T.C. SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
ANKARA ATATÜRK SANATORYUM SAĞLIK UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
RADYOLOJİ KLİNİĞİ

MANYETİK REZONANS İNCELEMEDE SPİNAL MENİNGİOM-SCHWANNOMA AYRIMINDA RADİOMİKS TEKSTÜR ANALİZİNİN KULLANIMI

Dr. Yasin Celal GÜNEŞ

TIPTA UZMANLIK TEZİ

ANKARA / 2022

T.C. SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
ANKARA ATATÜRK SANATORYUM SAĞLIK UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
RADYOLOJİ KLİNİĞİ

MANYETİK REZONANS İNCELEMEDE SPİNAL MENİNGİOM-SCHWANNOMA AYRIMINDA RADİOMİKS TEKSTÜR ANALİZİNİN KULLANIMI

Dr. Yasin Celal GÜNEŞ

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Semra DURAN

(TIPTA UZMANLIK TEZİ)

ANKARA / 2022

TEŞEKKÜR

Öncelikle radyoloji uzmanlık eğitimim süresince, eğitimime Ankara Atatürk Sanatoryum Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde katkıda bulunan Prof. Dr. Selma Uysal Ramadan'a ve Uzm. Dr. Cansu Öztürk'e, başta Prof. Dr. Muharrem Tola ve Uzm. Dr. Karabekir Ercan olmak üzere, değerli bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan Ankara Şehir Hastanesi radyoloji bölümünün kıymetli hocalarına ve uzmanlarına,

Tez sürecindeki yardımları ve hoşgörüsü için tez danışmanım Doç. Dr. Semra Duran'a,

Birlikte çalışmaktan keyif aldığım tüm asistan arkadaşlarıma ve klinik personeline,

Hayatım boyunca bana destek olan, hep yanımda olduklarını hissettiren ve haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili babam Mehmet Güneş ve annem Neşe Güneş'e, abim Ahmet Kürşad Güneş'e, ablalarım Remime Güneş Küçük ile Fatma Ülkü Kavruk'a ve evimizin neşesi minik yeğenlerime,

Hayatımın her alanında olduğu gibi tez hazırlık sürecimde de desteğini esirgemeyen sevgili eşim Büşra Özal Güneş'e ve ailesine

teşekkürlerimi sunarım…

Dr. Yasin Celal GÜNEŞ

Ankara, 2022

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
KISALTMALAR iii
TABLO LİSTESİ iv
ŞEKİL LİSTESİ vi
ÖZET viii
ABSTRACT x
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2. GENEL BİLGİLER 3
3. GEREÇ VE YÖNTEM 35
4. BULGULAR 43
5. TARTIŞMA 59
6. SONUÇ 64
7. KAYNAKLAR 65
ÖZGEÇMİŞ 70
EKLER 71

KISALTMALAR

AUC : Area Under Curve (Eğri Altında Kalan Alan)

CI : Confidence Interval (Güven Aralığı)

CNN : Convolutional Neural Network (Konvolüsyonel Sinir Ağları)

DAG : Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme

DICOM : Digital Imaging and Communications in Medicine (Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim)

DSÖ : Dünya Sağlık Örgütü

FLAIR : Fluid Attenuated Inversion Recovery

FOV : Field of View (Görüntüleme Alanı)

FSE : Fast Spin Echo (Hızlı Spin Eko)

GLCM : Gray Level Co-occurrence Matrix

GLDM : Gray Level Dependence Matrix

GLRLM : Gray Level Run Lenght Matrix

GLSZM : Gray Level Size Zone Matrix

kNN : K-Nearest Neighborhood (K-En Yakın Komşu)

ML : Makine Öğrenmesi

MRG : Manyetik Rezonans Görüntüleme

NGTDM : Neighborhood Gray Tone Difference Matrix

PACS : Picture Archiving Communicating Systems (Görüntü Arşivleme ve İletişim Sistemleri)

ROC : Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşletim Karakteristiği)

ROI : Region of Interest (İlgilenilen Bölge)

SVM : Support Vector Machines (Destek Vektör Makineleri)

T1AG : T1 Ağırlıklı Görüntüler

T2AG : T2 Ağırlıklı Görüntüler

VOI : Volume of Interest (İlgilenilen Volüm)

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Spinal Kord Traktları 8
Tablo 2. İntradural Ekstramedüller Tümörler 13
Tablo 3. İntradural İntramedüller Tümörler 14
Tablo 4. Ekstradural Tümörler 14
Tablo 5. DSÖ Sınıflamasına Göre Spinal Meningionm Alt Tipleri 16
Tablo 6. Şekil Bazlı Özellikler 29
Tablo 7. Birinci Derece Özelikler.....30
Tablo 8. Gray Level Co-occurrence Matrix Özelikleri.....30
Tablo 9. Gray Level Size Zone Matrix Özellikleri.....31
Tablo 10. Gray Level Run Length Matrix Özellikleri 32
Tablo 11. Neighbouring Gray Tone Difference Matrix Özellikleri 32
Tablo 12. Gray Level Dependence Matrix Özellikleri 33
Tablo 13. MRG Protokolleri 38
Tablo 14. Konvansiyonel MRG Verileri.....39
Tablo 15. Meningiom ve schwannoma grubuna ait T1AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametreleri 50
Tablo 16. Meningiom ve schwannoma grubuna ait T2AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametreleri 51
Tablo 17. Meningiom ve schwannoma grubuna ait STIR sekansında elde edilen radiomiks tekstür analizi parametreleri.....52
Tablo 18. Meningiom ve schwannoma grubuna ait post-kontrast T1AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametreleri 53
Tablo 19. Meningiom ve schwannoma grubuna ait T1AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametrelerinin ROC analizi sonuçları.....53
Tablo 20. Meningioma ve schwannoma grubuna ait T2AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametrelerinin ROC analizi sonuçları.....54
Tablo 21. Meningioma ve schwannoma grubuna ait STIR sekansında elde edilen radiomiks tekstür analizi parametrelerinin ROC analizi sonuçları.....54

Tablo 22. Meningioma ve schwannoma grubuna ait post-kontrast T1AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametrelerinin ROC analizi sonuçları 55
Tablo 23. Oluşturulan üç farklı modelin performansları 57

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Embriyolojik hayatta nöral tüp, nöral krest ve somitlerin gelişimi 5
Şekil 2. Spinal kordun eksternal morfolojisinin illüstrasyonu 6
Şekil 3. Spinal kordun gross anatomisi 7
Şekil 4. Gri maddenin iç yapısı ve Rexed Laminaları 9
Şekil 5. Beyaz madde içerisinde seyreden asendan ve desendan traktlar 9
Şekil 6. Spinal kordu saran üç meningeal yapı; dura, araknoid ve pia mater 11
Şekil 7. Spinal kordu asan dentikulat ligaman ve spinal membranlar ile ilişkisi 11
Şekil 8. Spinal kordun arteyal beslenmesi ve venöz drenajı 13
Şekil 9. Ekstradural, intradural-ekstramedüller ve intradural-intramedüller spinal kord tümörlerinin çizim ile yapılmış illüstrasyonu.....15
Şekil 10. Bayoumi ve arkadaşları tarafından 2017 yılında tariflenen spinal meningiom sınıflaması.....19
Şekil 11. Spinal schwannomalara yönelik İbrahim Sun ve M. Necmettin Pamir'in yaptığı sınıflama 24
Şekil 12. Servikal yerleşimli spinal schwannomalara yönelik Asazuma ve arkadaşlarının 2004 yılında yaptığı sınıflama. 25
Şekil 13. Görüntüdeki piksel ve voksel değerlerinin spasyal dağılımı ve ilişkisini ortaya koyan spesifik matriksler (a) Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM), (b) Gray Level Run Length Matrix (GLRLM), (c) Gray Level Size Zone Matrix (GLSZM), (d) Neighboring Gray Tone Difference Matrix (NGTDM).....33
Şekil 14. Dört farklı makine öğrenmesinin illüstrasyonu. Kırmızı ve lacivert renkler etiketlenmiş dataları, gri renk etiketlenmemiş dataları, siyah çizgi gruplar arası karar eğrisini, çizgili renkler ise pekiştirmeli öğrenmedeki dataları temsil etmektedir 35
Şekil 15. Çalışmanın akış şeması 37
Şekil 16. A. Spinal kordda basılanma (ok), B. Spinal kordda myelomalazi (ok), C. Tümör içi kistik değişiklik (ok).....40
Şekil 17. A. Diffüz homojen kontrastlanma (ok), B. Rim tarzı kontrastlanma(ok), C. Heterojen kontrastlanma (ok), D. Dural kuyruk işareti (ok).....40
Şekil 18. A. Nöral foramene uzanım (ok), B. "Gingko leaf" işareti, C. Tümörün spinal kanaldaki lokalizasyonu (ok) 40

Şekil 19. Sagittal T2AG, sagittal T1AG, sagittal post-kontrast T1AG ve STIR sekanslarında Olea Sphere 3.1 SP-28 yazılımı kullanılarak Region of Interest (ROI) "serbest el" tekniği her kesitte işaretlenmesi. Segmentasyon işlemi tümörün her görüldüğü kesitte uygulanarak tümöre ait VOI'ler oluşturulmaktadır (A-H) 42
Şekil 20. Meningiom ve schwannoma gruplarına ait yaş ve en uzun boyut kutu grafileri 46
Şekil 21. Semantik özelliklerden tümör lokalizasyonu, uzanımı, cinsiyet, kistik değişiklik, korda bası, myelomalazi ve "gingko leaf" işaretine ait bar grafikleri 47
Şekil 22. Semantik özelliklerden dural kuyruk işareti ve nöral foramene uzanıma ait bar grafikleri 48
Şekil 23. Semantik özelliklerden kontrastlanma paternlerine ait bar grafikleri 49
Şekil 24. Model 1'e ait ROC analizi eğrisi 58
Şekil 25. Model 2'ye ait ROC analizi eğrisi 58
Şekil 26. Model 3'e ait ROC analizi eğrisi 59

ÖZET

Amaç: Spinal meningiom ve schwannoma, en sık gözlenen intradural ekstramedüller yerleşimli spinal kord tümörleridir. Cerrahi tedavi yaklaşımı farklılık gösteren bu iki patolojinin preoperatif dönemde tanısı önem arz etmektedir. Bu çalışmada amacımız her iki tümörün ayrımında kullanılabilecek radiomiks analiz parametrelerini saptamaktır. Ayrıca destek vektör makinesi kullanılarak konvansiyonel MR verilerinden elde edilen semantik özellikler, radiomiks tekstür analizi verileri ve her iki yöntemin birlikte kullanıldığı kombine model olmak üzere üç farklı makine öğrenmesi temelli modelin bu iki tümörün ayırıcı tanısına katkısını araştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmada 01.02.2019-27.06.2022 tarihleri arasında Ankara Şehir Hastanesi'nde spinal kitleye yönelik cerrahi operasyon yapılan ve histopatolojik tanısı spinal meningiom veya schwannoma olan 101 hasta retrospektif olarak değerlendirildi. Kriterlere uyan 51 hasta (15 erkek, 36 kadın) çalışmaya dahil edildi. Konvansiyonel MR verileri olarak tümörün yerleşim yeri, en uzun çapı, nöral foramene uzanımı, spinal kanaldaki yerleşimi, spinal korda bası ve myelomalazi varlığı, tümör kontrastlanma paterni, dural kuyruk ve "gingko leaf" işareti kullanıldı. Radiomiks tekstür analizi ise spinal MR sekanslarından (T1AG, T2AG, STIR, post-kontrast T1AG) elde edilen toplam 444 radiomiks parametresi ile değerlendirildi. Değerlendirme birbirinden bağımsız iki radyolog tarafından yapıldı.

