları

	Min-Mak (medyan)	Ort±SD
Preoperatif arka disk yüksekliği(mm)	0,7-6,7 (3,5)	3,50±1,53
Postoperatif arka disk yüksekliği (mm)	1,5-9,8 (5,3)	5,18±1,93

GLMM modelinde MEP değişiminin artış yüzdesi, arka disk yüksekliği değişimi ve MEP artışı x arka disk yüksekliği değişimlerinin etkileşiminin etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 14).

Tablo 14. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında arka disk yüksekliği ile MEP değerlerindeki değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi sonuçları

	F	p
Intercept	31,013	<0.001**
MEP değişimi	2,230	0.156
Zaman	3,464	0.071
Zaman x MEP % artış	0,001	0.973

Dependent Variable: Arka_Disk_Yüksekliği.

** $p<0,01$

Preoperatif ve postoperatif dönemde hastaların dekompresyon yapılan taraflarının foraminal yüksekliği hesaplandı (Tablo 15). Preoperatif ve postoperatif dönem arasında değişen ölçümlerden **dekompresyon yapılan tarafın foraminal yüksekliği** ile MEP değerlerindeki değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi uygulandı.

Tablo 15. Dekompresyon yapılan tarafın foraminal yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları

	Min-Mak (medyan)	Ort±SD
Preoperatif foraminal yükseklik (mm)	8,1-24,4 (15,25)	16,35±4,25
Postoperatif foraminal yükseklik (mm)	8,6-25,5 (17,65)	18,36±4,03

GLMM modelinde MEP değişimi artış yüzdesi ile preoperatife göre postoperatif foraminal disk yüksekliği değişimi ve MEP artışı x foraminal disk yüksekliği değişimlerinin etkileşiminin etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 16).

Tablo 16. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında dekompresyon yapılan tarafın foraminal yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM sonuçları

	F	p
Intercept	41,547	<0.001**
MEP değişimi	0,322	0.578
Zaman	0,132	0.719
Zaman x MEP % artış	1,351	0.253
<i>Dependent Variable: Artış Olan Tarafın Foraminal Disk_Yüksekliği.</i>		**$p<0,01$

Preoperatif ve postoperatif dönemde hastaların dekompresyon yapılan taraflarının karşı tarafının foraminal yüksekliği hesaplandı (Tablo 17). Preoperatif ve postoperatif dönem arasında değişen ölçümlerden **dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal yüksekliği** ile MEP değerlerindeki değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi uygulandı (Tablo 18).

Tablo 17. Dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal yüksekliğinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları

	Min-Mak (medyan)	Ort±SD
Preoperatif foraminal disk yüksekliği(mm)	8,2-24,3 (17,35)	16,88±3,80
Postoperatif foraminal disk yüksekliği (mm)	10,7-24,5 (18,50)	18,72±3,37

GLMM modelinde MEP değişimi artış yüzdesi, preoperatife göre postoperatif foraminal disk yüksekliği değişimi ve MEP artışı x foraminal disk yüksekliği değişimlerinin etkileşiminin etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 18).

Tablo 18. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal yüksekliği ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi sonuçları

	F	p
Intercept	74,332	<0.001**
MEP değişimi	0,510	0.485
Zaman	0,416	0.523
Zaman x MEP % artış	0,208	0.651

Dependent Variable: Artış Olmayan Tarafın Foraminal Disk_Yüksekliği. ** $p<0,01$

Preoperatif ve postoperatif dönemde hastaların dekompresyon yapılan taraflarının foraminal alanları hesaplandı (Tablo 19). Preoperatif ve postoperatif dönem arasında değişen ölçümlerden **dekompresyon yapılan tarafın foraminal alanı** ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi uygulandı (Tablo 20).

Tablo 19. Dekompresyon yapılan tarafın foraminal alan ölçümlerinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları

	Min-Mak (medyan)	Ort±SD
Preoperatif foraminal alan (mm²)	41-286 (115)	114,08±44,60
Postoperatif foraminal alan (mm²)	92-423 (155)	178,55±72,63

GLMM modelinde MEP değerlerindeki değişimin artış yüzdesi ve preoperatife göre postoperatif foraminal alan değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$) (Şekil 35). MEP artışı x foraminal alan değişimlerinin etkileşiminin etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p:0,002$; $p<0,01$) (Tablo 20). MEP değişimi % artışı ile preoperatif foraminal alan ölçümleri arasında ilişki saptanmazken ($r:0,039$; $p:0,884$); anlamlılığın postoperatif alan

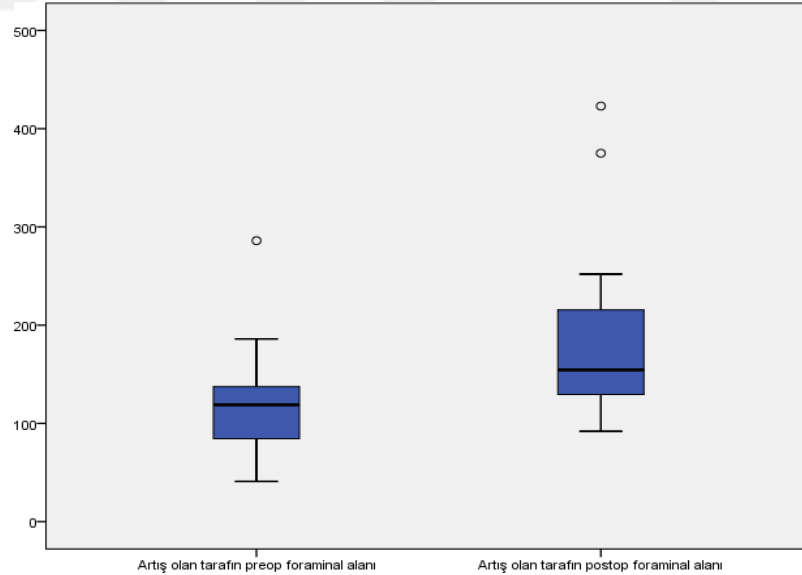
ölçümlerinden kaynaklandığı ve aralarında pozitif yönde anlamlı ilişki bulunduğu görülmektedir ($r=0,501$; $p:0,007$; $p<0,01$) (Şekil 36).

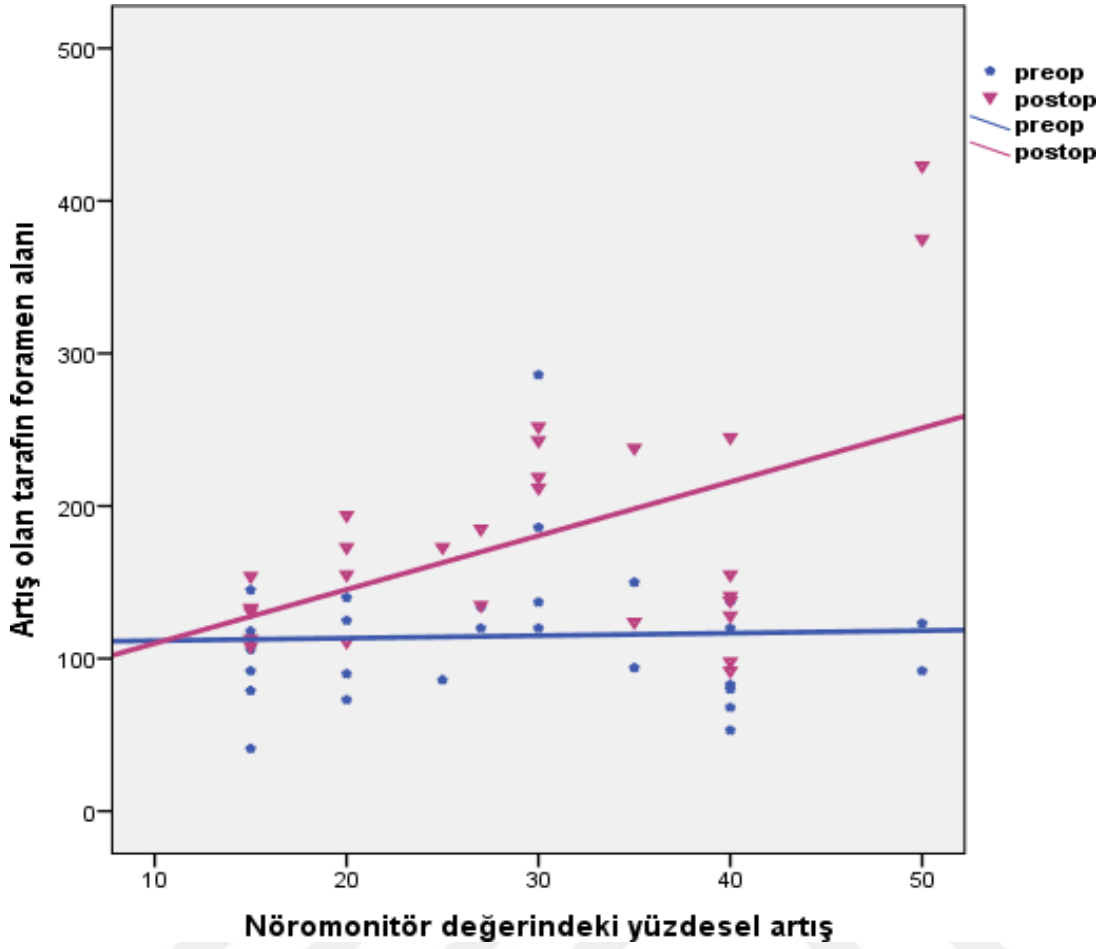
Tablo 20. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında dekompresyon yapılan tarafın foraminal alanı ile MEP değerlerindeki değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi sonuçları

	F	p
Intercept	8,647	0.000**
MEP % artış	2,335	0.145
Preoperatif ve postoperatif değişim	1,221	0.276
Zaman x MEP % artış	10,737	0.002**

Dependent Variable: Artış Olan Tarafın Foraminal Alanı ** $p<0,01$

Şekil 35. Dekompresyon yapılan tarafın preoperatif ve postoperatif foraminal alan ölçümleri





Şekil 36. Foraminal alan değişimi ile MEP değişiminin ilişkisi

Preoperatif ve postoperatif dönemde hastaların dekompresyon yapılan taraflarının karşı tarafının foraminal alanları hesaplandı (Tablo 21). Preoperatif ve postoperatif dönem arasında değişen ölçümlerden **dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal alan değişimi** ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi uygulandı (Tablo 22).

Tablo 21. Dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal alan ölçümlerinin preoperatif ve postoperatif ölçümleri dağılımları

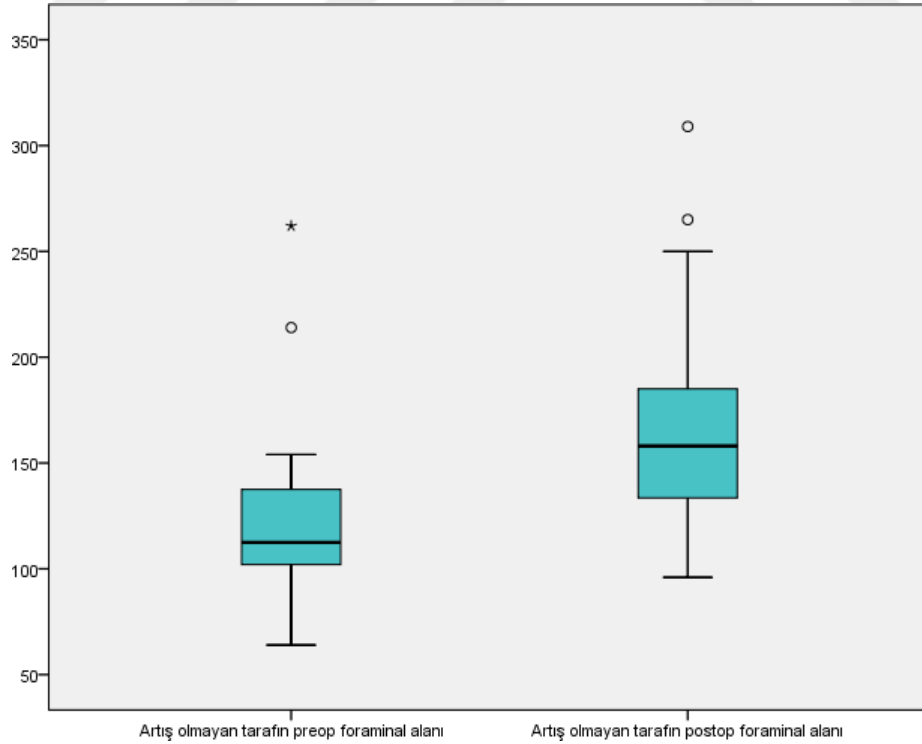
	Min-Mak (medyan)	Ort±SD
Preoperatif foraminal alanı (mm ²)	64-262 (110,5)	120,55±39,81
Postoperatif foraminal alanı (mm ²)	75-309 (155,5)	162,23±50,59

Modelde MEP değişimi artış yüzdesi ana etkisi ve MEP artışı x foraminal alan değişimlerinin etkileşiminin etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 22). Preoperatife göre postoperatif foraminal alan değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p:0,026$; $p<0,05$) (Şekil 37).