Bulgular: Çalışmaya toplam 51 hasta dahil edildi. Birinci grupta yirmi beş hasta spinal meningiom (%49), ikinci grupta ise 26 hastada (%51) schwannoma tanısı aldı. Her iki tümör kadınlarda erkeklere göre daha sık olup istatiksel olarak anlamlı idi (p=0.039). Meningiom hasta grubunun yaş ortalaması 53.16 ± 19.38 yıl iken schwannoma hasta grubunda 45.08 ± 19.94 yıl olup istatiksel olarak anlamlı idi (p=0.134). Lezyonların en uzun boyutu arasında istatiksel olarak anlamlı fark olup schwannomaların uzun aksı daha büyük idi (p=0.03). Meningiomlarda torasik yerleşim (%52) daha sık iken, schwannomalarda lomber yerleşim daha sık idi (%34.6). Her iki grup arasında konvansiyonel MR verilerinden elde edilen semantik özelliklerden istatiksel olarak anlamlı farklılık oluşturanlar; dural kuyruk işareti, tümör içi kistik değişiklik, nöral foramen uzanım, spinal korda bası ve "gingko leaf" işaretidir (p<0.001, 0.003, 0.002, <0.001, 0.01). Değerlendirilen 444 radiomiks parametresinden ICC≥0.75 olan 186

parametre bulundu ve 56 tanesi arasında istatiksel anlamlı fark saptandı. Her iki grubun ayrımını en iyi sağlayan radiomiks parametresi T1AG'den elde edilen Gray Level Size Zone Matrix Gray Level Non Uniformity'dir. Konvansiyonel MR görüntülerinden elde edilen veriler ile oluşturulmuş modelde eğri altında kalan alan (AUC) 0.902 (%95 CI: 0.807-0.996), doğruluk 0.882 (%95 CI: 0.766-0.944), sensitivite 0.884 (%95 CI: 0.768-0.946), spesifite 0.880 (%95 CI: 0.763-0.943), pozitif kestirim oranı 0.884 (%95 CI: 0.768-0.946), negatif kestirim oranı 0.880'dir (%95 CI: 0.763-0.943).

İkinci model radiomiks tekstür analizi parametrelerinden oluşmakta olup, bu parametrelerin karşılaştırılmasında Mann Whitney U test sonuçlarında Benjamini-Hochberg düzeltmesi R programında "gMWT" paketi kullanılarak elde edildi. Anlamlı çıkan 49 özellik modele dahil edildi. Bu modelde eğri altında kalan alan (AUC) 0.909 (%95 CI: 0.836-0.992), doğruluk 0.843 (%95 CI: 0.719-0.918), sensitivite 0.961 (%95 CI: 0.868-0.989), spesifite 0.720 (%95 CI: 0.584-0.824), pozitif kestirim oranı 0.781 (%95 CI: 0.650-0.872), negatif kestirim oranı 0.947'dir (%95 CI: 0.849-0.982).

Üçüncü modelde ise ilk iki modelde kullanılan konvansiyonel MR verileri ve radiomiks parametreleri kullanıldı. Bu modelde eğri altında kalan alan (AUC) 0.997 (%95 CI: 0.990-1.000), doğruluk 0.960 (%95 CI: 0.868-0.989), sensitivite 1.000 (%95 CI: 0.929-1.000), spesifite 0.920 (%95 CI: 0.812-0.968), pozitif kestirim oranı 0.928 (%95 CI: 0.824-0.973), negatif kestirim oranı 1.000'dir (%95 CI: 0.929-1.000).

Sonuç: Spinal meningiomların ve schwannomaların ayrımında en etkin radiomiks tekstür analizi parametresi T1AG'den elde edilen Gray Level Size Zone Matrix Gray Level Non Uniformity'dir. Radiomiks parametreleri ve konvansiyonel MR verilerinden elde edilen semantik verilerin birleşiminden oluşan kombine model iki tümörü ayırmada en başarılı modeldir.

Anahtar Kelimeler: radiomiks, meningiom, schwannoma, destek vektör makinesi

ABSTRACT

Purpose: Spinal meningioma and schwannoma are the most common intradural extra medullary spinal cord tumours. The preoperative diagnosis of these two pathologies, which differ in their surgical treatment approaches, is significant. The aim of this study is to determine the radiomics analysis parameters that can be used in the differentiation of both tumours as well as to investigate the contribution of three different machine learning-based models of the semantic features obtained from the conventional MR data using a support vector machine, the radiomics texture analysis data, and a combined model using both methods for the differential diagnosis of these two tumours.

Materials and Methods: In this study, 101 patients with histopathologic diagnosis of meningiomas or schwannomas who underwent a spinal surgery in Ankara City Hospital between the dates 01.02.2019 and 27.06.2022 were retrospectively evaluated. 51 patients (15 males, 36 females) who met the criteria were enrolled in the study. The location of the tumour, the longest diameter, the extension to the neural foramen, location in the spinal canal, the presence of spinal cord compression and myelomalacia, the enhancement patterns of the tumour, the dural tail, and the "gingko leaf" sign were used as the conventional MR data. The radiomics texture analysis was performed with a total of 444 radiomics parameters obtained from the spinal MR sequences MRI (T1WI, T2WI, STIR, contrast-enhanced T1WI). The evaluation was conducted by two independent radiologists.

Results: 51 patients were included in the study. 25 meningioma patients (49%) in the first group and 26 patients (51%) in the second group were diagnosed with schwannoma. Both tumours were more common in women than men, which was statistically significant (p=0.039). The mean age of the meningioma patient group was 53.16 ± 19.38 while it was 45.08 ± 19.94 in the schwannoma patient group, which was statistically significant (p=0.134). There was a statistically significant difference between the longest dimension of the lesions, and the dimensions of schwannomas were larger (p=0.03). The thoracic location (52%) was more common in meningiomas whereas the lumbar location was more common in schwannomas (34.6%). The parameters creating statistically significant differences between the two groups from

the semantic features obtained from conventional MR data , are the signs of the dural tail, intra-tumour cystic change, neural foramen extension, spinal cord compression and “gingko leaf” ($p<0.001$, 0.003, 0.002, <0.001, 0.01). A total of 186 parameters with ICC≥0.75 were found out of 444 radiomics parameters evaluated and 56 parameters were detected statistically significant between the two groups. The radiomics parameter that differentiates both groups the best is the Gray Level Size Zone Matrix Gray Level Non Uniformity obtained from T1WI. The area under the curve (AUC) in the model created with data obtained from conventional MR images was 0.902 (95% CI: 0.807-0.996), with the accuracy of 0.882 (95% CI: 0.766-0.944), sensitivity of 0.884 (95% CI: 0.768-0.946), specificity of 0.880 (95% CI: 0.763-0.943), positive prediction rate of 0.884 (95% CI: 0.768-0.946), and negative predictive ratio of 0.880 (95% CI: 0.763-0.943).

The second model consists of the radiomics texture analysis parameters, and the Benjamini-Hochberg correction in Mann Whitney U test results was obtained through the “gMWT” package in the R program in order to compare these parameters. 49 statistically significant features were included in the model. In this model, the area under the curve (AUC) was 0.909 (95% CI: 0.836-0.992) with the accuracy of 0.843 (95% CI: 0.719-0.918), sensitivity of 0.961 (95% CI: 0.868-0.989), specificity of 0.720 (95% CI: 0.584-0.824), positive prediction rate of 0.781 (95% CI: 0.650-0.872), and negative prediction rate of 0.947 (95% CI: 0.849-0.982). In the third model, the conventional MR data and radiomics parameters used in the first two models were preserved. In this model, the area under the curve (AUC) was 0.997 (95% CI: 0.990-1.000), with the accuracy of 0.960 (95% CI: 0.868-0.989), sensitivity of 1.000 (95% CI: 0.929-1.000), specificity of 0.920 (95% CI: 0.812-0.968), positive prediction rate of 0.928 (95% CI: 0.824-0.973), and negative prediction rate of 1.000 (95% CI: 0.929-1.000).

Conclusion: The most effective radiomics texture analysis parameter in the differentiation of spinal meningiomas and schwannomas is the Gray Level Size Zone Matrix Gray Level Non Uniformity obtained from T1WI. The combined model, a combination of the radiomics parameters and semantic data obtained from conventional MR data, is the most successful model in distinguishing between two tumours.

Keywords: radiomics, meningioma, schwannoma, the support vector machine

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Primer spinal kord tümörleri erişkinlerde tüm santral sinir sistemi tümörlerinin yaklaşık %4-16'sını oluşturmaktadır (1-3). Yapılan epidemiyolojik araştırmalarda her 100.000 hastanın 0.74-2.5'inde ise spinal kord tümörüne rastlanmıştır (1-3). Spinal kord tümörleri intradural ekstramedüller ve intradural intramedüller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (4). Bu tümörlerin sınıflandırmasında ise anatomik belirteç olarak dura ve spinal kord ile olan ilişki kullanılmıştır. Spinal kordun glial ve destek hücrelerinden köken alan tümörler intradural intramedüller, periferik sinir kılıfı ya da meninksten köken alan tümörler ise intradural ekstramedüller tümörler olarak sınıflandırılır. İntramedüller tümörler erişkinlerde daha nadir gözlenmekte olup ependimom ve astrositomlar yaklaşık vakaların %80'ini oluşturmaktadır. Primer spinal kord tümörleri en sık 20-50 yaşları arasında görülmektedir (5). Erişkinlerde spinal kord tümörlerinin yaklaşık %85'i ekstramedüller yerleşimli olup spinal schwannoma ve meningiom bu tümörlerin yaklaşık %54-60'ını oluşturmaktadır. Arnautovic ve arkadaşların yaptığı bir çalışmaya göre en sık karşılaşılan intradural ekstramedüller tümör schwannoma (%29) olup ikinci sırada ise spinal meningiom (%25) yer almaktadır (6).

Spinal meningiom ve schwannomanın konvansiyonel manyetik rezonans görüntüleme (MRG) yöntemleri ile ayrımı zordur. Bu ayrım her iki tümör benign olsa da tümör rekürrens oranlarını ve hastaya uygulanacak cerrahi prosedürü belirlemede önemlidir. Bu amaçla literatürde yer alan çalışmalar bu iki tümörün ayrımında; dural kuyruk işaretini, foraminal uzanımını, tümör içi kistik değişiklikleri, tümör-yağ doku sinyal intensite oranını ve "gingko leaf" işaretini, tümörlerin farklı sekanslarda sinyal intensitelerini, kontrastlanma miktarları ve kontrastlanma paternini kullanmışlardır (7-10).

Non-invaziv bir yöntem olan radiomiks tekstür analizi, görüntülerdeki pikselleri ve piksel ilişkilerini sayısal değerlere aktararak farklı dokular arasındaki ayrımı gösterebilmekte ve radyolojik tanının başarısını arttırmaktadır (11). Literatürde radiomiks tekstür analizi ile tümör karakterizasyonunu araştıran çalışmalar yer almaktadır (12,13). Bilgimiz dahilinde spinal meningiom ve schwannomanın ayrımında kullanılan radiomiks tekstür analizi parametreleri bilinmemektedir.

Çalışmamızın amacı meningiom ve schwannoma ayrımında kullanılabilecek MRG bulgularını ve radiomiks parametrelerini saptamak ve makine öğrenmesi temelli algoritmaların operasyon öncesi ayrıma katkısını ortaya koymaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. SPİNAL KORD TARİHÇESİ

Tıp literatüründe spinal kord ile ilgili bilgilere ilk olarak milattan önce 2600 yılında antik Mısır'da bulunan Edwin Smith Papirüsü'nde rastlanmıştır (14). Bu metinde tarihte ilk kez spinal kord yaralanmasına dair bulgular belirtilmiştir. Milattan önce 325-260 yılları arasında yaşayan ve İskenderiye Tıp Okulu'nda görev yapan Herophilus ise günümüzde halen kullanılan "spinal kord" terimini ilk kez kullanmıştır. Milattan sonra 2. yüzyılda Bergamalı Galen ise spinal kordun anatomik ve fizyolojik fonksiyonlarını yaptığı deneysel çalışmalarla ortaya koymuştur (15). Domuz ve maymun gibi hayvanlarda yaptığı deneysel çalışmalar ile spinal kordu, meninksleri ve bunları çevreleyen kemik yapıları göstermiştir. Milattan sonra 7. yüzyılda ise spinal kord travmalarında cerrahi işlemi tarifleyen hekim ise Paulus olup posterior laminektomi kavramını literatüre kazandırmıştır. 16. yüzyılda yaşamış olan Andreaus Vesalius ise sinir sisteminin genel yapısı ve spinal sinir çiftlerinin anatomisini, yazdığı "De Humani Corporis Fabrica" isimli kitapta belirtmiş ve Bergamalı Galen'in çalışmalarını bir adım daha ileriye götürmüştür. 1666 yılında ise Hollandalı anatomist Gerard Blasius da 119 hayvan üzerinde yaptığı deneyler ve oluşturduğu anatomik illüstrasyonlarının yer aldığı "Anatome Medullae Spinalis Nervorum" isimli kitapta, spinal korddaki beyaz ve gri cevher ayrımını ortaya koyan ilk kişi olmuştur. 18. ve 19. yüzyıl boyunca farklı bilim insanları tarafından spinal korddaki değişik traktlar, çapraz noktaları ve nükleuslar tanımlanmıştır (16). Domencio Mistichelli 18. yüzyılın başında spinal kordda farklı traktların seyrini ve varlığını belirtmiştir. "Decussatio Pyramidalis" kavramı ise benzer tarihlerde Francois Pourfour tarafından ilk kez literatürde kullanılmıştır. 19. yüzyılın ortasında Alman cerrah Benedict Stilling tarafından "mikrotom" tanımı yapılmış ve spinal kordun kesitsel anatomisi hakkında önemli bir adım atılmıştır. Ayrıca 19. yüzyılın ortasında Charles Edouard Brown-Sequard spinal kordun histolojisi, morfolojisi ve fonksiyonları hakkında deneysel çalışmalar yapmış olup spinal kord yaralanması sonucu ortaya çıkan Brown-Sequard Sendromu'nu tanımlamıştır. 1906 yılında ise Ramón y Cajal ve Camillo Golgi sinir sistemi ve nöronal yapılar üzerine yaptıkları çalışmalar ile Nobel ödülü kazanan bilim

insanları olmuşlardır (17). 20. ve 21. yüzyılda modern teknolojik gelişmeler ile spinal kordun yapısı ve görevleri hakkında daha ayrıntılı bilgiye sahip olunmuştur.

2.2. SPİNAL KORD EMBRİYOLOJİSİ

Spinal kordun gelişimi 3 ana embriyolojik basamaktan oluşmaktadır. Bunlar 2. ve 3. haftalar arasında izlenen gastrulasyon, 3. ve 4. haftalar arasında izlenen primer nörülasyon ile 5. ve 6. haftalar arasında olan sekonder nörülasyondur (18).

2.2.1. Gastrulasyon

Epiblast ve hipoblast hücrelerinden oluşan embriyonik disk gastrulasyon başlangıcında bilaminer formdadır. Gastrulasyon; embriyonik diskin trilaminer (ektoderm, mezoderm, endoderm) forma geçişini ifade etmekte olup spinal gelişimin ilk aşamasıdır. 14. ve 15. günlerde epiblastik hücrelerin çoğalması ve embriyonik diskin dorsal yüzeyi boyunca orta hatta sıralanması ile primitif çizgi ve primitif oluk oluşmaktadır. Primitif çizginin kranial parçasında düğüm benzeri kalın bir yapı izlenmekte olup Hensen nodu olarak adlandırılmaktadır. Epiblast-hipoblast ara yüzeyi boyunca epiblastik hücrelerin laterale Hensen noduna doğru migrasyonu sonucunda mezoderm oluşmaktadır. Hensen nodu hücreleri ise orta hatta primitif çizgi boyunca vertikal uzanım göstererek notokordu meydana getirmektedir. Notokord oluşturan hücreler ise ileride aksiyel iskeleti ortaya çıkaran yapılar olup nöral ektodermi indüklemektedir. Gastrulasyon aşamasında gerçekleşen anormallikler kaudal agenezi, nöroenterik kist, anterior meningosel ve split kord malformasyonlarına yol açmaktadır (19).

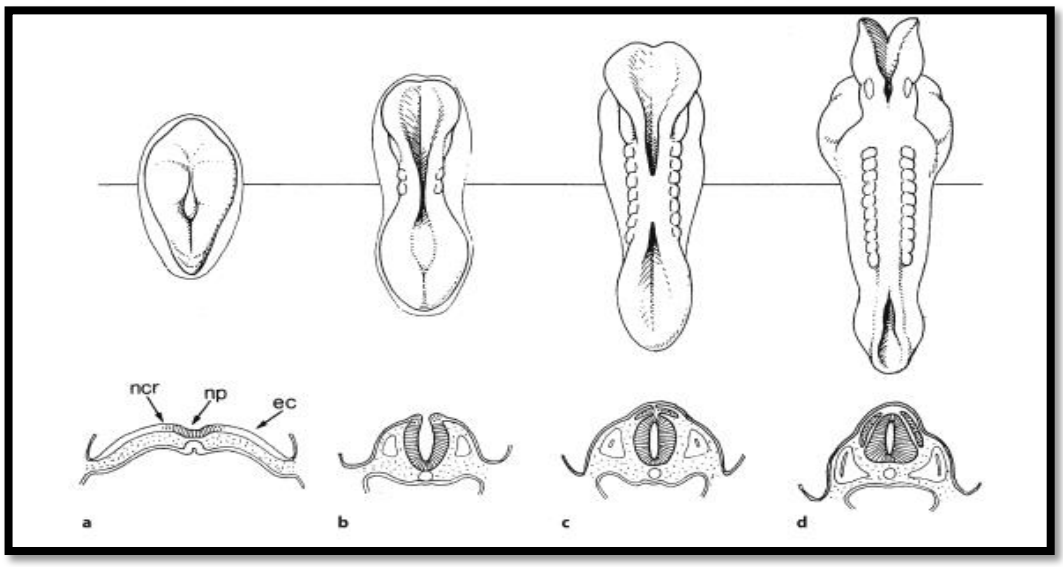
2.2.2. Primer Nörülasyon

Notokord ve üstünde yer alan ektoderm arasındaki ilişki sonucunda nöroektoderm oluşmaktadır. Nöral ektoderm düzgün bir yapı olup kalınlaşarak nöral plakayı meydana getirmektedir. Primer nörülasyonu başlatan temel mekanizma notokord hücreleri tarafından salgılanan ve “Sonic hedgehog” ismi verilen proteinlerdir. Nöral plaka, orta hatta ilerleyici bir şekilde katlanıp bükülerek 18-20. günler arasında öncelikle nöral oluğu, 21. günde ise nöral tüpü oluşturmaktadır. Nöral tüpün kapanması ise her iki yönde ilerleyen fermuar benzeri bir mekanizma ile

sağlanmaktadır. Nöral tüpün kaudal ve kranial kesimlerinin kapanması eş zamanlı olmayıp rostral nöropor 25. günde kapanırken kaudal nöropor 27. ya da 28. günde kapanmaktadır (19, 20). Bu kapanmanın gerçekleşmesi ile primer nörülasyon sonlanmaktadır (Şekil 1). Primer nörülasyon sonucunda beyin ve spinal kordun %90'ını içeren üst bölüm oluşmaktadır. Bu aşamada meydana gelen anormallikler ise açık nöral tüp defektlerine neden olmaktadır.

2.2.3. Sekonder Nörülasyon

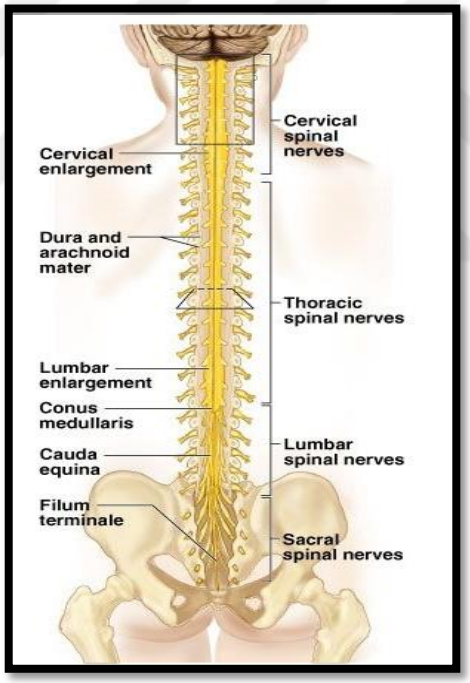
Primer nörülasyonun bitmesinden gestasyonel 48. güne kadar devam eden bu süreçte sekonder nörülasyon gerçekleşmektedir. Primitif çizginin kaudal hücrelerinde gelişen kaudal hücre topluluğu, primitif nöral tüpe ek olarak sekonder nöral tüpü de oluşturmaktadır. Regresyon, dejenerasyon ve değişim süreçlerini içeren retrogresif farklılaşmayla beraber sekonder nöral tüpten konus medullaris ve filum terminale meydana gelmektedir. Konus medullaris içerisinde yer alan terminal ventrikülün ise sekonder nöral tüpten kaynaklanan remnant bir yapı olduğu düşünülmektedir (19, 20). Bu aşamada meydana gelen defektlerde terminal miyelosistosel, gergin filum terminale, persistan terminal ventrikül gibi patolojiler gözlenmektedir (21).



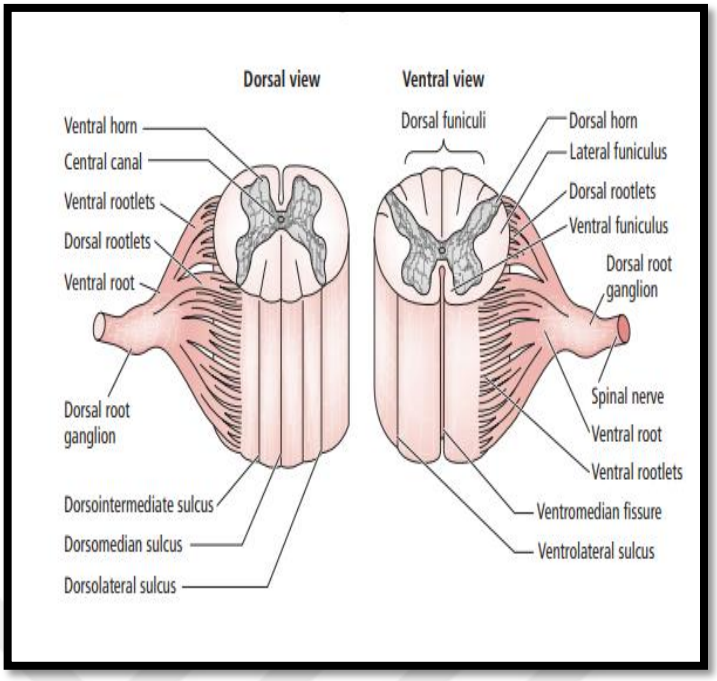
Şekil 1. Embriyolojik hayatta nöral tüp, nöral krest ve somitlerin gelişimi

2.3. SPİNAL KORD ANATOMİSİ

Spinal kord, spinal kanal içerisinde yer alan silindirik şekilli yapıya verilen isimdir. Spinal kord; çevresinde yer alan vertebralar, ligamentler, beyin omurilik sıvısı (BOS), meninksler ve paravertebral kas yapıları ile korunmaktadır. Spinal kord uzunluğu kadınlarda ortalama 42 cm erkeklerde ise ortalama 45 cm'dir. Spinal kord ağırlığı ise yaklaşık 30-35 gramdır. Spinal kord superior kesimde, kranioservikal bileşke düzeyinde medulla oblongata ile devamlılık göstermektedir. İnferior kesimde ise doğum anında genellikle L3 vertebra, erişkinde çağda ise genellikle L1-L2 vertebra düzeyinde sonlanır. Spinal kordun kaudal parçası T12 vertebra düzeyinden itibaren inferiora doğru konik bir şekil göstererek kapanmakta olup, bu bölüme konus medullaris adı verilmektedir (Şekil 2) (22).



Şekil 2. Spinal kordun gross anatomisi



Şekil 3. Spinal kordun eksternal morfolojisinin illüstrasyonu

2.3.1. Spinal Kordun Eksternal Morfolojisi

Spinal kordun dış yüzeyi düzgün olmayıp yer yer sulkus ve fissür denilen lokal derinlik artışları göstermektedir. Spinal kordun dorsal yüzeyinde; orta hatta dorsal median sulkus, midtorasik düzeyden itibaren başlayarak superiora doğru uzanan sağ ve sol dorsal intermediate sulkus ile sağ ve sol dorsolateral sulkus yer almaktadır. Kordun ventral kesiminde ise orta hatta ventral median fissür ile sağ ve sol ventrolateral sulkus bulunmaktadır (Şekil 3). Ayrıca spinal kord düzeyindeki dorsal ve ventral sinir kökleri de spinal kord morfolojisine katkı sağlamaktadır. Spinal kord segmentlerinin bulunmasında ise anatomik nokta olarak kullanılan yapı vertebraların spinöz prosesleridir. Her spinal sinir kökü ilgili düzeydeki spinal kord segmenti ile ilişkilidir. Otuz bir sinir kökü için tanımlanmış 31 farklı spinal kord segmenti mevcuttur. Bunların 8'i servikal, 12'si torakal, 5'i lomber, 5'i sakral ve 1'i koksigeal segmentte bulunmaktadır. Spinal kord, üst ve alt ekstremiteler ile alakalı verilerin alınıp aktarıldığı C4-T1 ve L2-S3 spinal segmentlerinde iki farklı bölgede genişleme göstermektedir. Bu genişlemenin nedeni ise innerve edilen yerlerin daha fazla nöron tarafından elektriksel stimulusunun sağlanmasıdır (22, 23).