Tablo 22. Preoperatif ve postoperatif dönem arasında dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının foraminal alanı ile MEP değişiminin ilişkili olup olmadığının incelenmesinde GLMM analizi sonuçları

	F	p
Intercept	35,657	0.000**
MEP değişimi	0,014	0.907
Zaman	5,369	0.026*
Zaman x MEP % artış	0,290	0.594

Dependent Variable: Artış Olmayana Tarafın Foraminal Alanı ** $p<0,01$ * $p<0,05$



Şekil 37. Dekompresyon yapılan tarafın karşı tarafının preoperatif ve postoperatif foraminal alan ölçümleri

Ön-orta ve arka disk yükseklikleri, foraminal alan ve yüksekliklerin preoperatif-postoperatif ölçümleri ve restorasyon miktar ve oranları tablo 23’de özetlenmiştir. Yüksekliklerin hepsinin postoperatif dönemde arttığı görülmüştür.

Tablo 23. Ön-orta-arka disk yükseklikleri, foraminal alan ve yüksekliklerin preoperatif-postoperatif ölçümleri, değişim miktar ve yüzdeleri

Radyomorfolojik parametreler	Preoperatif ölçüm	Postoperatif ölçüm	Restorasyon miktarı
Ön disk yüksekliği	9,42±3,17 mm	11,44±2,61 mm	2,02±1,55 mm (%21)
Orta disk yüksekliği	7,23±2,62 mm	9,96±1,95 mm	2,73±1,68 mm (%38)*
Arka disk yüksekliği	3,50±1,53 mm	5,18±1,93 mm	1,67±1,28 mm (%48)
Dekompresyon yapılan tarafın foraminal yüksekliği	16,35±4,25 mm	18,36±4,03 mm	2,01±1,09 mm (%12)
Dekompresyon yapılan tarafın foraminal alanı	114,08±44,60 mm ²	178,55±72,63 mm ²	64,47±68,11 mm ² (%57)
Karşı tarafın foraminal yüksekliği	16,88±3,80 mm	18,72±3,37 mm	1,83±1,39 mm (%11)
Karşı tarafın foraminal alanı	120,55±39,81 mm ²	162,23±50,59 mm ²	41,67±45,33 mm ² (%35)

Ölçülen radyomorfolojik parametrelerden LLA, SLA, SDA, PI, PT ve SS açılarının preoperatif ve postoperatif değerleri ve her iki dönem arasındaki değişimlerinin ortalama, standart sapma, minimum-maksimum değerleri ve medyanları tablo 23’de özetlenmiştir.

Her hasta için GAP skoru hesaplanmış, ortalaması 3,36±3,39 olarak bulunmuştur. Bu skorlara göre 13 hastanın spinopelvik durumu orantılı (GAP skoru<3), 4 hastanın orta derecede orantısız (GAP skoru=3-6) ve 5 hastanın ağır derecede orantısız (GAP skoru>6) olarak değerlendirilmiştir. GAP skoruna göre hastalarda hedeflenen postoperatif LLA ortalaması 63,96±7,51° olarak hesaplanmış iken postoperatif ölçülen LLA 55,22±9,63 bulunmuş olup, aradaki farkın ortalaması 8,06° ±9,70° olarak hesaplanmıştır.

Tablo 24. Spinopelvik parametrelerin (°) preoperatif ve postoperatif değerlendirilmesi

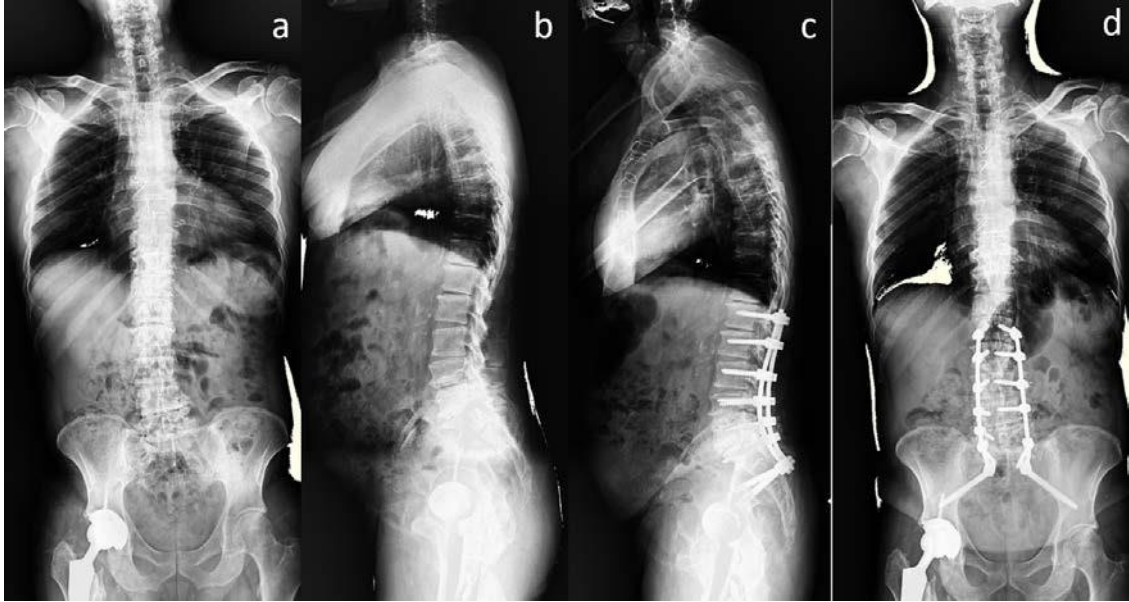
	Ortalama±SD (°)	Min- Mak (°)	Medyan (°)
Preoperatif LLA	53,04±14,83	20,00 – 75,00	51,50
Postoperatif LLA	55,22±9,63	37,00 – 73,00	56,50
LLA'daki değişim	2,62±9,47	-14,00 – 27,00	1,85
Beklenen LLA (GAP skoruna göre)	63,96±7,51	48,00 - 79,00	64,95
İdeal LLA ile fark	8,06±9,70	-6,30 – 31,70	4,80
Preoperatif SLA	16,07±8,73	1,50 – 31,50	16,05
Postoperatif SLA	18,52±7,85	4,10 – 29,00	19,95
SLA'daki değişim	2,45±4,61	-8,10 – 15,80	2,65
Preoperatif SDA	7,55±5,79	-7,50 – 20,60	7,25
Postoperatif SDA	8,95±4,96	2,20 – 16,30	7,95
SDA'daki değişim	1,53±5,09	-8,20 – 10,50	1,95
Preoperatif PI	55,54±14,34	31,00 – 96,00	52,00
Postoperatif PI	55,95±14,48	32,00 – 95,00	53,75
PI'daki değişim	0,40±8,68	-24,00 – 14,00	0,00
Preoperatif PT	15,66±10,04	0,00 – 41,00	14,50
Postoperatif PT	19,27±7,80	7,00 – 36,00	18,00
PT'deki değişim	3,61±7,36	-13,00 – 17,00	3,00
Preoperatif SS	40,52±11,17	21,00 – 77,00	40,50
Postoperatif SS	39,86±8,83	24,00 – 70,00	39,00
SS'daki değişim	-0,65±6,04	-14,00 – 13,00	-1,00

LLA, Lomber lordoz açısı; SLA, Segmental lordoz açısı, SDA; Segmental disk açısı; PI, pelvik insidans; PT, pelvik tilt; SS, sakral slope.

V. HASTA ÖRNEKLERİ

5.1. Olgu 1

67 yaşında erkek hasta kliniğimizde dejeneratif lomber spinal stenoz tanısı ile L4-L5 ve L5-S1 seviyelerine TLIF prosedürü ve L5-S1 arası seviyelere posterior enstrumentasyon uygulandı (Şekil 38a-d). İnsizyondan hemen önce sol tibialis anteriordan alınan MEP değeri 116 μ V olarak ölçüldü. Bu değerler sağlam olan sağ tarafta sırasıyla 884 μ V olarak ölçüldü. İONM cihazı yaş, cinsiyet, kilo ve anestezi süresiyle ilgili düzeltmeleri yaparak solda sağa göre %50 düşüklük değerlendirdi (Şekil 39). Pedikül vidalarına koyduktan sonra MEP 257 μ V olarak ve sol L4 ve L5 hemilaminektomi ve L4-L5 ve L5-S1 seviyelerine TLIF yapıp kafes yerleştirildikten sonra MEP değeri 421 μ V ölçüldü. Vidalama sonrası ve kafes konması sonrası arasındaki amplitüd değişimi düzeltmelerle birlikte %35 artış olarak hesaplandı (Şekil 39).

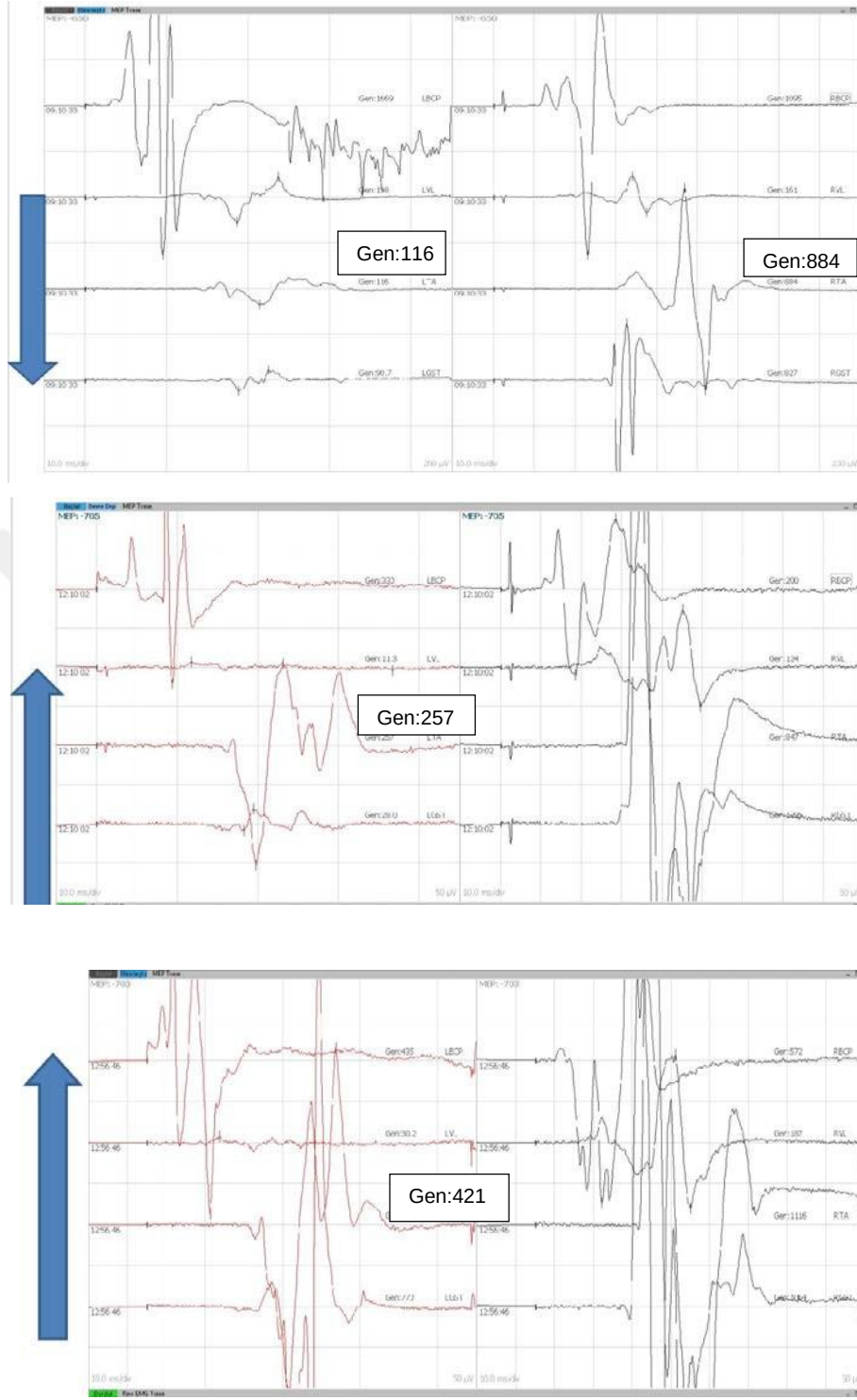


Şekil 38a. Olgu 1'in tüm omurgayı içeren preoperatif ön-arka grafisi b. Preoperatif yan grafisi c. Postoperatif yan grafisi d. Postoperatif ön-arka grafisi

Tablo 25. Olgu 1'in radyomorfolojik ölçümleri

	FA (mm ²)	FY (mm)	FA* (mm ²)	FY* (mm)	SLA (°)	SDA (°)		LLA (°)	PI (°)	PT (°)	SS (°)
Preop L4-L5	85	11,4	99	17,8	13,3	4,4	Preop	41	50	17	34
Postop L4-L5	203	14	156	18	16,4	8,6					
Preop L5-S1	92	15,4	96	8,2	22,8	20,6	Postop	46	51	14	38
Postop L5-S1	210	19	193	10,7	26,1	24,6					