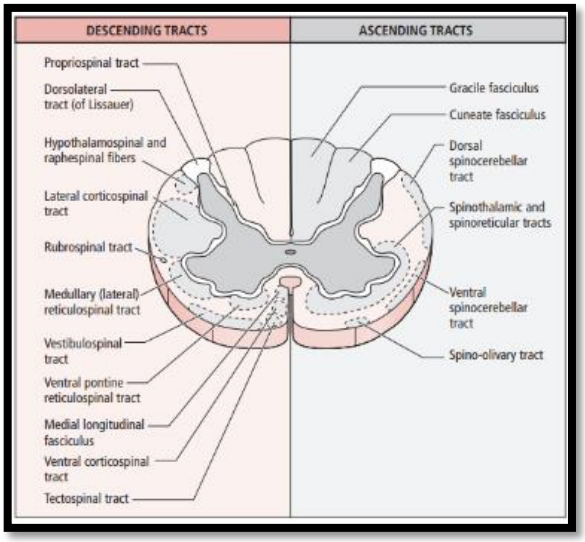
2.3.2. Spinal Kordun İnternal Morfolojisi

Spinal kordun iç yapısında beynin aksine, iç kesimde H şeklinde gri madde ve dış kesimde beyaz madde bulunmaktadır. Gri madde esas olarak nöronlar ve nörogliadan oluşmaktadır. Gri maddenin rengi ise büyük miktarda içerdiği sinir hücrelerinin gövdesinden gelmektedir. 1952 yılında Bror Rexed spinal kord gri maddesini, hücre kompozisyonu ve içerdiği nükleusa göre "Rexed Laminası" ismi verilen 10 bölgeye ayırmıştır (Şekil 4) (24). Kesitsel alan olarak bakıldığında distal servikal ve orta-alt lomber düzeylerde gri madde alanı en fazladır. Bunun nedeni ise üst ve alt ekstremitelerin nöronal beslenmesinin daha fazla olmasıdır.

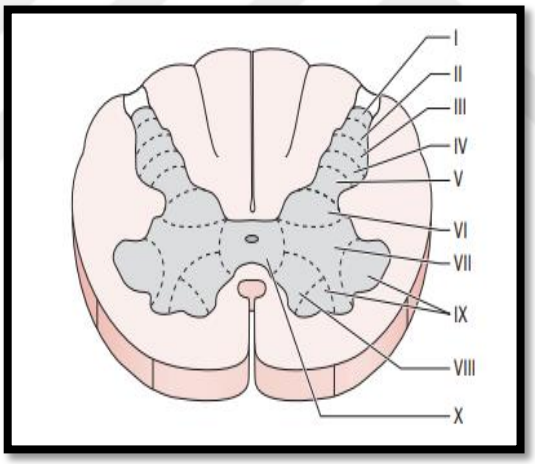
Spinal kordun dış yapısında bulunan beyaz madde; myelinize ve myelinize olmayan nöronlar, nöroglia hücreleri ve kan damarlarından oluşmaktadır. Bu yapı beyaz rengini ise myelinize olan nöronlardan almaktadır. Kesitsel olarak beyaz maddenin en fazla olduğu bölge servikal, en az olduğu bölge ise sakral düzeydir. Beyaz madde; dorsal, lateral ve ventral olmak üzere üç ana funikulustan oluşmaktadır. Beyaz madde içerisinde asendan ve desendan traktlar bulunmaktadır (22, 25). Tablo 1 ve Şekil 5'te spinal korddaki traktlar özetlenmiştir.

Tablo 1. Spinal Kord Traktları

SPİNAL KORD TRAKTLARI	
ASENDAN TRAKTLAR	**DESENDAN TRAKTLAR**
1- Kortikospinal Trakt	1-Fasikulus Cuneatus
2- Rubrospinal Trakt	2-Fasikulus Gracilis
3- Retikülospinal Trakt	3-Spinoserebellar Trakt
4- Tektospinal Trakt	4-Spinotalamik Trakt
5- Vestibulospinal Trakt	5-Spinoolivar Trakt
6- Olivaspinal Trakt	6-Spinotekral Trakt
	7-Dorsolateral Trakt
	8-Spinoretiküler Trakt



Şekil 4. Gri maddenin iç yapısı ve Rexed Laminaları



Şekil 5. Beyaz madde içerisinde seyreden asendan ve desendan traktlar

2.3.3. Meninksler

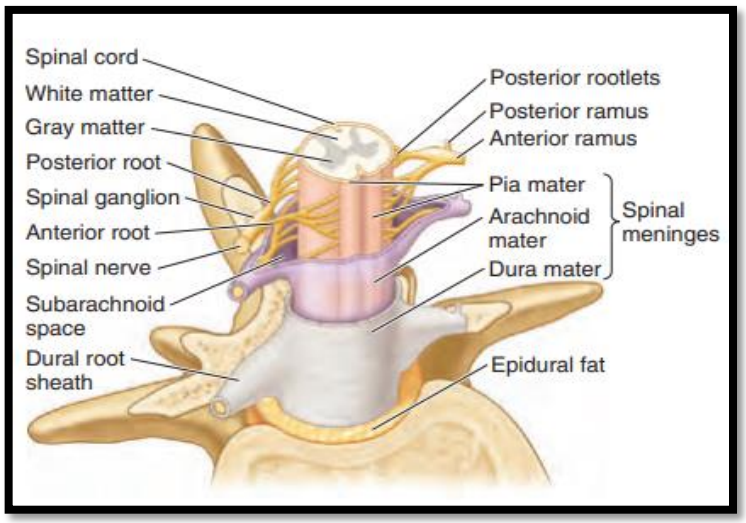
Spinal kordu çevreleyen ve destek sağlayan meninks adı verilen üç membran bulunmaktadır. Bu üç membran dıştan içe doğru dura mater, araknoid mater ve pia materdir (Şekil 6) (26). Dura mater, en dıştaki membran olup beyni çevreleyen meningeal membranın içteki katmanın spinal kord düzeyindeki uzanımını tariflemektedir. Spinal dura mater ise dural kese ismi verilen uzun tübüler yapıyı oluşturmaktadır. Bu yapı superior kesiminde foramen magnuma yapışarak kranial dura mater ile devamlılık göstermektedir. İnferior kesimde ise filum terminale aracılığı ile

koksikse tutunmaktadır. Lateral kesimde anterior ve posterior sinir çifti düzeyinde dural kese intervertebral foramenler düzeyine doğru uzanım göstermektedir (Şekil 6). Spinal dura materin anterior kesimi rekürren meningeal sinir tarafından innerve olmaktadır. Spinal dura materin posterolateral kesimini innerve eden birkaç küçük sinir dalı olsa da posteromedial kesiminin sinirsel innervasyonu bulunmamaktadır. Dura mater ile vertebra arasında ise içerisinde epidural yağ doku, gevşek bağ doku, ligamentler ve epidural venöz pleksusun yer aldığı epidural mesafe bulunmaktadır (26, 27).

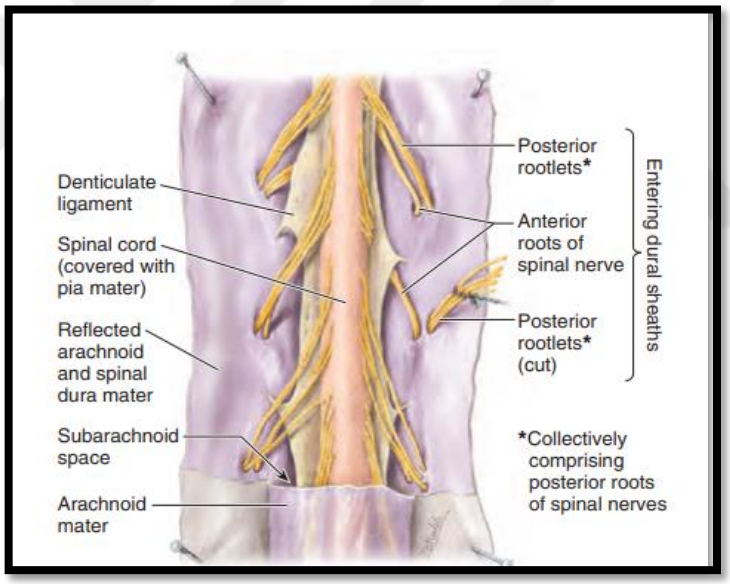
Dura materin altında dura-araknoid ara yüzeyi yer almakta olup çoğunlukla bu bölge yanlış bir adlandırma ile subdural mesafe olarak ifade edilmektedir. Spinal bölgede normal durumlarda subdural mesafe bulunmamaktadır. Spinal bölgede subdural mesafe kanama gibi patolojik durumlarda oluşan potansiyel boşluğa verilen isimdir (28).

Meninkslerin orta katmanında ise araknoid mater bulunmaktadır. Araknoid mater, içerisinde fibröz ve elastik doku komponentleri barındıran avasküler yapıda bir membrandır. Hem dura hem de araknoid mater, konus medullarisin altında S2 vertebra düzeyine kadar uzanmaktadır. Araknoid membranın altında, içerisinde vasküler yapılar, araknoid trabeküller ve BOS bulunan subaraknoid mesafe yer almaktadır (26, 27).

En içteki membrana ise pia mater adı verilmektedir. Bu membran ince ve gevsek yapıda olup spinal kordun dış kısmında tüm yüzeyler boyunca uzanmaktadır. Pia mater pia-glia ve epi-pia olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Daha derinde yer alan pia-glia kısmı avasküler yapıda olup korda, sinirlere ve sinir köklerine tutunmaktadır. Epi-pia kısmı ise vasküler yapıda olup ventral median fissür düzeyinde katlantı göstermektedir. Spinal kord; dural saka, filum terminale ve lateral kesimlerden dentikulat ligamanlar aracılığı ile bağlanmaktadır. Pia mater tarafından oluşturan dentikulat ligamanlar 20-22 adet olup fibröz yapıdadır (Şekil 7). Pia mater medulla spinalisin alt ucunda kapanmakta olup bu düzeyden S2 vertebra düzeyine kadar filum terminale internum olarak uzanım göstermektedir. S2 vertebradan Co1 vertebraya kadar uzanan kısma ise filum terminale eksternum adı verilmektedir. Filum terminale çevresinde lomber ve sakral sinir liflerinden çıkan dallar cauda equina ismi verilen at kuyruğuna benzer bir görünüm oluşturmaktadır (26-28).