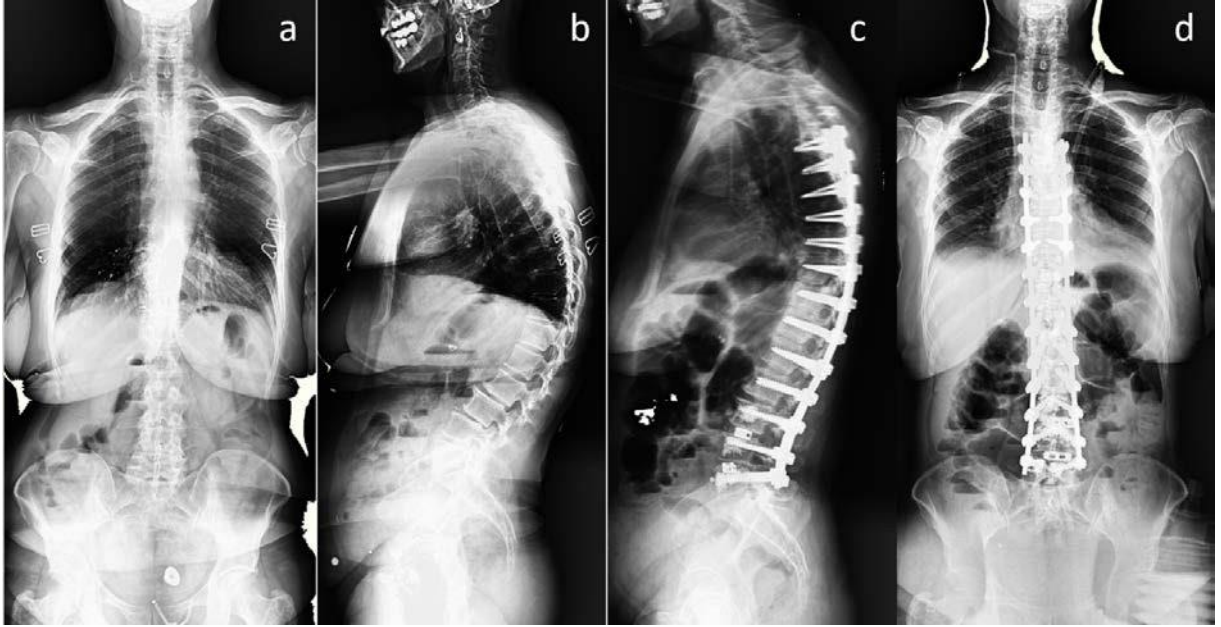
FA, foraminal alan; FY, foraminal yükseklik. (*dekompresyon yapılmayan taraf)



Şekil 39. Olgu 1'in sırasıyla insizyon öncesi, pedikül vidaları konduktan sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlerinin izlenmesi

5.2. Olgu 2

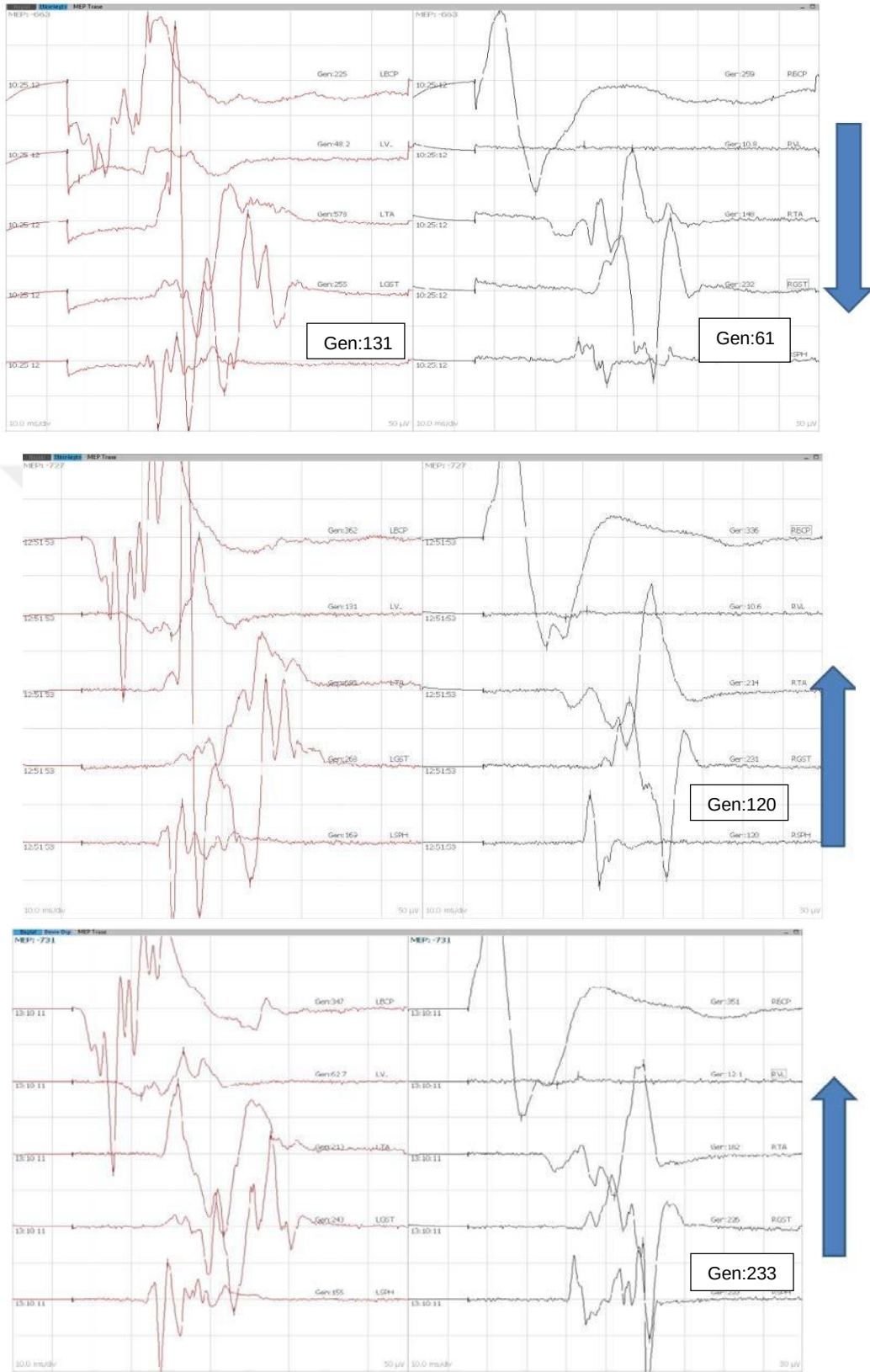
65 yaşında yaşımda hasta kliniğimizde spondilolistezis tanısı ile L3-L4 ve L4-L5 seviyelerine TLIF prosedürü ve T5-L5 arası seviyelere posterior enstrumentasyon uygulandı (Şekil 40a-d). İnsizyondan hemen önce sağ ekstansör hallusis longusta alınan MEP değeri 61 μ V olarak ölçüldü. Bu değerler sağlam olan sol tarafta 131 μ V olarak ölçüldü. İONM cihazı yaş, cinsiyet, kilo ve anestezi süresiyle ilgili düzeltmeleri yaparak sağda sola göre %40 düşüklük değerlendirdi (Şekil 41). Pedikül vidalarına koyduktan sonra MEP 120 μ V olarak ve sağ L4-L5 hemilamiktomi ve L3-L4, L4-L5 seviyelerine TLIF yapıp kafes yerleştirildikten sonra MEP değeri 233 μ V olarak ölçüldü. Vidalama sonrası ve kafes konması sonrası arasındaki amplitüd değişimi düzeltmelerle birlikte %40 artış olarak hesaplandı (Şekil 41).



Şekil 40a. Olgu 2'nin tüm omurgayı içeren preoperatif ön-arka grafisi b. Preoperatif yan grafisi c. Postoperatif yan grafisi d. Postoperatif ön-arka grafisi

Tablo 26. Olgu 2'nin radyomorfolojik ölçümleri (*dekompresyon yapılmayan taraf)

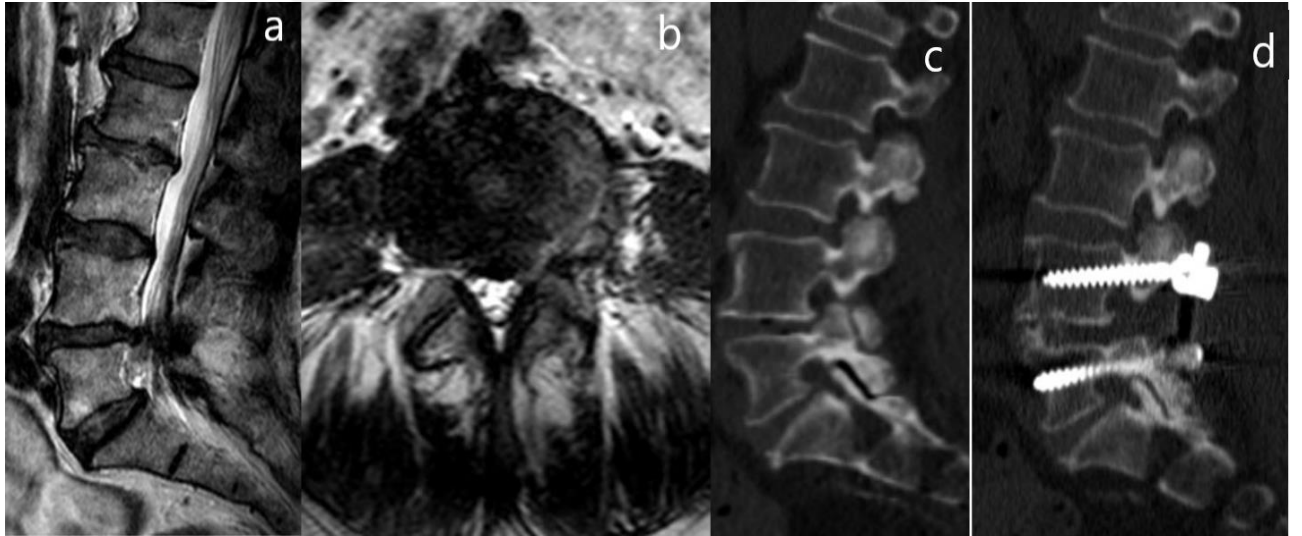
	FA (mm ²)	FY (mm)	FA* (mm ²)	FY* (mm)	SLA (°)	SDA (°)		LLA (°)	PI (°)	PT (°)	SS (°)
Preop L3-L4	53	12,8	60	15,7	6,6	8,7	Preop	50	41	17	24
Postop L3-L4	163	17,1	133	17,9	5,3	7,7					
Preop L4-L5	68	13,1	64	12,7	25,1	8,6	Postop	51	42	16	27
Postop L4-L5	126	15,2	118	16	23,5	6,9					



Şekil 41. Olgu 2'nin sırasıyla insizyon öncesi, pedikül vidaları konduktan sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlerinin izlenmesi

5.3. Olgu 3

66 yaşında yaşımda hasta kliniğimizde dejeneratif lomber spinal stenoz tanısı ile L4-L5 seviyesine TLIF ve L4-L5 seviyelerine posterior enstrumentasyon uygulandı (Şekil 42a-d). İnsizyondan hemen önce sağ tibialis anterior'dan alınan MEP değeri 1063 μ V olarak ölçüldü. Bu değerler sağlam olan sol tarafta 1516 μ V olarak ölçüldü. İONM cihazı yaş, cinsiyet, kilo ve anestezi süresiyle ilgili düzeltmeleri yaparak solda sağa göre %30 düşüklük değerlendirdi (Şekil 43). Pedikül vidalarına koyduktan sonra MEP 1103 μ V olarak ve sağ L4 hemilamiktomi ve L4-L5 seviyesine TLIF yapıp kafes yerleştirildikten sonra MEP değeri 1569 μ V olarak ölçüldü. Vidalama sonrası ve kafes konması sonrası arasındaki amplitüd değişimi düzeltmelerle birlikte %40 artış olarak hesaplandı (Şekil 43).