Şekil 6. Spinal kordu saran üç meningeal yapı; dura, araknoid ve pia mater



Şekil 7. Spinal kordu asan dentikulat ligaman ve spinal membranlar ile ilişkisi

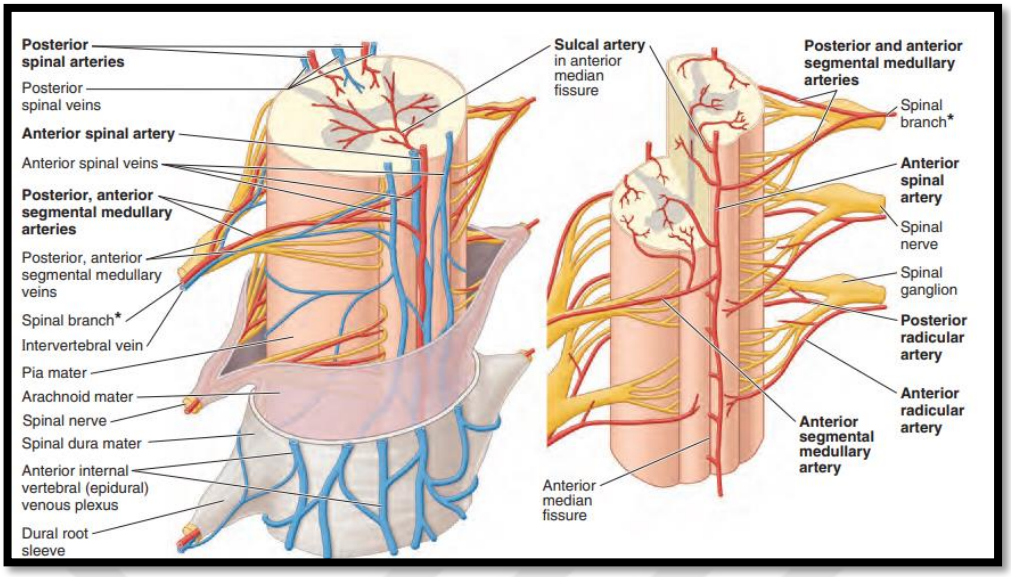
2.3.4. Spinal Kordun Arteryal Beslenmesi

Spinal kordu besleyen ana arteryal yapılar vertebral, asendan servikal, derin servikal, interkostal, lomber ve lateral sakral arterlerden köken alır. Spinal kordu temel olarak besleyen arteryal yapılar ise bir adet anterior spinal arter ve iki adet posterior spinal arterdir (Şekil 8). Bu arteryal yapılar beyin sapı seviyesinden başlayarak konus medullaris düzeyine kadar longitudinal seyir gösterir ve spinal kordun beslenmesini

sağlar. Anterior spinal arterler vertebral arterlerden köken almakta olup anterior median fissür boyunca seyir göstermektedir. Fissürde seyri boyunca verdiği dallar ise sulkal arter olarak isimlendirilmektedir. Posterior spinal arterler ise vertebral arter ya da posterior inferior serebellar arterden köken alabilmektedir. İki çift olarak posterolateralde seyreden bu arter, pia mater düzeyinde de anastomoz oluşturmaktadır (29). Spinal kordun vasküler beslenmesini sağlayan önemli bir başka yapı ise 32 adet olan radiküler arterlerdir. Her radiküler arter intervertebral foramen içine girerek anterior ve posterior radiküler arter olarak ikiye ayrılmaktadır. Anterior ve posterior spinal arterler spinal kord vaskülarizasyonu için tek başına yeterli vaskülariteyi sağlamadığından radiküler arter önem arz etmektedir (Şekil 8). Özellikle spinal sinir köklerinde oluşan hasardan, bu bölgeyi besleyen radiküler arterler etkilenmiş ise ilgili spinal kord segmentinde iskemik hasar meydana gelebilmektedir (30). En büyük radiküler arter Adamkiewicz arteri (AA)'dir. Bu arter torokolomber bölgeden çıkmakta olup %85 olguda T8-T12 düzeyinden köken almaktadır.

2.3.5. Spinal Kordun Venöz Drenajı

Spinal venlerin seyri genellikle spinal arterlerle benzerlik göstermektedir. Genellikle üç adet anterior ve üç adet posterior spinal ven bulunmaktadır. Bu spinal venlerin drenajı ise anterior, posterior medüller venler ve radikular venler ile sağlanmaktadır. Spinal kord venleri ise epidural mesafede bulunan internal vertebral venöz pleksusa katılım göstermektedir. Kraniumda internal vertebral venöz pleksus, dural sinüsler ve vertebral ven ile bağlantı göstermektedir. Ayrıca vertebra dış düzeyinde internal ve eksternal venöz vertebral pleksuslar arasında da bağlantılar bulunmaktadır (Şekil 8) (30).



Şekil 8. Spinal kordun arteryal beslenmesi ve venöz drenajı

2.4. SPİNAL KORD TÜMÖRLERİ

Primer spinal kord tümörleri en sık 20-50 yaşları arasında görülmekle birlikte her yaşta karşımıza çıkabilmektedir. Spinal kord tümörlerinde kadın ve erkek sıklığı yakın olmakla birlikte, ekstramedüller tümörlerde farklılık bildirilmiştir (31). Spinal kord tümörlerinin genetik faktörler ve mutasyonlar ile ilişkisi gösterilmiştir. Bu genetik faktörler arasında; Nörofibromatozis Tip 1 (NF-1), NF-2, Von Hippel-Lindau (VHL) yer almaktadır. NF-1 hastalığı ile nörofibrom, NF-2 ile meningiom ve schwannoma, VHL ile de hemangioblastomun sıklığı artmaktadır. Lokalizasyonlarına göre spinal kord tümörleri Şekil 9 ve Tablo 2, 3 ve 4'te özetlenmiştir.

Tablo 2. İntradural-Ekstramedüller Tümörler

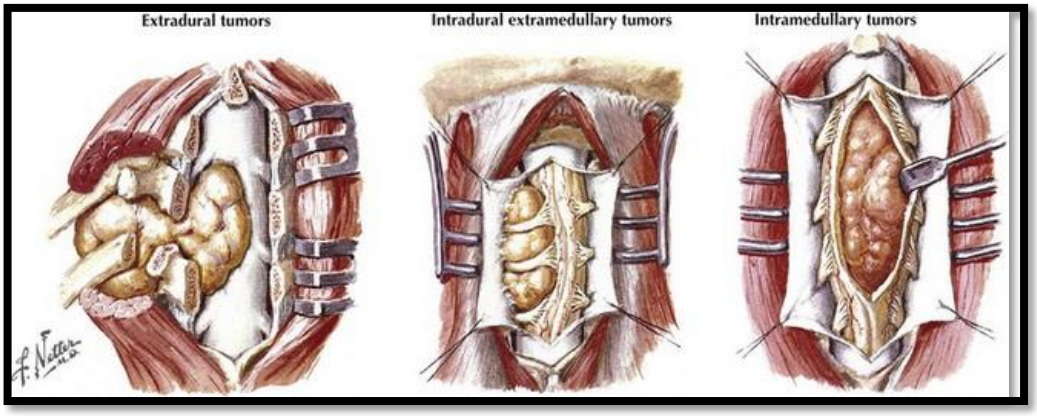
İNTRADURAL-EKSTRAMEDÜLLER TÜMÖRLER
Meningiom
Schwannoma
Malign Periferal Sinir Kılıfı Tümörü
Soliter Fibröz Tümör
Miksopapiller Ependimom
Filum Terminale Paragangliomu
Leptomeningeal Melanosis
Nöroblastom

Tablo 3. İntradural-İntramedüller Tümörler

İNTRADURAL-İNTRAMEDÜLLER TÜMÖRLER
1-Astrositom
2-Ependimom
3-Dermoid Tümör
4-Epidermoid Tümör
5-Hemangioblastom
6-Teratom
7-Lipom
8-Oligodendrogliom
9-Gangliogliom

Tablo 4. Ekstradural Tümörler

EKSTRADURAL TÜMÖRLER	
Malign Tümörler	Benign Tümörler
1-Osteosarkom	1-Osteoid Osteom
2-Kondrosarkom	2-Osteoklastom
3-Lenfoma	3-Osteoblastom
4-Kordoma	4-Kondroblastom
5-Multipl Myelom	5-Kondrosarkom
6-Fibrosarkom	6-Enkondrom
7-Malign Fibröz Histiositom	7-Kondromiksoid Fibrom
	9-Hemangiom
	10-Dev Hücreli Tümör
	11-Anevrizmal Kemik Kisti
	12-Eozinofilik Granulom



Şekil 9. Ekstradural, intradural-ekstramedüller ve intradural-intramedüller spinal kord tümörlerinin çizim ile yapılmış illüstrasyonu

2.5. SPİNAL MENİNGİOMLAR

2.5.1. Epidemiyoloji

Spinal meningiomlar, tüm meningiomların yaklaşık %7.9'unu oluşturmakta olup kranial meningomlara göre daha nadir görülmektedir. İntradural tümörlerin ise yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır**.** Spinal meningiomlar genellikle 60-80 yaş aralığında ortaya çıksa da sendromik kökeni olan lezyonlar daha erken prezente olabilmektedir. NF-2 hastalarında gözlenen spinal meningomlar tüm meningiomların yaklaşık %10'unu teşkil etmektedir. Spinal kord tümörleri arasında en fazla kadın dominansı gözlenen tümör meningiom olup hastaların yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır (32, 33). Meningiomlarda bu oranın daha fazla olmasının östrogen ve progresteron reseptörlerine bağlı olduğu düşünülmüştür (34). Pediatrik hasta popülasyonunda ise puberte öncesi spinal meningiomlar erkeklerde biraz daha fazla görülmektedir. Tümör sıklığı gibi tümörün lokalizasyonu da cinsiyetler arası farklılık göstermektedir. Erkeklerde %50 torasik, %40 servikal tutulum izlenirken kadınlarda %80 torasik, %15 servikal bölge tutulmaktadır (33, 35).

2.5.2. Histopatoloji

Spinal meningiomlar, dura materde yer alan araknoid kep hücrelerinden köken alan tümörlerdir. Tipik olarak iyi sınırlı, tekil ve yavaş büyüme özelliği gösteren non-invaziv lezyonlardır. En plaque ve infiltran meningiomlar dışında, kranial

meningiomların aksine pia matere genellikle penetrasyon göstermemektedirler. Tipik lokalizasyonu intraduraldır. Literatürde bazı vakalarda intradural alandan ekstradural alana uzanım, izole ekstradural yerleşim ve çok daha nadiren intramedüller yerleşim bildirilen olgu sunumları mevcuttur (36, 37). Atipik yerleşimli olan olgular diğer spinal kord tümörleri ile karışarak tanı koyma sürecinde karışıklıklara neden olabilmektedir (38).

Meningiomların histopatolojik alt tipleri Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tümör sınıflandırma kriterlerine göre yapılmaktadır. Tablo 5'te bu alt tipler sınıflandırılmıştır.

Tablo 5. DSÖ Sınıflamasına Göre Spinal Meningiom Alt Tipleri

SPİNAL MENİNGİOMLARIN ALT TİPLERİ		
DSÖ GRADE 1	DSÖ GRADE 2	DSÖ GRADE 3
Meningotelyal	Atipik	Anaplastik
Fibröz	Berrak Hücreli	Rabdoid
Psammomatöz	Kordoid	Papiller
Anjiomatöz		
Sekretuar		
Mikrokistik		
Lenfoplazmositten zengin		
Transizyonel		
Metaplastik		

Spinal meningiomlar ile kranial meningiomlar aynı histopatolojik alt tipleri içermektedir. Spinal meningiomlarda en sık rastlanan Grade 1 alt tipler; meningotelyal, psammomatöz ve transizyonel tiptir. Tümör alt tiplerinin grade'i artıkça hastalık daha agresif bir seyir göstermektedir (38).

Spinal meningiomlar ve kranial meningiomlar birbiri ile benzer histolojik görünümler ve genetik kökene sahip olmakla birlikte, son yıllarda yapılan çalışmalarda spinal meningiomlarda 22. kromozomdan kaynaklanan tam ya da parsiyel kaybın daha sık olduğu bildirilmiştir (39). Ayrıca şeffaf hücreli alt tip ile 17. kromozomda yer alan SMARCB1 genindeki germline mutasyon arasındaki ilişki gösterilmiştir (40).

Moussalem ve arkadaşlarının 2021 yılında meningiomların genetik alt yapısına yönelik yaptıkları çalışmada, spinal meningiomlara ait 14 farklı gen mutasyonu tarif edilmiştir. Bunlardan TRAF7, KLF4, AKT1, NR4, DUSP, CMKOR, FOSL2 genlerinde olan mutasyonların hem kranial hem de spinal meningiomlarda rol aldığı düşünülmektedir (41).

2.5.3. Klinik Bulgular

Spinal meningiomların tipik klinik bulguları yoktur. Bölgesel ağrı en sık rastlanan semptomdur. Sinir kökü kompresyonuna bağlı olarak segmental duyu ya da motor defisit gelişebilir. Ayrıca tümörün spinal korda basısı sonucunda da myelomalazi gelişebilmektedir. Kord basısı meydana geldiği durumlarda en çok etkilenen trakt kortikospinal trakttır. Fizik muayenede derin tendon reflekslerinde azalma ve ileri dönemde asimetrik kas tonusu gözlenebilmektedir. Servikal yerleşimli olgularda baş ve boyun ağrısı, Brown-Sequard Sendromu gözlenebilirken, torasik seviyedeki lezyonlarda daha çok viseral patolojiler ortaya çıkmaktadır (39, 42).

2.5.4. Görüntüleme Bulguları

2.5.4.1. Direkt Grafi

Spinal meningiomlar için günümüzde direkt grafinin tanı sürecinde yeri bulunmamaktadır. Kalsifiye spinal meningiomların tanısında direkt grafinin kullanımı literatürde olgu sunumu olarak yer almaktadır (43).

2.5.4.2. Myelografi

Miyelografide lezyon tarafındaki subaraknoid aralık genişlemiş, kord ve kökler kitlenin karşı tarafına doğru itilmiştir. Kontrastın lezyonu sardığı bölgede keskin bir menisküs işareti görülür (44). Büyük tümörlerde kontrast geçişinde tam bir blok görülebilir.