Şekil 42a-b. Olgu 3'ün sagittal ve aksiyel MR kesitleri c-d. Preoperatif-postoperatif foraminal alanı gösteren BT sagittal kesitleri

Tablo 27. Olgu 3'ün radyomorfolojik ölçümleri (*dekompresyon yapılmayan taraf)

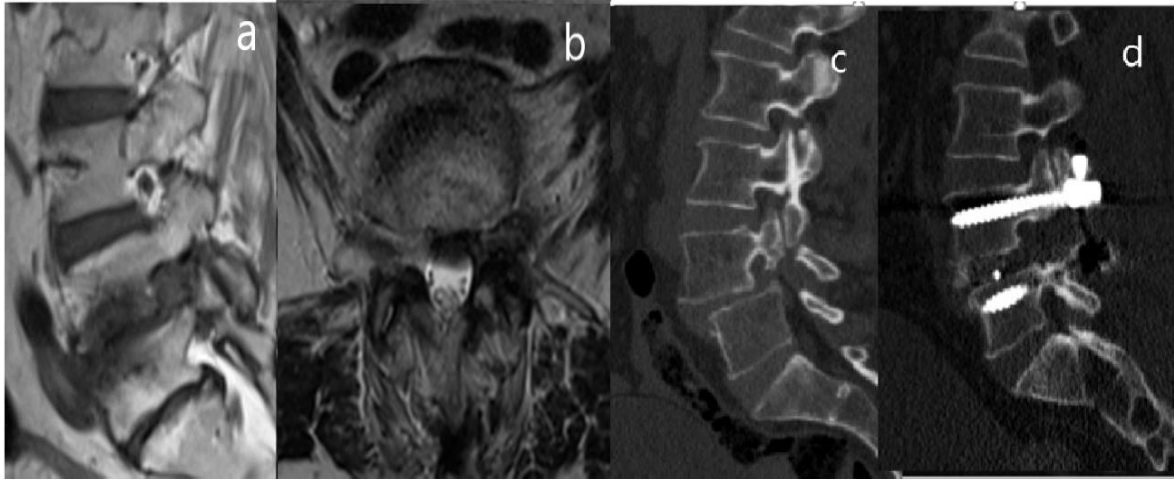
	FA (mm ²)	FY (mm)	FA* (mm ²)	FY* (mm)	SLA (°)	SDA (°)	LLA (°)	PI (°)	PT (°)	SS (°)
Preop L4-L5	90	15,1	128	12,4	29,3	7	50	60	20	41
Postop L4-L5	194	17,7	174	15,9	33,4	10,7	53	59	18	40



Şekil 43. Olgu 3'ün sırasıyla insizyon öncesi, pedikül vidaları konduktan sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlerinin izlenmesi

5.4. Olgu 4

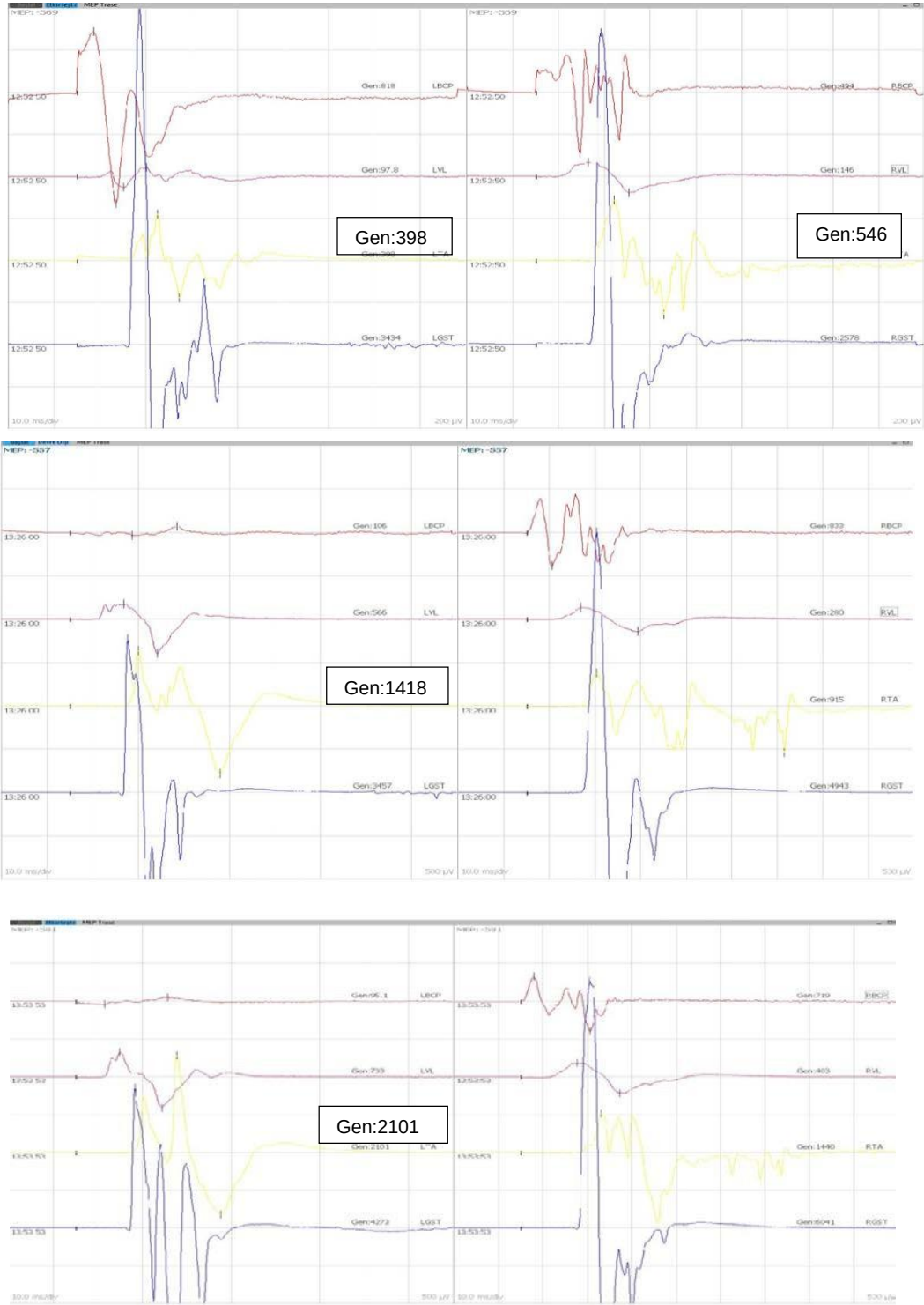
65 yaşında yaşımda hasta kliniğimizde spondilolistezis tanısı ile L4-L5 seviyesine TLIF prosedürü ve L4-L5 seviyelerine posterior enstrumentasyon uygulandı (Şekil 44a-d). İnsizyondan hemen önce sol tibialis anterior alınan MEP değeri 398 μ V olarak ölçüldü. Bu değerler sağlam olan sağ tarafta 546 μ V olarak ölçüldü. İONM cihazı yaş, cinsiyet, kilo ve anestezi süresiyle ilgili düzeltmeleri yaparak solda sağa göre %20 düşüklük değerlendirdi (Şekil 45). Pedikül vidalarına koyduktan sonra MEP 1418 μ V olarak ve sağ L4 hemilamiktomi ve L4-L5 seviyesine TLIF yapıp kafes yerleştirildikten sonra MEP değeri 2101 μ V olarak ölçüldü. Vidalama sonrası ve kafes konması sonrası arasındaki amplitüd değişimi düzeltmelerle birlikte %20 artış olarak hesaplandı (Şekil 44).



Şekil 44a-b. Olgu 4'ün sagittal ve aksiyel MR kesitleri c-d. Preoperatif-postoperatif foraminal alanı gösteren BT sagittal kesitleri

Tablo 23. Olgu 4'ün radyomorfolojik ölçümleri (*dekompresyon yapılmayan taraf)

	FA (mm ²)	FY (mm)	FA* (mm ²)	FY* (mm)	SLA (°)	SDA (°)		LLA (°)	PI (°)	PT (°)	SS (°)
Preop L3-L4	142	22,2	182	23	4,7	8,2	Preop	63	44	11	33
Postop L3-L4	184	23,8	235	23,8	5,8	8,7					
Preop L4-L5	160	20,9	153	19,8	20,3	8,3	Postop	62	46	14	32
Postop L4-L5	212	22,1	194	21,2	22	9,4					



Şekil 45. Olgu 4'ün sırasıyla insizyon öncesi, pedikül vidaları konduktan sonraki ve kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlerinin izlenmesi

VI. TARTIŞMA

Lomber interbody füzyon teknikleri, spinal stenoz, spondilolistezis ve DDH gibi dejeneratif omurga hastalıklarının tedavisinde yaklaşık 70 yıldan beri kullanılmaktadır (1). Günümüze kadar çok çeşitli lomber interbody füzyon teknikleri geliştirilmiştir (2). TLIF, PLIF'in modifikasyonu olarak sonradan tanımlanmış olsa da transforaminal girişim ile PLIF'e kıyasla daha az nöral retraksiyona neden olması, yüksek füzyon oranı, iyi klinik sonuçları ve düşük komplikasyon oranları ile gittikçe daha çok tercih edilen bir interbody füzyon tekniği haline gelmiştir (4). TLIF'in amacı dejeneratif omurga hastalıklarında foraminal alan genişliğinin, disk yüksekliğinin, lomber lordozun sağlanmasına katkıda bulunmak, füzyonu sağlamak ve posteriorda implantlara gelen yükleri azaltmaktır (10).

En deneyimli ellerde bile omurga cerrahisinin riskleri bulunmaktadır ve uzun yıllardır İONM iyatrojenik nörolojik komplikasyonları önlemek için kullanılmaktadır (69). Omurga cerrahisinde İONM'nin başlıca kullandığı teknikler SSEP, MEP ve EMG'dir (77). Uzun yıllar SSEP bu amaçla en çok kullanılan teknik olmakla birlikte son çalışmalarda MEP'in motor fonksiyonu ölçmede ve iyatrojenik hasarı erken belirlemedeki duyarlılığının daha fazla olduğu bildirilmiştir (77). SSEP kullanımını sınırlayan önemli faktörlerden birisi akut nörolojik hasarı geç yansıtabilmesidir. Bu sürenin MEP'e kıyasla 16 dakikaya kadar gecikebildiği bildirilmiştir (9).

Spinal cerrahide İONM kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma olup, bu çalışmalar genel olarak nörolojik hasar açısından MEP ve SSEP amplitüdlerindeki düşme ve latanslarındaki uzama için eşik değer belirlemeye yöneliktir (72-76). Oysaki klinik pratiğimizde TLIF uygulanan seviyedeki sinir kökünden ve basıya maruz kalan komşu köklerden çıkan sinirlerin MEP amplitüdlerinin operasyon başlangıcındaki düşük olarak tespit edilmesi, cerrahi işlem sonrasında artış görülmesi, hasarlı olmayan karşı tarafta ise belirgin değişim görülmemesi gibi durumlar bize, MEP amplitüdlerindeki artışların da sinir dekompresyonunda değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Bu amaçla çalışmamıza İONM eşliğinde TLIF yapılan %13,6'sı (n=3) erkek, %86,3'ü (n=19) kadın olmak üzere yapılan toplam 22 hasta dahil edilmiştir. Literatürdeki diğer TLIF serilerinde de kadın hastaların erkek hastalardan daha fazla olduğu görülmüştür (88-90). Çalışmamızdaki hastaların yaşları 37 ile 78 yaş aralığında değişmekte olup ortalaması $61,90 \pm 8,89$ yıldır. Hu ve ark. TLIF serilerinde ortalama yaşı $62,65 \pm 12,28$ yıl (91), Elmekaty ve ark. $66,5 \pm 10,2$ yıl olarak bildirmişlerdir (88). Dejeneratif omurga hastalıklarının etkilediği

popülasyonla uyumlu olarak benzer çalışmaların genelinde hastaların 7. dekatta olduğu görülmektedir.

Çalışmamıza dahil edilen 22 hastanın 13 tanesi spinal stenoz, 5'i spondilolistezis, ikisi dejeneratif skolyoz ve ikisi DDH tanılarıyla opere edilmişlerdir. Literatürdeki TLIF serilerinde de spinal stenozun diğer dejeneratif omurga hastalıklarına göre daha sık bir TLIF uygulanma sebebi olduğu görülmüştür (88-90).

Hastalarımızın 10'una tek seviye ve 12'sine 2 seviye olmak üzere toplam 34 farklı seviyeden TLIF uygulanmıştır. Çalışmamıza 2'den daha fazla seviyeden TLIF uygulanan hastalar dahil edilmemiş olmakla birlikte, daha önceki çalışmalarda da çoğu hastanın bir ya da iki seviyeden opere olduğu görülmüştür. Örneğin Fukuta ve ark. 54 hastalık serisinde, 30 hastanın tek seviyeden (89), 20 hastanın iki seviyeden ve 4 hastanın 3 seviyeden opere edildikleri rapor edilmiştir. Hastalarımıza TLIF uygulanan seviyelerin sıklık sırasıyla L4-L5 (n=19), L3-L4 (n=7), L5-S1 (n=6) ve L2-L3 (n=1) olduğu tespit edilmiştir. Daha önceki çalışmalarda da L4-L5'in en sık TLIF uygulanan seviye olduğu rapor edilmiştir (10,88). Yine Fukuta ve ark. yaptığı 54 kişilik çalışmada 34 hastaya L4-L5 seviyesinden TLIF uygulandığı görülürken (89), L1-L2 seviyesinden yalnız bir hastaya ve L2-L3 seviyesinden 5 hastaya TLIF uygulanmıştır (89). Bizim çalışmamızda L1-L2 seviyesine TLIF uygulanan hasta yoktur.

Çalışmamızda kullanılan 34 adet kafesin ortalama yükseklikleri $10,26 \pm 1,37$ mm (min:8-mak:14, medyan 10 mm) olarak hesaplanmıştır. Hu ve ark. çalışmalarında bu ortalamayı $11,7 \pm 0,97$ mm (88), Fukuta ve ark. çalışmasında 10,23 mm (min:7-mak:15, medyan 10 mm) (89), Wang ve ark. çalışmasında erkek hastalar için $12,38 \pm 1,43$ mm ve kadın hastalar için $11,62 \pm 1,45$ mm olarak bildirmişlerdir (90).

TLIF operasyonlarının başarısında kafes yüksekliğinin belirlenmesi en önemli rollerden birini oynamaktadır. Bu konuda objektif kriterler belirlenememiştir. Wang ve ark. çalışmalarında ideal kafes yüksekliğini belirlemek için cinsiyet, boy, TLIF uygulanan intervertebral aralığın yüksekliği gibi faktörleri içeren bir formül geliştirmeye çalışmışlardır (90). Bu çalışmada TLIF uygulanan 157 hastada kadınların erkeklere göre, L4-L5 seviyesinin L5-S1 seviyesine göre ideal kafes yüksekliklerinin anlamlı oranda daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışmada ideal kafes yüksekliğinin belirlenmesi için $(11.123 - 0.563 * \text{cinsiyet} + 0.149 * \text{opere edilen seviyenin orta disk yüksekliği})$ formülünün kullanılması önerilmekle beraber daha ileri çalışmalara ihtiyaç duyulduğu bildirilmiştir. Bu formül çalışmamıza uyarlandığında hesaplanan ideal kafes yükseklikleri hastalarımızda kullanılan

kafeslerin yüksekliklerinden minimal farklar göstermiş olup genel ortalaması ($11,07 \pm 0,36$ mm) bizim çalışmamızdaki kafes yüksekliklerinin ortalamasından ($10,26 \pm 1,37$ mm) daha yüksektir.

Hastalarımızın tümünde kafes yerleştirildikten sonraki MEP amplitüdlere, insizyondan önce ve pedikül vidaları yerleştirildikten sonraki amplitüdlere göre yükselmiştir. Pedikül vidaları yerleştirildikten sonra ve kafes yerleştirildikten sonraki ölçülen MEP amplitüdlерinin değişimi, nöromonitörizasyon cihazıyla (NIM Eclipse®) yaş, cinsiyet, anestezi süresi gibi düzeltme faktörleri kullanılarak hesaplanmış ve ortalama $\% 27,27 \pm 11,09$ (min: $\%15$ ve mak: $\%50$) yükseldiği görülmüştür. Çalışmamıza dahil edilen hiçbir hastada MEP amplitüdlерinde düşme görülmemekle birlikte, 2017-2019 yılları arasında TLIF uyguladığımız 111 hastadan İONM yapılan 65'inin yalnızca bir tanesinde ($\%1,5$) monitörizasyon sırasında MEP amplitüdlерinde düşme olduğu tespit edilmiş, radyomorfolojik parametrelerin değerlendirilmesi için gerekli olan görüntülemeleri yetersiz olan bu hasta çalışma dışı bırakılmıştır.

TLIF uygulanan tüm seviyelerde dekompresyon yapılan tarafın sağlam olan karşı tarafına ait MEP amplitüdlерinin operasyon sırasındaki değişimi $< \%5$ 'den az olup, İONM'nin genel çalışma prensibi sebebiyle ihmal edilebilir olduğu kabul edilmiştir.

TLIF'ın esas hedeflerinden birisi disk yüksekliğini sağlamaktır. Serimizde bu yüksekliklerin TLIF sonrası restorasyonunu belirlemek için preoperatif ve postoperatif BT'ler üzerinde ölçümler yapılmıştır. Preoperatif olarak ölçülen ön-orta ve arka disk yükseklikleri sırasıyla $9,42 \pm 3,17$ mm, $7,23 \pm 2,62$ mm ve $3,50 \pm 1,53$ mm olarak bulunmuştur. Postoperatif BT'lerde hesaplanan yüksekliklere bakıldığında ön, orta ve arka disk yüksekliklerinde sırasıyla $2,02 \pm 1,55$ mm ($\%21$), $2,73 \pm 1,68$ mm ($\%38$) ve $1,67 \pm 1,28$ mm ($\%48$) artış olduğu görülmüştür. Bu artışın oranı en çok arka disk yüksekliğinde olmakla birlikte, yalnızca orta disk yüksekliğindeki artış kendi içinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p:0,023$; $p<0,05$). Disk yüksekliklerinde artış mm cinsinden değerlendirildiğinde en az artışın arka disk yüksekliğinde olmasının nedeni, lomber lordozun sağlanabilmesi için ön ve orta disk yüksekliklerinin görece daha fazla artırılmaya çalışılması ve posteriora kompresyon uygulanmasıdır. Her 3 disk yüksekliğinde de artış olması önceki çalışmalarla uyumlu olmakla birlikte (88,92), Elmekaty ve ark. çalışmasında en çok ön disk yüksekliğinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Literatürdeki çalışmaların bir kısmında postoperatif erken dönemde ölçülen disk yüksekliklerine kıyasla sonraki kontrol BT'lerde ölçülen disk yüksekliklerinde TLIF ile oluşturulan restorasyonda kayıp olmakla beraber preoperatif seviyelerine dönmedikleri şeklinde raporlanmıştır. Örneğin bir çalışmada, bir yılın sonunda ön disk yüksekliğinde $\%6,9$, orta disk yüksekliğinde $\%4,3$ ve

arka disk yüksekliğinde %8,5 kayıp olduğu bildirilmiştir (88). Çalışmamızın kısıtlılıklarından biri olan postoperatif BT/ MR'lerin belirli bir sürede çekilmemiş olmasından dolayı bazı hastalarda çökmeye (subsidence) bağlı disk yüksekliklerinde kayıp ihtimaline rağmen tüm disk yüksekliklerinde artış tespit edilmiştir.

Disk yüksekliklerinin kullanılan kafesin özelliklerinden de etkileneceğini unutmamak gerekir. Matsumura ve ark. L4-L5 seviyesinden interbody füzyon gerçekleştirilmiş 75 hastada farklı kafesler kullanılan iki grup arasında postoperatif dönemde disk yüksekliklerindeki artışın farklı olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını bildirmişlerdir (93). Her iki hasta grubunda ortak olan postoperatif 2 yıllık izlemde disk yüksekliklerinde belirgin kayıp olmasıdır (93).

Çalışmamızda hem dekompresyon yapılan tarafın ortalama foraminal yükseklik ($2,01 \pm 1,09$ mm - %12) ve alanının ($64,47 \pm 68,11$ mm² - %57), hem de karşı tarafın da foraminal yükseklik ($1,83 \pm 1,39$ mm - %11) ve alanının ($41,67 \pm 45,33$ mm² - %35) arttığı görülmüştür. Patrick ve ark. TLIF ve diğer füzyon tekniklerini kullandıkları serilerinde foraminal yüksekliklerde anlamlı artış saptamışlardır. Literatüre bakıldığında unilateral TLIF uygulanan hastalarda kontralateral tarafta foraminal yükseklik ve alanın arttığını gösteren çalışmalar mevcuttur (94-95). Hastalarımızın dekompresyon uygulanmayan taraftaki foraminal alan ve yüksekliklerinin ortalaması artsa da bazı hastalarda bireysel düşmeler olduğu görülmüştür. Cho ve ark. çalışmalarında TLIF uygulanan hastalarda kafesin karşı tarafa daha çok yaklaştığı hastalarda karşı tarafın foraminal yükseliğinde artma, foraminotomi uygulanan tarafın foraminal yükseliğinde azalma tespit ederken, kafesin ipsilateral yönde kaldığı ve ortaya yerleştirilemediği durumlarda ise foraminotomi uygulanan tarafın foraminal yüksekliğinin arttığını ve karşı tarafın foraminal yüksekliğinin azaldığını bildirmişlerdir. Bu durum bizim hastalarımızın bazılarında TLIF uygulanan tarafın karşı tarafında foraminal alanın azalmasını açıklayabilir (96). Unilateral TLIF operasyonu sonrası kontralateral radikülopati sebeplerinden birisinin karşı tarafta foraminal daralma olabilmesi sebebiyle Jang ve ark. TLIF sonrası radikülopati görülen 32 hastayla yaptıkları çalışmada karşı tarafın postoperatif foraminal alanlarında azalma olmadığını, artışın radikülopati görülmeyen hastalarla kıyaslandığında daha düşük olmakla beraber aradaki farkın anlamlı olmadığını bildirmişlerdir (97).

Kafes yükseklikleri ve MEP amplitüdlerindeki değişim arasında korelasyon bulunamamış olmakla birlikte ($p < 0,05$), dekomprempresyon uygulanan tarafın foraminal alanı ile MEP değişimi istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmuştur ($p: 0,002$; $p < 0,01$). MEP değişimi % artışı ile preoperatif foraminal alan ölçümleri arasında ilişki saptanmazken ($r: 0,039$; $p: 0,884$);

anamlılığın postoperatif alan ölçümlerinden kaynaklandığı ve aralarında pozitif yönde anlamlı ilişki bulunduğru görölmektedir ($r=0,501$; $p:0,007$; $p<0,01$). TLIF ile elde edilmesi gereken 2 hedef sinirlerin dekompresyonu ve lomber bölge biyomekanik yapısının tekrar restorasyonudur. MEP amplitüdlerindeki değışim TLIF sonrasında meydana gelen sinir dekompresyonuna bağılı olarak (+) yönde değışim göstererek foraminal alan genişliğinin yeterliliğı hakkında bilgi vermekle beraber, disk yüksekliğı (ön, orta ve arka) ile arasında anlamlı korelasyon saptanmamıştır ($p>0,05$).

Dejeneratif omurga hastalıklarında disk yüksekliğini TLIF ile restore etmek mümkündür, bu yüksekliğin belirlenmesi ile 2 ana sorunun çözölmesi hedeflenmektedir;

- 1) Lomber ve segmental lordozun sağılanması
- 2) Foraminal alanda sinir basısının azaltılması
- 3) Füzyon başarı oranının artırılması

Esas olarak hedef pelvis üzerinde dengeli bir omurga yaratmaktır. Dengeli bir omurga, omurganın kendi içerisinde uyumu ve alt ekstremiteler üzerinde sagittal planda yük dağılımının başarısı ile sağılanmasıdır. Bu dengenin sağılanması için sıklıkla kullanılan parametreler LLA ve diğerr spinopelvik parametrelerdir (PT, PI, SS) (98,99). Schwab tarafından ön görölen kaba yaklaşımla erişkin omurga cerrahisinde amaç LLA ile PI arasında değerr farkının $<10^\circ$ olmasıdır (98). Ancak güncel literatür göstermiştir ki sadece radyolojik parametreleri standartlar seviyesine getirmek yetmez. Farklı yaşlarda beklenen açrı değerrleri de farklılık göstermektedir. Birçok software ile ameliyat öncesi beklenen değerrleri hesaplamak mümkündür.

İnterbody füzyon yöntemleri lomber lordoz sağılanmasında kullanılan ilk yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır. TLIF sinir dekompresyonu yaparak, foraminal alanda genişlik sağılayarak ve disk mesafesinde lordotik değışim göstererek genel lordozun düzelmesine olumlu etkiler bırakmaktadır. Hedef PI ile LLA arasında denge sağılamak olduğundan cerrahiyle LLA'nın restorasyonu amaçlanır çünkü PI sakral osteotomi ve pelvik kırıklar dışında değışmesi beklenmeyen bir açıdır (99). Varyasyonlar olmakla birlikte genel olarak popölasyonda LLA $20-70^\circ$ arasındadır. Cerrahi öncesi LLA ve diğerr spinopelvik parametrelerin ölçümlerini yapmak istenilen lordoza ulaşmak açısından önemlidir (98,99).

Çalışmamızda amaç daha ziyade preoperatif nörofizyolojik monitörizasyon etkinliğini değerrlendirmek olsa da sagittal dizilimi düzeltmek de ana hedefler arasında yer aldığından hastalarımızda radyolojik olarak spinopelvik parametreleri de içeren ayrıntılı değerrlendirmeler

yapılmıştır. Hastalarımız arasında multipl seviyelerde füzyon yapılan vakaların varlığı radyomorfolojik parametrelerin değerlendirilmesinde farklılık yaratabilmektedir. Uzun seviyeli füzyonlarda komşu segment kompensasyon mekanizmaları çalışmazken kısa seviye füzyon yapılan vakalarda komşu segment kompensasyon mekanizmaları çalışmaktadır.