2.5.4.3. Bilgisayarlı Tomografi

Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntülemede spinal meningiomlar gri maddeye göre izodens ya da hafif hiperdenstir. BT tümör içi kalsifikasyon varlığını ve komşu

kemik yapıyı değerlendirmede kullanılmaktadır. Özellikle kalsifik spinal meningiomların doğru tanısında BT ön plana çıkmaktadır (45). Ayrıca komşu kemik yapıda gözlenen hiperostozis BT ile değerlendirilir. BT-myelografi tetkiki ise günümüzde daha az kullanılmakla birlikte intradural patolojileri göstermede yardımcı bir metottur. Ayrıca spinal meningiomlar ile schwannomaların da ayrımında Anno ve arkadaşları 2018 yılında BT-myelogram ile yaptıkları araştırmada araknoid izolasyon işaretini tariflemişlerdir. Bu bulgu, spinal kord ile meningiom arasındaki subaraknoid mesafeye kontrast maddenin geçişi ile spinal kordun ayrı bir yapı olarak seçilebilirliğini ifade etmektedir. Sekiz spinal meningiom hastasının ikisinde bu bulgu saptanırken, on iki schwannoma hastasının hiçbirinde bu bulgu tespit edilmemiştir. Bu iki tümörün ayrımında tanımlı bulgunun %25 sensitivitesi ve %100 spesifitesi olduğu belirtilmiştir (46).

2.5.4.4. Manyetik Rezonans Görüntüleme

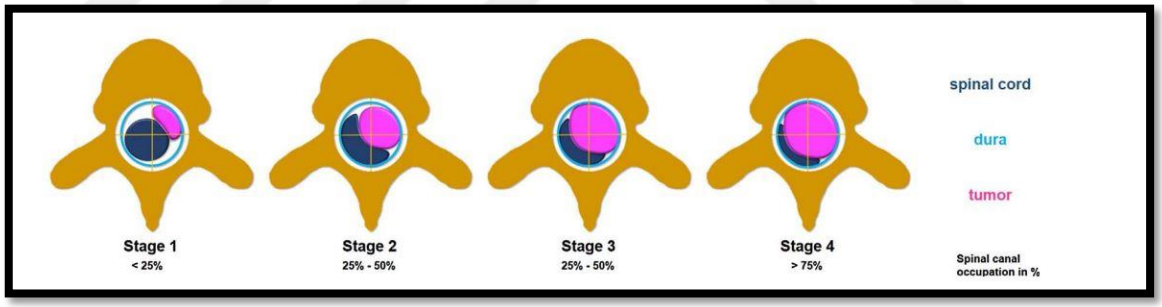
Spinal meningiomların tanısında kullanılan temel görüntüleme yöntemi MRG'dir. Bu tümörler T1AG gri maddeye göre izo-hafif hipointens, T2AG'de ise hafif hiperintens görülmektedir. Kontrastlı serilerde tipik olarak yoğun kontrast tutulumu gözlenmektedir. Ayrıca dural kuyruk işareti, kontrastlı serilerde %50-60 oranında saptanabilen bir başka bulgudur. Dural kuyruk işareti, duradaki reaktif süreci temsil etmekte olup meningiomlara has bir bulgu değildir. Kalsifiye meningiomlarda ise, kalsifik komponent tüm sekanslarda sinyalsiz olup az kontrast madde tutulumu göstermektedir. Nöral foramene uzanım ve tümör içi kistik değişiklik varlığı ise meningiomlarda oldukça nadirdir (9, 10). "Gingko leaf" işareti 2015 yılında ilk kez Yamaguchi ve arkadaşları tarafından ventral ya da ventrolateral yerleşimli yedi spinal meningiom hastasında tariflenmiş bir bulgudur. Kontrastlı serilerde tümör içinde gerilmiş dentat ligamanı temsil ettiği düşünülen ve tümörden spinal korda doğru uzanan bir ince yarık bulunduğu ifade edilmektedir. Bu görünümün spinal meningiomlar için oldukça spesifik bir bulgu olduğu düşünülmektedir (47).

Bayoumi ve arkadaşları 2017 yılında spinal meningiom olgularında aksiyel kontrastlı T1AG'i kullanarak yeni bir sınıflama yapmışlardır (48). Bu sınıflamada lezyonlar, tümörün spinal kanal içerisinde kapladığı alanın yüzdesine göre 4 evreye

(<%25, %25-50, %50-75, >%75), tümörün spinal korda göre lokalizasyonu ve bulunduğu kadran göz önüne alınarak 4 tipe ayrılmıştır (Şekil 10).

Difüzyon tensör görüntüleme ve fiber traktografi tetkikleri daha çok intramedüller yerleşimli spinal kord tümörlerinde kullanılmaktadır. Cao ve arkadaşlarının 2022 yılında 4'ü spinal meningiom olmak üzere 12 spinal kord tümörü ile yaptığı difüzyon tensör görüntüleme çalışmasında; fraksiyonel anizotropi değerinin daha düşük olduğu durumlarda, spinal korddaki traktların baskılanmasından ziyade infiltre olduğunu belirtmiştir. Bu bulgunun, preoperatif dönemde klinik sonuçları iyi ön görebilecek kantitatif bir marker olabileceği ifade edilmiştir (49).

Takashima ve arkadaşları ise spinal meningiom ve schwannomaların aksiyel T2AG'den elde edilen ölçümlerle tümör-yağ doku sinyal intensite oranlarının bu iki tümörün ayrımında kullanılabileceğini belirtmiştir. Bu oran tümör intensitesi ve paraspinal düzeydeki subkütan yağlı dokunun intensitelerinin birbirine oranlanması ile bulunmaktadır. Bu çalışmada schwannoma grubunda tümör-yağ doku intensite oranı daha yüksek bulunmuştur. İki tümör grubunu ayırmada kesim değeri olarak 0.420 oranı alındığını ve bununla %80 sensitivite ayrımının sağlandığı belirtilmiştir (9).



Şekil 10. Bayoumi ve arkadaşları tarafından 2017 yılında tariflenen spinal meningiom sınıflaması

2.5.4.5. Anjiografi

Spinal meningiomların anjiyografik görüntülemede en önemli bulgusu venöz fazda tümör boyanmasında uzun süre persistansı göstermesidir (44). Tümörü besleyen patolojik damarlar bu yöntem ile gösterilebilmektedir.

2.5.5. Cerrahi Yaklaşım

Spinal meningiomların temel tedavisi cerrahi operasyonla tümörün çıkartılmasıdır. Cerrahi tedavi için daha çok tümörün bulunduğu lokalizasyon bazlı sınıflamalar yapılmıştır. Posterior, lateral ve nadiren de olsa anterior yaklaşım bu tümörlerin cerrahi tedavisinde kullanılmaktadır. Posterior yaklaşımda laminektomi, laminoplasti, hemilaminektomi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yaklaşım daha az invaziv olup dorsal yerleşimli tümörlerin daha kolay çıkartılmasını sağlamaktadır. Anterior yaklaşım genellikle anterior yerleşimli servikal ya da torakal meningiomlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemin avantajları rezeksiyon sırasında spinal kord manipülasyonu genelde gerektirmemesi, geniş bir cerrahi açı sağlaması, spinal arterlerin ve sinir köklerinin daha rahat korunması, kanama kontrolünün daha kolay sağlanmasıdır. Fakat bu cerrahi prosedür daha kompleks olup daha çok zaman almakta, çok seviyeli spinal fiksasyon gerektirmektedir. Bu nedenle kompleks olmayan olgularda daha az tercih edilmektedir. Dura üzerindeki araknoid kep hücrelerinden gelişen bu tümörlerde dura tutulumunun olması durumunda, duranın çıkartılması ve ardından dural onarım yapılması tümör rekürrensini azaltmaktadır. Ancak literatürde duranın koagüle edilmesi ile rezeksiyonu arasında rekürrens oranlarına bakıldığında belirgin fark saptanmamıştır (50, 51).

İntraoperatif nörofizyolojik monitörizasyon, işlem esnasında kullanılan ultrasonografi ve ultrasonik cerrahi aspiratör mikrocerrahi yöntemler ile cerrahi sırasında meydana gelen komplikasyonlar ve rekürrens oranlarında azalma izlenmektedir.

Cerrahi sonrası rekürrens ihtimalini artıran durumlar, subtotal rezeksiyon, dural kuyruk varlığı, erkek cinsiyet, genç yaş, çok sayıda lezyon bulunması, anterior yerleşim, yüksek grade ve kalsifiye tümörlerdir (39, 51).

2.5.6. Radyoterapi ve Radyocerrahi

Spinal meningiomlarda cerrahi temel tedavi seçeneği olmasına rağmen; lezyon, cerrahi sonrası nüks veya rezidü lezyon varlığı ve kontrendikasyonlar nedeni ile cerrahi tedavi uygulanamayan hastalarda radyocerrahi efektif olarak kullanılabilen alternatif bir metottur. Kalash ve arkadaşlarının intradural yerleşimli tümörlerde yaptığı çalışmada 5 yıllık lokal kontrol %76 olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada

BED_{10GY} değerlerine göre 30 Gy üstü ve altında doz alan hastaların lokal kontrolü ve uzun dönem toksisitesinde fark izlenmemiştir (52).

2.6. SPİNAL SCHWANNOMALAR

2.6.1. Epidemiyoloji

Spinal bölgede yerleşen sinir kılıfı tümörlerini; schwannomalar, nörofibrom ve malign periferik sinir kılıfı tümörleri oluşturmaktadır. Sinir kılıfı tümörleri nöral krest kökenli hücreler ile mezenkimal kökenli hücrelerden gelişmektedir. Schwann hücrelerinden gelişenler schwannoma, Schwann hücreleri ile fibroblastlardan gelişenler nörofibrom adını almaktadır (53). Spinal schwannomalar en sık rastlanan spinal tümördür ve tüm spinal tümörlerin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. En sık görülme yaşı 25-50 olup görülme insidansı 3-4/100.000'dır. Kadın ve erkekleri yaklaşık eşit sıklıkta etkilemektedir. Spinal schwannomaların yaklaşık %49-84'ü intradural, %8-32'si ekstradural, %1-19'u intradural ve ekstradural ve %1'den azı da intramedüller yerleşim göstermektedir (54, 55). Spinal schwannomalar karakteristik olarak foraminal uzanım göstererek dambıl görünümü oluştururlar.

Spinal schwannomalar, spinal bölgenin her yerinde bulunabilmekle birlikte en sık lomber ve servikal bölgelerde yerleşim göstermektedir. Dambıl benzeri görünümde olan schwannomalar ise en sık servikal bölgede yerleşmektedir (56). Filum terminale yerleşimli schwannomalar bazen yanlış tanı alıp miksopapiller ependimomlar ile karışabilmektedir. Schwannomalar ve nörofibromlar birbirinden farklı antiteler olup etyoloji, lokalizasyon ve histopatolojik özellikleri farklıdır. Schwannomalar; soliter, multipl ya da NF-2 ile bağıntılı olarak ortaya çıkabilirken, nörofibromlar NF-1 ile ilişkilidir. NF-1; 17. kromozomda yer alan genetik bir defektten kaynaklanırken, NF-2 ise 22. kromozomdaki genetik bir sonucu ortaya çıkmaktadır. NF-2'li hastaların yaklaşık %90'nda hayatı boyunca spinal kord tümörü gelişmekte olup en sık rastlanan tümör schwannomadır (57).

Ayrıca spinal schwannomalar sendromik kökeni olmaksızın schwannomatozis hastalarında çok sayıda bulunabilmektedir. Literatürde, spinal schwannomalar ile

ilişkili olarak tariflenmiş mutasyonların; NF2, SMARCB1, LTZTR1, ARID1A, ARID1B, DDR1, SH3PXD2A-HTRA1 genleriyle bağıntılı olduğu bildirilmiştir (58).

2.6.2. Histopatoloji

Spinal schwannomalar düzgün yüzeyli, iyi sınırlı ve enkapsüle yapıda tümörlerdir. Tipik olarak S-100 pozitifliği, SOX10 ekspreksiyonu ve düşük Ki-67 proliferasyon indeksi özelliklerine sahiptir. Schwannomalar tipik olarak kalın duvarlı vasküler yapılar olup komşuluğunda yer yer küçük kanama odakları barındırmaktadır. Ayrıca lipidden zengin makrofaj varlığı da schwannomaların bir başka özelliğidir. Yapısal mimarisi göz önüne alındığında schwannomalar Antoni A ve Antoni B ismi verilen iki patern oluşturmaktadır. Antoni A paterni spinal schwannomalarda daha sık gözlenmektedir. Bu patern hipersellüler yapıda elonge Schwann hücreleri, Verocay hücreleri ve daha nadiren de palizatlanan nükleuslardan oluşmaktadır. Antoni B paterni ise; daha az sellüler görünümde, stellat şeklinde hücreler ve hemosiderin pigmenti içermektedir (4).