Hastalarımızın LLA'ları preoperatif $53,04^{\circ} \pm 14,83^{\circ}$, postoperatif $55,22^{\circ} \pm 9,63^{\circ}$ ölçülmüş olup açıda $2,62^{\circ} \pm 9,47^{\circ}$ artış saptanmıştır. Bu sonuç literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Örneğin bir çalışmada preoperatif LLA ortalama $45,2^{\circ} \pm 14,5^{\circ}$ olarak hesaplanmışken postoperatif $52,7^{\circ} \pm 9,1^{\circ}$ olarak hesaplanmıştır (92). İlk haline göre %16,6 artış LLA'da 1. yılın sonunda %1,5 kayıp olduğu bildirilmiştir (88). Buna karşın Martinelli ve ark. 30 TLIF ve 30 PLIF uygulanan hastayla yaptığı çalışmada LLA'da ortalama sırasıyla $1,6^{\circ}$ azalma ve $2,6^{\circ}$ artma olduğu bildirilmiş olsa da bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (13). Kim ve arkadaşları serilerinde TLIF sonrası LLA'da değişiklik saptamamıştır (100). Jang ve arkadaşlarının TLIF sonrasında kontralateral tarafta radikülopati görülen 32 hastayla, görülmeyen 514 hastayı karşılaştırdığı çalışmada her iki grubun da LLA'larının ve disk yüksekliklerinin postoperatif dönemde arttığını, bu artışın asemptomatik grupta ortalama olarak daha yüksek olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı olmadığını bildirmişlerdir (97). SLA ve LLA'nın düzeltilmesi füzyon cerrahisinin esas hedeflerinden birisi olup bu konuda lomber füzyon cerrahisi tekniklerini karşılaştıran çalışmalar mevcuttur (100). Örneğin Uysal ve ark. çalışmasında TLIF ve PLIF yapılan 2 grup arasında postoperatif disk yükseklikleri, SLA ve LLA artışları arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır (101).

Çalışmamızda sagittal planda disk yükseklikleri ön, orta ve arka olmak üzere 3 bölümde değerlendirilmiştir. TLIF ile amaçlarımızdan bir tanesi füzyon sağlanması olduğu için anteriorda daha fazla yükselme sağlanmışken posteriora daha az yükselme elde etmemiz ve ek olarak foraminal yükseklikte elde ettiğimiz kazanım sayesinde hastalarımızda daha fazla lordoz sağlanması mümkün olmuştur.

Lomber lordozda, genel lordoz kadar açılarının segmentlere göre dağılımı da önemlidir. Genel olarak lordozun en fazla sağlanması gereken yerler L4-S1 segmentleridir. TLIF'in genel lordozu düzeltmesindeki araçlardan birisi olan disk mesafesinin lordozunun restorasyonunu incelemek amacıyla SLA ve SDA'lar analiz edilmiştir ve her ikisinde LLA ile uyumlu olarak artışlar görülmüştür. SLA preoperatif $16,07^{\circ} \pm 8,73^{\circ}$, postoperatif $18,52^{\circ} \pm 7,85^{\circ}$ olarak ölçülmüş ve $2,45^{\circ} \pm 4,61^{\circ}$ artmış olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda ortalama preoperatif SDA $7,55^{\circ} \pm 5,79^{\circ}$, postoperatif SDA $8,95^{\circ} \pm 4,96^{\circ}$ olarak hesaplanmıştır. SDA'da ortalama

1,53°±5,09° artış olduğu görülmüştür. Kim ve ark. tek seviyeden TLIF uygulanmış 26 hastada preoperatif ve postoperatif SLA'yı değerlendirdiklerinde sırasıyla ortalama 14,59°±9,81° ve 18,21±6,54° olarak, SDA ortalama preoperatif 7,3°±3,6° ve postoperatif 10,5°±3,5° olarak ölçülmüştür (100).

LLA ve SLA'nın korunmasının füzyon cerrahisine ek katkıları da olduğu bilinmektedir. Lomber füzyonun, komşu segmentler üzerine etkileri henüz tam olarak aydınlatılamamış olsa da bu konuda çok sayıda çalışma mevcuttur. Bazı çalışmalar lomber füzyonun komşu segmentlerde yük ve mobilite artışına ve bunun komşu diskte artmış dejenerasyona sebep olduğunu bildirmektedir. Umehara ve ark., 20 örnek üzerinde yapılan kadavra çalışmasında füzyon uygulanmış segmente komşu segmentlerde artmış dejenarasyonun artmış yükten ve lordozun azalmasından kaynaklabileceğini bildirmişlerdir (102). Akamaru ve ark. benzer bir çalışmada bunu teyit ederek L4-L5'deki SLA'nın mutlaka korunması gerektiğini vurgulamışlardır (103).

Çalışmamızda ölçülen PI değerlerinde TLIF sonrası (preoperatif:55,54°±14,34°, postoperatif:55,95°±14,48°) minimal bir değişiklik bulunmaktadır ki, istatistiksel olarak anlamlı olmayan bu değişiklik PI'nın birçok çalışmada belirtildiği gibi bazı faktörlerden etkilenebileceğini göstermektedir. Bunun muhtemel çekim ve ölçümle ilgili teknik hatalara bağlı olduğu düşünülmektedir. Postoperatif elde ettiğimiz ortalama LLA-PI=8,22±8,38 bulunmuş olup Schwab tarafından önerilen ideal aralıkta bulunmaktadır.

Çalışmamızda PT ve SS sırasıyla preoperatif 15,66°±10,04°, 40,52°±11,17° ve postoperatif 19,27°±7,88°, 39,86°±8,83° olarak hesaplanmıştır. PT+SS toplamı PI gibi postoperatif olarak değişmesi beklenmeyen bir değeri verdiği için çalışmamızdaki gibi her iki değer postoperatif dönemde birbirine zıt yönde değişmesi beklenen bir durumdur. Sagittal balansın korunduğu hastalarda LLA'nın küçüldüğü durumlarda PT artar. PT'nin artması pelvik retroversiyon olarak isimlendirilir ve bir kompensasyon mekanizmasıdır (104-105). Spinal instabiliteyi sağlamak için genç hastalarda PT değişimi daha fazla sağlanabilir, ama dejeneratif değişikliklerin olduğu yaşlı hastalarda bu kompensatuar mekanizma çok çalışmaz (105). Cerrahi teknikler doğrudan PT'ye yönelik değildir, cerrahi ile LLA'nın yeniden sağlandığı hastalarda PT normale döner. Erişkin spinal cerrahisinde PT'nin 25°'nin altına inmesi başarı göstergesidir (104). SS, PT gibi labil bir açı olsa da spinal cerrahide belli bir hedef eşik açısı değeri belirlenmemiştir (99). Uysal ve ark. çalışmasında TLIF ve PLIF teknikleri uygulanan hastalar karşılaştırılmış, PLIF grubunda LLA ve SS düşerken PT artmış, TLIF grubunda ise her

3 parametrede tam tersi yaşanmıştır. Bu değişikliklerin PLIF ve TLIF grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farkı olmadığı saptanmıştır (101).

Erişkin omurga cerrahisinde hedefleri belirlemede sıklıkla kullanılan Schwab parametrelerinin son zamanlarda yapılan yayınlarda cerrahi ile hedeflenen radyolojik parametreleri belirlemede zaman zaman yetersiz kaldığının bildirilmesi nedeniyle Alanay ve ark. tarafından GAP (Global Alignment and Proportion score) adı verilen bir skarlama sistemi oluşturulmuştur (106). Genel olarak GAP skarlama sistemi PI, SS, global tilt, L4-S1 lordozu, LLA ve hasta yaşını kullanır. Elde edilen skarlara (mak:13) göre hastaların spinopelvik durumları orantılı (GAP skoru<3), orta derecede orantısız (GAP skoru=3-6) ve ağır derecede orantısız (GAP skoru>6) olarak değerlendirilmektedir. GAP skoruna göre ideal LLA, SS ve PT hesaplanabilir. Çalışmamızdaki hastaların GAP skoru ortalaması $3,36 \pm 3,39$ olarak bulunmuştur. Bu skarlara göre 13 hastanın spinopelvik durumu orantılı, 4 hastanın orta derecede orantısız 5 hastanın ağır derecede orantısız olarak değerlendirilmiştir. GAP skoruna göre hastalarda hedeflenen postoperatif LLA ortalaması $63,96^\circ \pm 7,51^\circ$ olarak hesaplanmış iken bizim hastalarımızda postoperatif ölçülen LLA $55,22^\circ \pm 9,63^\circ$ bulunmuş olup, aradaki farkın ortalaması $8,06^\circ \pm 9,70^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Bu fark ise her hastada her zaman istenilen disk yüksekliğine ve segmental lordoza ulaşamamasına bağlanmıştır.

Sonuç olarak çalışmamıza dahil edilen hastalar için İONM güvenli cerrahiye katkıda bulunmuştur. Postoperatif incelemelerimiz neticesinde MEP amplitüdlerinin buna ek olarak foraminal alan genişliğinin yeterliliği hakkında bilgi verdiği fakat ideal kafes ve disk yükseklikleri hakkında bilgi vermediği anlaşılmıştır. MEP'in TLIF'de bize esas katkısı ideal kafes yüksekliğinden ziyade, sağlanması gereken minimum disk yüksekliği ve foraminal alan genişliğinin sağlanması olmaktadır. Nöromonitor ile en düşük kafes yüksekliğini hesaplamak mümkündür ancak disk yüksekliğini belirlemede diğer etkenler hedeflenen lomber lordoz hatta pelvik dengenin sağlanmasıdır.

VII. KISITLILIKLAR

1. Görece kısa bir zaman aralığındaki hastaların incelenmesi ve bu yıllar arasında TLIF uygulanan hastaların bir kısmının postoperatif tüm omurgayı içeren ön-arka ve yan grafileri ile lumbosakral BT/ MR'ları olmaması neticesinde çalışma dışı kalmasıyla incelenen hasta sayısının azlığı,
2. Ameliyat ile postoperatif kontrol BT/MR'ların çekilmesi arasında geçen süresinin hastalar arasında heterojen olması ve geç çekim yapılan hastalarda muhtemel çökmeye bağlı disk yüksekliklerinde azalma olmasının ölçülen radyomorfolojik parametreleri etkilemesi,
3. MEP'deki yükselmelerin hastalarımızın klinik sonuçlarıyla olan korelasyonu belirlenmemesi,
4. Çalışmaya dahil edilen hastaların tanılarının farklı olması,
5. Nörofizyolojik değerlendirmede MEP amplitüdleri birçok faktörden etkilenmektedir. Bunun önüne geçmek çalışmamızda standart anestezi ekibi ve aynı model İONM cihazı kullanılmıştır.

VIII. SONUÇ

1. Çalışmamıza dahil edilen dejeneratif omurga hastalığı olan hastaların ortalama yaşları ve cinsiyet dağılımları literatürle uyumludur.
2. Hastalara en sık TLIF uygulanan seviye L4-L5 olup, literatürle uyumludur.
3. Hastalarımızda operasyon sonrası dekompresyon uygulanan tarafın karşı sağlam tarafında MEP amplitüdlerinde anlamlı yükselme olmamıştır. Bu durum MEP amplitüdlerinin dekompresyonla ilişkili olarak yükseldiğini göstermek açısından önemlidir.
4. Hastaların hepsinde postoperatif disk yüksekliklerinde artış görülmüştür. Disk yüksekliklerinde artış orta disk yüksekliğinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Arka disk yüksekliğindeki artışın ön ve orta disk yüksekliklerine kıyasla görece düşük olması lomber lordozun sağlanmasına katkı sağlamıştır.
5. TLIF'in esas hedefleri disk yüksekliğini, lomber lordozu ve füzyonu sağlamaktır. Kafes ve disk yükseklikleriyle MEP değişimi arasında korelasyon bulunmamıştır, bununla birlikte postoperatif foraminal alan genişliği ile MEP değişimi arasında pozitif korelasyon saptanmıştır. MEP değerleri, operasyon sırasında foraminal alanın genişliğinin yeterliliği hakkında bilgi verebilir. Ancak MEP değişimi ile disk yükseklikleri arasında korelasyon olmadığı için, MEP'in lomber lordozun sağlanmasına katkısı yoktur.
6. TLIF hastalarında preoperatif LLA hesaplanması, operasyon sırasında istenilen LLA'ya ulaşmak açısından önemlidir. Hastalarımızda TLIF sonrası LLA ile birlikte SLA ve SDA da artmıştır.
7. Hastalarımız için GAP skorlarına göre hesaplanan ideal LLA ortalaması, çalışmamızda elde edilen postoperatif LLA ortalamasına göre yaklaşık 8° daha yüksektir ve bu fark hastalarda her zaman ideal segmental lordozun sağlanamamasına bağlanmaktadır.

IX. KAYNAKLAR

1. Moskowitz A: Transforaminal lumbar interbody fusion. *Orthop Clin North Am* 2002; 33: 359-366.
2. Goz V, Weinreb JH, Schwab F, et al. Comparison of complications, costs, and length of stay of three different lumbar interbody fusion techniques: an analysis of the Nationwide Inpatient Sample database. *Spine J* 2014; 14: 2019-2027.
3. Cloward RB. The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. I. Indications, operative technique, after care. *J Neurosurg* 1953; 10: 154-168.
4. Cole CD, McCall TD, Schmidt MH, Dailey AT. Comparison of low back fusion techniques: transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) or posterior lumbar interbody fusion (PLIF) approaches. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2009; 2: 118-126.
5. De Kunder SL, Rijkers K, Caelers IJ, de Bie RA, Koehler PJ, van Santbrink H. Lumbar interbody fusion: a historical overview and a future perspective. *Spine* 2018; 43: 1161-1168.
6. Daniel JW, Botelho RV, Milano JB, Dantas FR, Onishi FJ, Neto ER, Bertolini EF, Borgheresi MAD, Joaquim AF. Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: a systematic review and meta-analysis. *Spine* 2018; 43 :1154-1160.
7. Fehlings MG, Brodke DS, Norvell DC, Dettori JR. The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: does it make a difference? *Spine* 2010; 35: 37-46.
8. Langeloo DD, Lelivelt A, Louis Journée H, Slappendel R, de Kleuver M: Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients. *Spine* 2003; 28:1043-1050.
9. Hilibrand AS, Schwartz DM, Sethuraman V, Vaccaro AR, Albert TJ. Comparison of transcranial electric motor and somatosensory evoked potential monitoring during cervical spine surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2004 ;86: 1248-1253.
10. Ould-Slimane M, Lenoir T, Dauzac C, Rillardon L, Hoffmann E, Guigui P, Ilharreborde B. Influence of transforaminal lumbar interbody fusion procedures on spinal and pelvic parameters of sagittal balance. *Eur Spine J* 2012; 21: 1200-1206.
11. Harms J, Rolinger H. A one-stager procedure in operative treatment of spondylolistheses: dorsal traction-reposition and anterior fusion. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1982; 120: 343-347.
12. Brantigan JW, Steffee AD, Lewis ML, et al. Lumbar interbody fusion using the

- Brantigan I/F cage for posterior lumbar interbody fusion and the variable pedicle screw placement system: two-year results from a food and drug administration investigational device exemption clinical trial. *Spine* 2000; 25: 1437-1446.
13. Martinelli TC, Effgen EA, Brazolino MAN, Cardoso IM, Maia TC, Jacob Junior C. Evaluation of the discal height gain and lumbar lordosis variation obtained by the techniques of transforaminal and posterior lumbar intersomatic fusion. *Rev Bras Orto*. 2018; 53: 527-531.
 14. Alimi M, Shin B, Macielak M, Hofstetter CP, Njoku I, Jr, Tsiouris AJ, et al. Expandable polyaryl-ether-ether-ketone spacers for interbody distraction in the lumbar spine. *Global Spine J* 2015; 5: 169-178.
 15. Tohmeh AG, Khorsand D, Watson B, et al. Radiographical and clinical evaluation of extreme lateral interbody fusion: effects of cage size and instrumentation type with a minimum of 1-year follow-up. *Spine* 2014; 39: 1582-1591.
 16. Marulanda GA, Nayak A, Murtagh R, Santoni BG, Billys JB, Castellvi AE. A cadaveric radiographic analysis on the effect of extreme lateral interbody fusion cage placement with supplementary internal fixation on indirect spine decompression. *J Spinal Disord Tech* 2014; 27 :263-270.
 17. Schiffman M, Brau SA, Henderson R, et al. Bilateral implantation of low-profile interbody fusion cages: subsidence, lordosis, and fusion analysis. *Spine* 2003; 3: 377-387.
 18. Standring S. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice* 41st edition. Back. Elsevier, 2016; Chapter 43: 709-750.
 19. Harkowitz H, Garfin S, Eismont F, Parke W, Bono C. Rothman-Simeone *The Spine*. Sixth ed. *Applied anatomy of the spine*. Saunders-Elsevier, 2011; Chapter 2: 15-54.
 20. Harkowitz H, Garfin S, Eismont F, Brown S, Ward S. Rothman-Simeone *The Spine*. Sixth ed. *The intervertebral disc: normal, aging and pathologic*. Saunders-Elsevier: 2011; Chapter 5: 97-109.
 21. Harkowitz H, Garfin S, Eismont F, Marras W. Rothman-Simeone *The Spine*. Sixth ed. *Biomechanics of the spinal motion segment*, Saunders- Elsevier: 2011; Chapter 6: 109-129.
 22. Kuofi HS, Badawi M, Fatani JA. Ligaments associated with lumbar intervertebral foramina. *J Anat* 1988; 156: 177-183.
 23. Epstein BS, Epstein JA, Lavine L. The effect of anatomic variations in the lumbar vertebrae and spinal canal on cauda equina and nerve root syndromes. *Am J*

- Roentgenol 1964; 42: 91-99.
24. Magnusson PB. Differential diagnosis of causes of pain in the lower back accompanied by sciatic pain. *Ann Surg* 1944; 119: 878-901.
 25. Ebraheim NA, Xu R, Darwich M, et al. Anatomic relations between the lumbar pedicle and the adjacent neural structures. *Spine*. 1997; 15: 2338-2341.
 26. Inoue N, Espinoza Orias AA. Biomechanics of intervertebral disk degeneration. *Orthop Clin North Am* 2011; 42: 487-499.
 27. Oxland TR. Fundamental biomechanics of the spine--What we have learned in the past 25 years and future directions. *J Biomech* 2016; 49: 817-832.
 28. White AA 3rd, Panjabi MM. The basic kinematics of the human spine. A review of past and current knowledge. *Spine* 1978; 3: 12-20.
 29. Benzel EC, Kayanja M, Fleischman A, Roy S. Spine biomechanics: Fundamentals and future. *Clin Neurosurg* 2006; 53: 98-105.
 30. Yoganandan N, Ray G, Pintar FA, Myklebust JB, Sances A Jr: Stiffness and strain energy criteria to evaluate the threshold of injury to an intervertebral joint. *J Biomech* 1989; 22: 135-442.
 31. Dolan P, Adams MA, Hutton WC. Commonly adopted postures and their effect on the lumbar spine. *Spine* 1988; 13: 197-201.
 32. Adams MA, McNally DM, Chinn H, Dolan P: Posture and the compressive strength of the lumbar spine. International Society of Biomechanics Award Paper *Clin Biomech* 1994; 9: 5-14.
 33. Adams MA, Hutton WC: The effect of posture on the role of the apophysial joints in resisting intervertebral compressive forces. *J Bone Joint Surg Br* 1980; 62: 358-362.
 34. Kushchayev SV, Glushko T, Jarraya M, Schuleri KH, Preul MC, Brooks ML, Teytelboym OM. ABCs of the degenerative spine. *Insights Imaging* 2018; 9: 253-274.
 35. Gallucci M, Limbucci N, Paonessa A, Splendiani A. Degenerative disease of the spine. *Neuroimaging Clin N Am*. 2007; 17: 87-103.
 36. Kirkaldy-Willis WH, Farfan HF. Instability of the lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res* 1982; 165: 110-123.
 37. Peng BG. Pathophysiology, diagnosis, and treatment of discogenic low back pain. *World J Orthop* 2013; 4: 42.
 38. Hurri H, Karppinen J. Discogenic pain. *Pain* 2004; 112: 225-228.
 39. Fritzell P, Hagg O, Wessberg P: Nordwall Anders, Swedish Lumbar Spine Study Group: Fusion versus nonsurgical treatment for chronic low back pain. *Spine* 2001;

- 26: 2521-2534.
40. Wang JC, Dailey AT, Mummaneni PV, Ghogawala Z, Resnick DK, Watters WC 3rd, Groff MW, Choudhri TF, Eck JC, Sharan A, Dhall SS, Kaiser MG. Guideline update or the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 8: lumbar fusion for disc herniation and radiculopathy. *J Neurosurg Spine* 2014; 21: 48-53.
 41. Spengler DM, Ouellette EA, Battié M, Zeh J. Elective discectomy for herniation of a lumbar disc. Additional experience with an objective method. *J Bone Joint Surg Am* 1990; 72: 230-237.
 42. Amandeep Bhalla, Christopher M. Bono, Andrew J. Schoenfeld and Steven R. Garfin Rothman-Simeone and Herkowitz's *The Spine*, Chapter 47, 839-868.
 43. Verbiest H. Pathomorphologic aspects of developmental lumbar stenosis. *Orthop Clin North Am* 1975, 6: 177-196.
 44. Yone K, Sakou T, Kawauchi Y, Yamaguchi M, Yanese M. Indication of fusion for lumbar spinal stenosis in elderly patients and its significance. *Spine* 1996; 21: 242-248.
 45. Chetan K Spinal Stenosis: Pathophysiology, Clinical Diagnosis, and Differential Diagnosis Patel and Eeric Truumees Rothman-Simeone and Herkowitz's *The Spine*, Chapter 61, 1019-1032
 46. Macnab I. Spondylolisthesis with an intact neural arch: the so-called pseudo-spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Br.* 1950; 32: 325-333.
 47. Bird HA, Eastmond CJ, Hudson A, Wright V. Is generalized joint laxity a factor in spondylolisthesis? *Scand J Rheumatol* 1980; 9: 203-205.
 48. Ha Kee-Yong, Chang Cheong-Ho, Kim Ki-Won, et al. Expression of estrogen receptor of the facet joints in degenerative spondylolisthesis. *Spine* 2005; 30: 562-566.
 49. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Røvsing H, et al. Degenerative lumbar spondylolisthesis: an epidemiological perspective: the Copenhagen Osteoarthritis Study. *Spine* 2007; 32: 120-125.
 50. Wood KB, Popp CA, Transfeldt EE, Geissele AE. Radiographic evaluation of instability in spondylolisthesis. *Spine* 1994; 19: 1697-1703.
 51. Sudo H, Oda I, Abumi K, et al. In vitro biomechanical effects of reconstruction on adjacent motion segment: comparison of aligned/kyphotic posterolateral fusion with aligned posterior lumbar interbody fusion/posterolateral fusion. *J Neurosurg* 2003; 99:

- 221-228.
52. Kotwal S, Pumberger M, Hughes A, Girardi F. Degenerative scoliosis: a review. *HSS J* 2011; 7: 257-64.
 53. Glassman SD, Bridwell KH, Shaffrey CI, Edwards CC 2nd, Lurie JD, Baldus CR, Carreon LY. Health-Related Quality of Life Scores Underestimate the Impact of Major Complications in Lumbar Degenerative Scoliosis Surgery. *Spine Deform* 2018; 1: 67-71.
 54. Oskouian RJ Jr, Shaffrey CI. Degenerative lumbar scoliosis. *Neurosurg Clin N Am* 2006; 17: 299-315.
 55. Lin PM. A technical modification of Cloward's posterior lumbar interbody fusion. *Neurosurgery* 1977; 1: 118-124.
 56. Briggs H, Milligan PR. Chip fusion of the low back following exploration of the spinal canal. *J Bone Joint Surg Am* 1944; 26:125-30.
 57. Cloward RB. The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. I. Indications, operative technique, after care. *J Neurosurg* 1953; 10: 154-68.
 58. Boucher H. A method of spinal fusion. *J Bone Joint Surg* 1959; 41: 248-59.
 59. Steffee AD, Sitkowski DJ. Posterior lumbar interbody fusion and plates. *Clin Orthop Relat Res* 1988; 227: 99-102.
 60. Harms JG, Jeszenszky D. Die posteriore, lumbale, interkorporelle Fusion in unilateraler transforaminaler Technik. *Oper Orthop Traumatol.* 1998; 10: 90-102.
 61. Mobbs RJ, Phan K, Malham G, Seex K, Rao PJ. Lumbar interbody fusion: techniques, indications and comparison of interbody fusion options including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF. *J Spine Surg.* 2015; 1: 2-18.
 62. Lin PM, Cautilli RA, Joyce MF. Posterior lumbar interbody fusion. *Clin Orthop Relat Res* 1983; 180: 154-216.
 63. Brantigan JW, Cunningham BW, Warden K, et al. Compression strength of donor bone for posterior lumbar interbody fusion. *Spine* 1993; 18: 1213-1221.
 64. Özkara E, Arslantas A: Transforaminal lomber interbody füzyon *Türk Nöros Derg* 2009; 19: 223-226.
 65. Gum JL, Reddy D, Glassman S. Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF). *J Neurosurg Spine* 2014; 14: 28-29.
 66. Schwender JD, Holly LT, Rouben DP, Foley KT. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): technical feasibility and initial results. *J Spinal*

- Disord Tech 2005 ;18; 1-6.
67. Özgür BM, Aryan HE, Pimenta L, et al. Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J* 2006; 6 :435-443.
 68. Salzmänn SN, Shue J, Hughes AP. Lateral Lumbar Interbody Fusion-Outcomes and Complications. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2017; 10: 539-546.
 69. Parastou Shilian, Gabriel Zada, Aaron C. Kim, and Andres A. Gonzalez Calancie B, Harris W, Brindle GF, Green BA, Landy HJ. Threshold-level repetitive transcranial electrical stimulation for intraoperative monitoring of central motor conduction. *J Neurosurg* 2001; 95: 161-168.
 70. Dawson GD. Cerebral responses to electrical stimulation of peripheral nerve in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1947; 10: 134-140.
 71. Nash CL, Jr, Lorig RA, Schatzinger LA. Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. *Clin Orthop Relat Res.* 1977; 126: 100-105.
 72. Zielinski P, Gendek R, Paczkowski D, et al. Results of intraoperative neurophysiological monitoring in spinal canal surgery. *Neurol Neurochir Pol* 2013; 47: 27-31.
 73. Lee HJ, Kim IS, Sung JH, et al. Significance of multimodal intraoperative monitoring for the posterior cervical spine surgery. *Clin Neurol Neurosurg* 2016; 143: 9-14.
 74. Schwartz DM, Auerbach JD, Dormans JP, et al. Neurophysiologic detection of impending spinal cord injury during surgery for adolescent idiopathic scoliosis: a comparison of transcranial electric motor and somatosensory evoked potential monitoring. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89: 2440-2449.
 75. Devlin VJ, Schwartz DM. Intraoperative neurophysiologic monitoring during spinal surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2007; 15: 549-560.
 76. Calancie B, Donohue ML, Harris CB, Canute GW, Singla A, Wilcoxen KG, Moquin RR. Neuromonitoring with pulse-train stimulation for implantation of thoracic pedicle screws: a blinded and randomized clinical study. Part 1. Methods and alarm criteria. *J Neurosurg Spine* 2014; 20: 675-691.
 77. Stecker MM. A review of intraoperative monitoring for spinal surgery. *Surg Neurol Int* 2012; 3: 174-187.
 78. Sloan TB, Heyer EJ. Anesthesia for intraoperative neurophysiologic monitoring of the spinal cord. *J Clin Neurophysiol* 2002; 19: 430-443.
 79. Sloan TB. Anesthesia management and intraoperative electrophysiological