Schwannomaların histolojik alt tipleri; klasik, selüler, pleksiform ve melanotik schwannomadır. Melanotik schwannomalar, içerisinde melanin pigmenti izlenmekte olup en sık malign dönüşüm gösterebilen alt tiptir.

2.6.3. Görüntüleme Bulguları

2.6.3.1. Direkt Grafi

Schwannomaların tanısında direkt grafi günümüzde artık kullanılmamaktadır. Literatürde tariflenmiş bulgular ise posterior elemanlarda pedinküllerde belirginleşen erozyon ve foraminal genişlemedir (59). Ayrıca tümörün dural kesede oluşturduğu genişlemeye bağlı komşu kemik yapıda kontur düzensizlikleri de izlenebilmektedir.

2.6.3.2. Myelografi

İntradural yerleşimli schwannomalar myelografide “cap” işareti gösterebilmektedir. Bu bulgu myelografi tetkikinde intratekal yolla verilen kontrast maddenin tümör çevresinde oluşturduğu meniskal başlığa (cap) verilen isimdir. Lezyonun boyutuna göre myeleografi tetkikinde farklı seviyelerde BOS dolaşımında

blokaj izlenebilmektedir (60). Ayrıca nadir gözlenen bir schwannoma formu olan mobil intradural-ekstramedüller schwannoma tanısı ilk kez 1974 yılında Tomimatsu tarafından konulmuş olup tanıda myelografi tetkiki kullanılmıştır (61).

2.6.3.3. Bilgisayarlı Tomografi

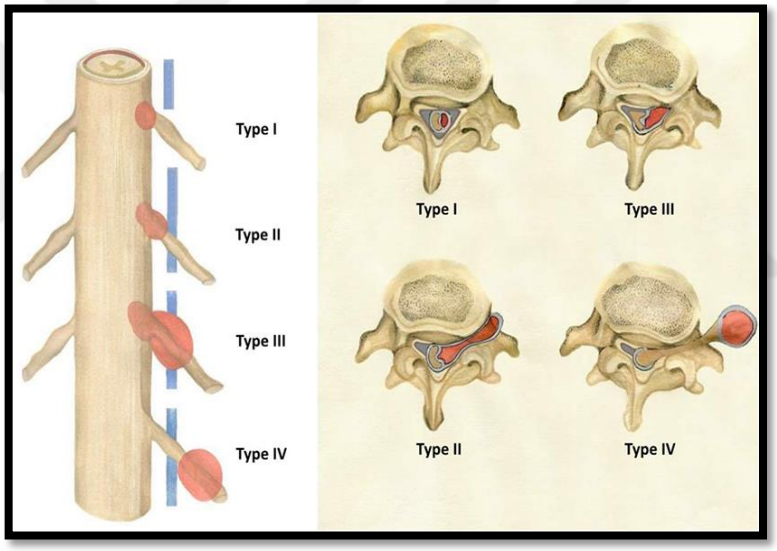
Kontrastlı BT ise kalp pili, klostrofobi gibi MR çekimi kontraendikasyonu bulunan hastalarda kullanılabilen bir görüntüleme metodudur. Genellikle iyi sınırlı eliptik şekilli hipodens lezyon olarak gözlenebilmektedir. Nöral foramenlere ya da ekstraspinal alana uzanım gösterdiğinde tipik dambıl benzeri görünüm izlenebilmektedir. Ayrıca klasik schwannomalar komşu kemik yapıda büyük boyutlara ulaştığında remodellinge neden olurken, selüler schwannomaların osteolizise yol açacağı bildirilmiştir (62).

2.6.3.4. Manyetik Rezonans Görüntüleme

Günümüzde spinal schwannomaların görüntülenmesinde altın standart yöntem MRG'dir. Spinal schwannomalar klasik olarak T1AG izo-hipointens, T2AG hiperintens görünümde iyi sınırlı nodüler tümörlerdir. Kontrastlı serilerde tümörlerin neredeyse tamamı kontrastlanmakta olup kontrastlanma paterni heterojen ya da rim tarzı şeklinde olabilmektedir. Tümör boyutları büyüdükçe kistik dejenerasyon miktarı ve rim tarzı kontrastlanma paterni daha sık izlenmektedir. Nöral foraminal uzanım tümörün tipik bir görünümüdür. Nörofibromlar ile radyolojik görünümü benzer olsa da schwannomalarda lezyon içi hemoraji, kistik değişiklik, yağlı dejenerasyon daha sıktır. Melanotik schwannomalarda ise içerdiği melanin pigmentinin paramagnetik özellikleri nedeni ile T1AG hiperintens, T2AG hipointens görünmektedir (8, 63).

Nadiren büyük boyutlu spinal schwannomalarda lezyonun basınç etkisi ile komşu osseöz yapıda hafif erozyon izlenebilmektedir. Çok nadir gözlenen intramedüller schwannomalarda kontrastlanma genelde belirgin olup bazen rim tarzı kontrastlanma da gözlenebilmektedir (62). Bununla birlikte diğer intramedüller tümörlerden ayrımı çok zor yapılabilmektedir. Ancak komşu sinir köklerinde kalınlık artışı ve kontrastlanma olması tanıda şüphe uyandıran yardımcı bulgulardır. Mobil yerleşimli intradural ekstramedüller schwannomaların tanısında MR myelografi tetkikinin de tanıda faydalı olabileceği gösterilmiştir (64).

İbrahim Sun ve M. Necmettin Pamir'in 2015 yılında, 29 yıllık bir süreçte takip edilmiş non-sendromik schwannomalara sahip 82 hastadan oluşan bir vaka serisinde MRG verileri kullanılarak yeni bir sınıflama sistemi geliştirilmiştir. Bu sınıflama sisteminde tümörün volümü, dura ve spinal kanaldaki lokalizasyonları ve uzanımı göz önüne alınmıştır. Tümör volümlerinin hesaplanmasında hem kraniokaudal uzunluk hem de transvers uzunluk kullanılmıştır. Tümör volümü <2 cm^3 olanlar grup A, 2–4 cm^3 arası olanlar grup B, >4 cm^3 olanlar da grup C olarak tanımlanmıştır. İntradural sahada yerleşim gösterenler Tip 1, intradural alanda yerleşip foramen uzanımları spinal kanal ile sınırlandırılanlar Tip 2, ekstraforaminal alana uzanımı izlenen dambıl şekilli tümörler Tip 3 ve tamamen foramen dışında yer alan uzak yerleşimli tümörler de Tip 4 olarak tariflenmiştir (Şekil 11) (65).



Şekil 11. Spinal schwannomalara yönelik İbrahim Sun ve M. Necmettin Pamir'in yaptığı sınıflama



Şekil 12. Servikal yerleşimli spinal schwannomalara yönelik Asazuma ve arkadaşlarının 2004 yılında yaptığı sınıflama

2004 yılında Asazuma ve arkadaşları servikal yerleşimli spinal schwannomaları 9 farklı gruba ayırmıştır (Şekil 12). Fakat bu sınıflamanın en büyük eksiği servikal bölge dışındaki diğer lokalizasyonlara bu sınıflamanın uyarlanamamasıdır (66).

Bütün bu sınıflamaların amacı, shcwannomların uzanım ve lokalizasyonun iyi tasniflenip doğru preoperatif değerlendirmenin yapılmasıdır.

2.6.4. Klinik Bulgular

Schwannomaların oluşturduğu klinik bulgular tümörün lokalizasyonuna, spinal kord ve sinir kökleri ile ilişkisine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. İyi huylu olan bu tümörler uzun sürede semptom göstermeksizin yavaş büyüyerek kitlenin bası etkisi ile prezente olabilmektedir. En sık rastlanan bulgunun ağrı olduğu belirtilmiştir. Dorsal duyu köklerinden geliştiklerinden radiküler parastezi gibi duysal semptomlar da izlenebilmektedir. Daha nadiren de olsa motor defisitler ve sfinkter disfonksiyonu gibi bulgular da gözlenebilmektedir (67). Literatürde sendromik kökenli olan schwannomalarda nörolojik defisit gelişme ihtimalinin ise daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

2.6.5. Cerrahi Tedavi

Spinal schwannomaların temel tedavisi cerrahi olup amaç tümörün tamamen çıkartılması ve rekürrensin önlenmesidir. Schwannomaların cerrahi tedavisinde öncelikle total eksizyon tercih edilmektedir.

Cerrahi tedavide ise anterior yaklaşım, posterior yaklaşım ya da kombine yöntemler kullanılmaktadır. Halen en sık kullanılan yöntem posterior yaklaşımlı laminektomidir. Ayrıca posterior yaklaşımda, hemilaminektomi ya da interlaminer yaklaşım da kullanılabilmektedir.

Dambıl şekilli masif ekstradural komponenti olan olgularda ise posterior yaklaşım dışında anterior ve anterolateral yaklaşım gibi daha kompleks cerrahi metotlar kullanılabilmektedir (68). Eğer tümör fonksiyonel sinir köklerine yapışık görünümde ise ve total eksizyon şansı bulunmuyorsa nörolojik fonksiyonların korunmasına yönelik fibröz kapsül ya da tümörün bir kısmı bırakılabilmektedir. Ancak subtotal eksizyon sonrası rezidü tümör dokusunda tekrar büyüme gözlenebilmektedir. Ayrıca Klekamp ve Sami yaptıkları çalışmada, non-sendromik schwannomalar için 5 yıllık rekürrens oranını %10.7, NF-2 zeminindeki 5 yıllık rekürrens oranını ise %39.2 olarak belirtmişlerdir (69).

Cerrahi sonrası en sık karşılaşılan komplikasyonlar; BOS kaçağı, psödomeningosel gelişimi, yara yeri enfeksiyonu ve nörolojik semptomların kötüleşmesidir (70).

2.6.6. Radyoterapi ve Radyocerrahi

Soliter schwannomaların tedavisinde radyoterapinin yeri bulunmamaktadır. Schwannomatozis ve sendromik zeminde gelişen çoklu schwannomaların tedavisinde radyoterapi kullanılabilmektedir. Spinal kord tümörlerine yönelik yapılan radyoterapinin en sık komplikasyonları bulantı, kusma ve dermatolojik yan etkilerdir. Cerrahi için kontraendikasyonu olan hastalarda, cerrahi sonrası nüks ve multipl sayıda olan spinal schwannomaların tedavisinde radyocerrahi kullanılabilmektedir (71). Gerszten ve arkadaşlarının 73 intradural yerleşimli spinal kord tümöründe yaptıkları çalışmada ağrı kontrolünde radyoterapinin fayda sağladığını ve lokal kontrole yardımcı olduğunu belirtmişlerdir (72). Ancak günümüzde halen ilk tedavi seçeneğini cerrahi oluşturmaktadır.

2.7. RADİOMİKS TEKSTÜR ANALİZİ

Radiomiks; radyolojik verilerden, lezyonların ayrımı, lezyona ait histolojik ve genetik parametreleri öngörme, nüks ve tedavi sonrası prognoz saptamada yardımcı olabilen yüksek boyutlu kantitatif verilerin elde edilmesine; sağlayan metodun ismidir. Non-invaziv bir yöntem olan radiomiks, görüntülerdeki piksellerin kendi içerisindeki ilişkiyi ve pikseller arasındaki ilişkileri sayısal değerlere aktararak kantitatif neticelerin elde edilmesini sağlar (11).