- monitoring. In: Kohta A, Sloan TB, Toleikis JR, editors. *Monitoring the nervous system for anesthesiologists and other healthcare professionals*, 2nd ed. Cham: Springer; 2017. 317–341.
80. Nunes RR, Bersot CDA, Garritano JG. Intraoperative neurophysiological monitoring in neuroanesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2018 ;31: 532-538
 81. Penfield W, Boldrey E. Somatic Motor and Sensory Representation in the Cerebral Cortex of Man as studied by Electrical Stimulation. *Brain* 1937; 60: 389-443.
 82. Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* 1980; 285: 227
 83. Macdonald DB, Stigsby B, Homoud Al I, et al. Utility of motor evoked potentials for intraoperative nerve root monitoring. *J Clin Neurophysiol* 2012; 29: 118-125
 84. Cofano F, Zenga F, Mammi M, Altieri R, Marengo N, Ajello M, Pacca P, Melcarne A, Junemann C, Ducati A, Garbossa D. Intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery: technical review in open and minimally invasive approaches. *Neurosurg Rev*. 2019; 42: 297-307.
 85. Levy W, McCaffrey M, York D. Motor evoked potential in cats with acute spinal cord injury. *Neurosurgery*. 1986; 19: 9-19.
 86. Aleem AW, Wilent WB, Narzikul AC, Kuntz AF, Chang ES, Williams GR, Abboud JA. Incidence of peripheral nerve injury during shoulder arthroplasty when motor evoked potentials are monitored. *J Clin Monit Comput* 2018; 32: 897-906.
 87. Robert EG, Happel LT, Kline DG. Intraoperative nerve action potential recordings: technical considerations, problems, and pitfalls. *Neurosurgery*. 2009; 65: 97-104.
 88. Elmekaty M, ElMehy E, Försth P, MacDowall A, Elemi AE, Hosni M, Robinson Y. Safety of a novel modular cage for transforaminal lumbar interbody fusion-clinical cohort study in 20 patients with degenerative disc disease. *SICOT J* 2018; 4: 24.
 89. Fukuta S, Miyamoto K, Hosoe H, Shimizu K. Kidney-type intervertebral spacers should be located anteriorly in cantilever transforaminal lumbar interbody fusion: analyses of risk factors for spacer subsidence for a minimum of 2 years. *J Spinal Disord Techn* 2011; 24: 189-195.
 90. Wang H, Chen W, Jiang J, Lu F, Ma X, Xia X. Analysis of the correlative factors in the selection of interbody fusion cage height in transforaminal lumbar interbody fusion. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016; 17: 9-15.

91. Hu YH, Niu CC, Hsieh MK, Tsai TT, Chen WJ, Lai PL. Cage positioning as a risk factor for posterior cage migration following transforaminal lumbar interbody fusion - an analysis of 953 cases. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20: 260-270.
92. Jagannathan J, Sansur CA, Oskouian RJ Jr, Fu KM, Shaffrey CI. Radiographic restoration of lumbar alignment after transforaminal lumbar interbody fusion. *Neurosurgery*. 2009; 64: 955-963.
93. Matsumura A, Taneichi H, Suda K, Kajino T, Moridaira H, Kaneda K. Comparative study of radiographic disc height changes using two different interbody devices for transforaminal lumbar interbody fusion: open box vs. fenestrated tube interbody cage. *Spine* 2006; 31: 871-876.
94. Zhu K, Yan S, Guo S, Tong J, Li C, Tan J, Wan W. Morphological changes of contralateral intervertebral foramen induced by cage insertion orientation after unilateral transforaminal lumbar interbody fusion. *J Orthop Surg Res*. 2019; 14: 79-86.
95. Kim MC, Park JU, Kim WC, Lee HS, Chung HT, Kim MW, Chung NS. Can unilateral-approach minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion attain indirect contralateral decompression? A preliminary report of 66 MRI analysis. *Eur Spine J* 2014; 5: 1144-1149.
96. Cho PG, Park SH, Kim KN, Ha Y, Yoon DH, Shin DA. A morphometric analysis of contralateral neural foramen in TLIF. *Eur Spine J* 2015; 24: 783-790.
97. Jang KM, Park SW, Kim YB, Park YS, Nam TK, Lee YS. Acute contralateral radiculopathy after unilateral transforaminal lumbar interbody fusion. *J Korean Neurosurg Soc* 2015; 58: 350-356.
98. Schwab F, Lafage V, Patel A, Farcy JP. Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient. *Spine* 2009; 34: 1828-1833.
99. Celestre PC, Dimar JR 2nd, Glassman SD. Spinopelvic parameters: lumbar lordosis, pelvic incidence, pelvic tilt, and sacral slope: what does a spine surgeon need to know to plan a lumbar deformity correction? *Neurosurg Clin N Am* 2018; 29: 323-329.
100. Kim SB, Jeon TS, Heo YM, Lee WS, Yi JW, Kim TK, Hwang CM. Radiographic results of single level transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative lumbar spine disease: focusing on changes of segmental lordosis in fusion segment. *Clin Orthop Surg* 2009; 1: 207-213.

101. Uysal M, Ozalay M, Derincek A, Kochai A, Turker M. Effect of PLIF and TLIF on sagittal spinopelvic balance of patients with degenerative spondylolisthesis. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2018; 52: 272-276.
102. Umehara S, Tadano S, Abumi K, Katagiri K, Kaneda K, Ukai T. Effects of degeneration on the elastic modulus distribution in the lumbar intervertebral disc. *Spine* 1996; 21: 811-819.
103. Akamaru T, Kawahara N, Tim Yoon S, et al. Adjacent segment motion after a simulated lumbar fusion in different sagittal alignments: a biomechanical analysis. *Spine* 2003; 28: 1560-1566.
104. Hsieh PC, Koski TR, O'Shaughnessy BA, Sugrue P, Salehi S, Ondra S, Liu JC. Anterior lumbar interbody fusion in comparison with transforaminal lumbar interbody fusion: implications for the restoration of foraminal height, local disc angle, lumbar lordosis, and sagittal balance. *J Neurosurg Spine* 2007; 7: 379-386.
105. Protopsaltis T, Schwab F, Bronsard N, Smith JS, Klineberg E, Mundis G, Ryan DJ, Hostin R, Hart R, Burton D, Ames C, Shaffrey C, Bess S, Errico T, Lafage V; International Spine Study Group. TheT1 pelvic angle, a novel radiographic measure of global sagittal deformity, accounts for both spinal inclination and pelvic tilt and correlates with health-related quality of life. *J Bone Joint Surg Am* 2014; 96: 1631-1640.
106. Yilgor C, Sogunmez N, Boissiere L, Yavuz Y, Obeid I, Kleinstück F, Pérez-Grueso FJS, Acaroglu E, Haddad S, Mannion AF, Pellise F, Alanay A; European Spine Study Group (ESSG). Global alignment and proportion (GAP) score: development and validation of a new method of analyzing spinopelvic alignment to predict mechanical complications after adult spinal deformity surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2017; 99: 1661-1672.

X. ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Yasin Sayar

Doğum Tarihi ve Yeri : 30 Haziran 1987, Ankara

Medeni Durumu : Evli

Yabancı Dil : İngilizce

Mail adresi : ysnsayar@gmail.com

Telefon : 05547265163

Adres : Molla Gürani Mah. Ördek Kasap Çıkmazı Sok. 4/9
Fatih/İstanbul

Eğitim

İlköğretim : 1993-1998 Emniyetçiler İlkokulu, Ankara
1998-2001 Bahçelievler İlköğretim Okulu, Ankara

Lise : 2001-2005 Ankara Fen Lisesi, Ankara

Yükseköğretim : 2006-2013 Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi İngilizce Tıp,
Ankara

Tıpta Uzmanlık Eğitimi : 2014-Günümüz İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi
Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, İstanbul

Katıldığı Kurslar:

1. PEV – GKD kursu, 16-17 Aralık 2017, Baltalimanı Kemik Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul
2. Ekstremitte Rekonstruksiyon Okulu, 16-17 Kasım 2018, Memorial Bahçelievler Hastanesi
3. 11. İleri Artroplasti Kursu, 1-2 Aralık 2017, Özel Ortopedia Hastanesi, Adana
4. 13. Temel Artroplasti Kursu, 5-6 Mayıs 2017 Divan Otel, Ankara
5. 17. Temel Bilimler ve Araştırma Okulu, 8-10 Haziran 2018, Acıbadem Üniversitesi Tıp Fakültesi, İstanbul
6. Temel Artroskopik Motor Beceri Gelistirme Kursu, 21-22 Aralık 2017, Dr. Veli Lök Laboratuvarı Marmara Üniversitesi, İstanbul

Katıldığı Kongre ve Toplantılar:

1. 26. Ulusal Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, 24-29 Ekim 2016, Antalya, Türkiye
2. 13. Türkiye Spor Yaralanmaları Artroskopisi ve Diz Cerrahisi (TUSYAD) Kongresi, 22-26 Kasım 2016, İstanbul
3. 7. Ortopedi ve Travmatoloji İstanbul Buluşması, 3-5 Mayıs 2018, İstanbul

Ulusal Kongrelerde Sözlü Bildiriler:

Mehmet Ekinci, **Yasin Sayar**, Turgut Akgül, Yücel Bilgin, Ahmet Salduz, Önder İsmet Kiliçoğlu, Önder Yazıcıoğlu, İrfan Öztürk. Asetabuler komponent Revizyonu Yapılan Hastalarda Femoral Komponent Sağkalımı. 26. Ulusal Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, 25- 30 Ekim 2016, Antalya

Mehmet Ekinci, **Yasin Sayar**, Turgut Akgül, Yücel Bilgin, Ahmet Salduz, Önder İsmet Kiliçoğlu, Önder Yazıcıoğlu, İrfan Öztürk. Asetabuler komponent Revizyonu Yapılan Hastalarda Femoral Komponent Sağkalımı, 10. Ulusal Artroplastisi Kongresi, 30 Mart-2 Nisan 2017, Antalya

Ulusal Kongrelerde Posterler:

Yücel Bilgin, **Yasin Sayar**, Mehmet Ekinci, Turgut Akgül, Ömer Naci Ergin, İrfan Öztürk, Mehmet Kocaoğlu. Modüler Femoral Boyunlu Total Kalça Artroplastisinde Uzun Dönem Sonuçlar 26. Ulusal Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, 25-30 Ekim 2016, Antalya

Uluslararası Kongrelerde Sözlü Sunumlar:

Mehmet Ekinci, **Yasin Sayar**, Turgut Akgül, Yücel Bilgin, Melih Civan, Ahmet Salduz, Önder İsmet Kiliçoğlu, Önder Yazıcıoğlu, İrfan Öztürk. Femoral Component Survival in Patients with Acetabular Component Revision. 20. Asia Pacific Orthopaedic Association Congress, 10-14 Nisan 2018, Antalya

Uluslararası Kongrelerde Posterler:

Mehmet Ekinci, Turgut Akgül, **Yasin Sayar**, Yücel Bilgin, Ahmet Salduz, İrfan Öztürk, Önder İsmet Kiliçoğlu. Femoral Component Survival In Patients Who Have Undergone Isolated Acetabular Cup Revision. 18th EFORT Congress, 31 Mayıs-2 Haziran 2017, Viyana

XI. ETİK KURUL



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL TIP FAKÜLTESİ
KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU



Sayı : 694
Konu: Doç. Dr. Turgut AKGÜL hk.

Tarih : 17.05.2019

Sayın Doç. Dr. Turgut AKGÜL
Ortopedi ve Travmatoloji

İlgi: Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalının 07/05/2019 gün ve 90806 sayılı yazısı

Sorumlu araştırmacılığını üstlendiğiniz ve Dr. Yasin SAYAR' ın yürüteceği 2019/658 dosya numaralı "Transforaminal lomber interbody füzyon ameliyatında cage yüksekliğini belirlemede intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon kullanımı etkinliğinin değerlendirilmesi" başlıklı çalışma kurulumuzun 10/05/2019 tarih ve 09 sayılı toplantısında görüşülerek etik yönden uygun bulunmuş olup, tutanaklar ekte sunulmuştur.

Bilgilerinizi rica ederim.

Prof. Dr. A.Yağız ÜRESİN

İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar

Etik Kurul Başkanı

Eki: İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmaları Etik Kurulu Karar Formu