Radiomiks akım şeması; görüntülerin elde edilmesi, ön işlem (preprocessing), segmentasyon, özelliklerin seçimi, modelin geliştirilmesi ve valide edilmesi basamaklarından oluşmaktadır. Çalışma için uygun örneklem belirlendikten sonra yapılan ilk aşama görüntülerin elde edilmesidir. Radiomiks yönteminde piksel ve voksel bazlı veriler ile işlem yapıldığından farklı cihazlarda, farklı parametreler ile yapılan çekim protokolleri sonuçları etkilemekte ve uniformiteyi bozmaktadır. Bu nedenle görüntüler elde edildikten sonra normalizasyon metotları kullanılmaktadır. Manyetik alan inhomojenitesi vokseller üzerinde istenmeyen bozulmalara neden olmakta ve bias gürültüsü oluşturmaktadır. Radiomiks inceleme öncesi bias giderme yöntemleri kullanılarak bu etki ortadan kaldırılmaya çalışmaktadır (73). Bazı radiomiks verileri voksel boyutuna bağlı olduğu için değerlendirme öncesi voksellerin yeniden boyutlandırılması gerekmektedir. Bu amaçla en sık kullanılan metotlar lineer ya da bikubik interpolasyon metotlarıdır (74). Ayrıca çekim esnasında görüntü distorsiyonu oluşturan hareket artefaktı gibi durumların etkisinin ortadan kaldırılabilmesi için de artefakt giderme algoritmaları da kullanılmaktadır. Radiomiks verilerini elde etmenin en önemli aşaması ise segmentasyondur. Segmentasyon esnasında tümör dışı yapıların dahil edilmesi durumunda sonuçlar yanlışlıklara yol açmaktadır. Bu nedenle tümör sınırlarının dışına çıkılmadan segmentasyon yapılması gerekmektedir. Üç farklı segmentasyon metodu bulunmakta olup bunlar; manuel, otomatik ve yarı otomatik segmentasyonlardır. Manuel segmentasyon altın standart yöntem olmakla birlikte örneklem kümesinin geniş olduğu durumlarda oldukça zaman gerektiren bir işlem süresine sahiptir. Manuel segmentasyon yapılan durumlarda ise gözlem içi ve gözlemciler arası tekrarlanabilirlik sonucu tutarlı çıkan parametrelerin modele dahil edilmesi gerekmektedir. Otomatik segmentasyon programları örneklem sayısı yüksek verileri işlemeye daha uygun olsa bile, hareket ve nefes artefaktı gibi

görüntü distorsiyonuna neden olan durumlarda başarısı belirgin olarak düşmektedir. Radiomikse bağlı özellik seçimi ise model oluşturmada bir başka önemli konudur. Semantik özellikler, radyologlar tarafından lezyonları tanımlamak için kullanılan boyut ve şekil gibi morfolojik özelliklerin kantitatif karşılığıdır. Agnostik özellikler ise insan gözünün ayırt edemediği gri seviyelerin görüntü uzayındaki dağılımını ve birbiri ile ilişkisini analiz eden parametrelerdir (11). Bu parametreler ile görüntü paternleri arasında çeşitli yöntemler ile ilişki kurularak daha önceden ortaya konmamış radiomiks imzaları oluşturulmaktadır. Matematiksel yöntemler kullanılarak oluşturulan bu özellikler; şekil bazlı, birinci derece, ikinci derece ve yüksek derece istatiksel parametreler olarak sınıflandırılmıştır. Voksel ve piksel çiftleri arasındaki ilişkiyi gösteren ikinci derece parametreleri Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) oluşturmaktadır. Üç veya daha fazla voksel ve piksel çifti arasındaki ilişkiyi gösteren yüksek derece istatiksel parametreleri Gray Level Run Lenght Matrix (GLRLM), Gray Level Size Zone Matrix (GLSZM), Gray Level Dependence Matrix (GLDM) ve Neighborhood Gray Tone Difference Matrix (NGTDM) oluşturmaktadır (Şekil 13). Bu özellikler 2020 yılında Görüntüleme Biyomarker Standardizasyonu İnisiyatifi tarafından ortaya konan ölçütler dahilinde Tablo 6-11'de özetlenmiştir (75).

Tablo 6. Şekil Bazlı Özellikler

Özellik Grubu	Tanım	Özellikler
Şekil Bazlı Özellikler	Şekil bazlı özellikler lezyonun gri seviye intensitesinden bağımsız olarak konulan ROI'nın 2 boyutlu ya da 3 boyutlu şekil ve boyut özelliklerine verilen isimdir. Konulan ROI'nın geometrik özelliklerini kantitatif olarak karakterize etmektedir.	1.Mesh Volume, 2.Voxel Volume, 3.Surface Area, 4.Surface Area to Volume Ratio, 5.Sphericity, 6.Compactness1, 7.Compactness2, 8.Spherical Disproportion, 9.Elongation, 10.Elongation, 11. Maximum 3D Diameter, 12.Maximum 2D Diameter Slice, 13.Maximum 2D Diameter Row, 14.Maximum 2D Diameter Column, 15.Major Axis Length, 16.Minor Axis Length, 17.Least Axis Length, 18.Mesh Surface, 19.Pixel Surface, 20.Perimeter, 21.Perimeter to Surface Ratio

Tablo 7. Birinci Derece Özelikler

Özellik Grubu	Tanım	Özellikler
Birinci Derece Özellikler	Birinci seviye istatistiğe ait özellikler voksellerin spasyal ilişkileri göz önünde bulundurulmadan gri seviye değerlerinin her bir voksel için dağılımını anlatmaktadır.	1.Energy, 2.Total Energy, 3.Entropy, 4.Minimum, 5.10th percentile, 6.90th percentile, 7.Maximum, 8.Mean, 9.Median, 10.Interquartile Range, 11.Range, 12.Mean Absolute Deviation, 13.Robust Mean Absolute Deviation, 14.Root Mean Squared, 15.Standard Deviation, 16.Skewness, 17.Kurtosis, 18.Variance, 19.Uniformity

Tablo 8. Gray Level Co-occurrence Matrix Özelikleri

Özellik Grubu	Tanım	Özellikler
Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)	Voksel ya da piksellerin görüntüdeki dağılımını ve komşu voksel ya da piksel çiftleri ile ilişkisini istatiksel olarak ortaya koymaktadır.	1.Autocorrelation, 2.Joint Average, 3.Cluster Prominence, 4.Cluster Shade, 5.Cluster Tendency, 6.Contrast, 7.Correlation, 8.Difference Average, 9.Difference Entropy, 10.Difference Variance, 11.Joint Energy, 12.Joint Entropy, 13.Informational Measure of Correlation 1, 14.Informational Measure of Correlation 2, 15.Inverse Difference Moment, 16.Maximal Correlation Coefficient, 17.Inverse Difference Moment Normalized, 18.Inverse Difference, 19.Inverse Variance, 20.Maximum Probability, 21.Sum Average, 22.Sum Entropy, 23.Sum of Squares

Tablo 9. Gray Level Size Zone Matrix Özellikleri

Özellik Grubu	Tanım	Özellikler
Gray Level Size Zone Matrix (GLSZM)	Aynı gri seviye intensitesine sahip ve birbirine bağlı voksellerin sayısını göstererek gri seviye zonlarını ortaya koymaktadır. Matriksin geniş ve düzgün olduğu durumlarda homojen, matriksin dar olduğu durumlarda daha heterojendir.	1.Small Area Emphasis, 2.Large Area Emphasis, 3.Gray Level NonUniformity, 4.Gray Level NonUniformity Normalized, 5.Size-Zone Non-Uniformity, 6.Size-Zone Non-Uniformity Normalized, 7.Zone Percentage, 8.Gray Level Variance, 9.Zone Variance 10.Zone Entropy, 11.Low Gray Level Zone Emphasis, 12.High Gray Level Zone Emphasis, 13.Small Area Low Gray Level Emphasis, 14.Small Area High Gray Level Emphasis, 15.Large Area Low Gray Level Emphasis, 16.Large Area High Gray Level Emphasis

Tablo 10. Gray Level Run Length Matrix Özellikleri

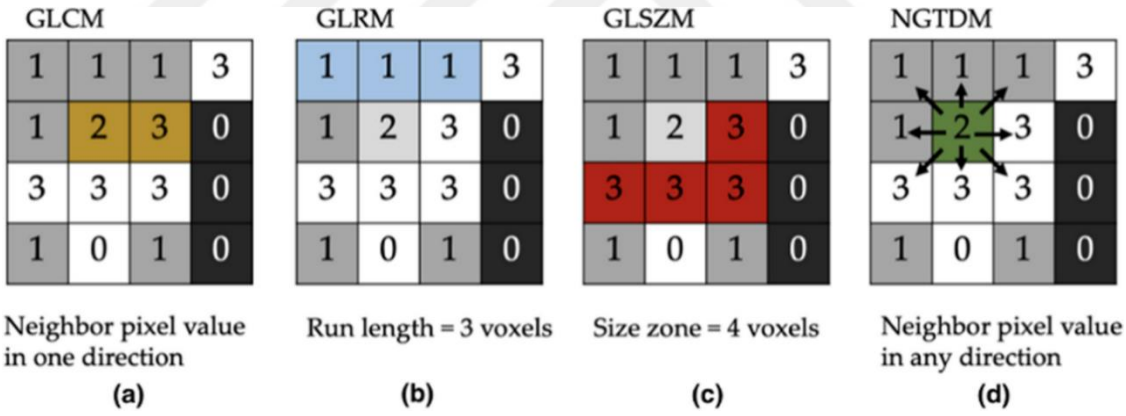
Özellik Grubu	Tanım	Özellikler
Gray Level Run Length Matrix (GLRLM)	Birbiri ile aynı intensiteye sahip ardışık voksellerin uzunluğunu ifade etmektedir.	1.Short Run Emphasis, 2.Long Run Emphasis, 3.Gray Level NonUniformity, 4.Gray Level NonUniformity Normalized, 5.Run Length NonUniformity, 6.Run Length NonUniformity Normalized, 7.Run Percentage, 8.Gray Level Variance, 9.Run Variance, 10.Run Entropy, 11.Low Gray Level Run Emphasis, 12.High Gray Level Run Emphasis, 13.Short Run Low Gray Level Emphasis, 14.Short Run High Gray Level Emphasis, 15.Long Run Low Gray Level Emphasis, 16.Long Run High Gray Level Emphasis

Tablo 11. Neighbouring Gray Tone Difference Matrix Özellikleri

Özellik Grubu	Tanım	Özellikler
Neighbouring Gray Tone Difference Matrix (NGTDM)	Belirli bir mesafede yer alan piksellerin gri seviye değeri ile komşuluğundaki piksellerin ortalama gri seviye değerleri arasındaki farkın ölçümüne dayanmaktadır.	1.Coarseness, 2.Contrast, 3.Busyness, 4.Complexity, 5.Strength

Tablo 12. Gray Level Dependence Matrix Özellikleri

Özellik Grubu	Tanım	Özellikler
Gray Level Dependence Matrix (GLDM)	Belirli bir mesafe içerisinde yer alan merkez voksele bağlı voksel sayısını ifade etmekte ve gri seviye bağımlılıklarını göstermektedir.	1.Small Dependence Emphasis, 2.Large Dependence Emphasis, 3.Gray Level NonUniformity, 4.Dependence NonUniformity 5.Dependence NonUniformity Normalized, 6.Gray Level Variance, 7.Dependence Variance, 8.Small Dependence High Gray Level Emphasis, 9.Large Dependence Low Gray Level Emphasis, 10.Large Dependence High Gray Level Emphasis



Şekil 13. Görüntüdeki piksel ve voksel değerlerinin spasyal dağılımı ve ilişkisini ortaya koyan spesifik matriksler (a) Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM), (b) Gray Level Run Length Matrix (GLRLM), (c) Gray Level Size Zone Matrix (GLSZM), (d) Neighboring Gray Tone Difference Matrix (NGTDM)

2.8. MAKİNE ÖĞRENMESİ

Makine öğrenmesi yapay zekanın bir alt dalı olup diagnostik radyolojide hastaların tanı, takip ve tedavi sonuçlarını öngörmede yakın zamanda kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekada derin öğrenmede olduğu gibi temel olarak; giriş katmanı, yapay sinir katmanlar ve çıktı katmanı bulunmaktadır. Veri setlerinden elde edilen bilgilerin makine öğretisi olarak kullanılmasında temel olarak 4 farklı öğrenme metodu bulunmaktadır (Şekil 14) (76).

1. Denetimli Öğrenme
2. Denetimsiz Öğrenme
3. Yarı Denetimli Öğrenme
4. Pekiştirmeli Öğrenme

2.8.1. Denetimli Öğrenme

Denetimli öğrenme; daha önceden etiketlenmiş eğitim veri seti ve test veri setinin modele aktarılması ile girdi veri seti ile çıktı veri seti arasında ilişki kurulması temeline dayanmaktadır. Algoritmanın daha önceden karşılaşmadığı yeni verilere uygun çıktılar bu yöntem yardımı ile tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Denetimli öğrenmede temel olarak sınıflandırma ve regresyon problemleri üzerine çalışılmaktadır (76).

Denetimli öğrenme algoritmalarında sık kullanılan metotlar; regresyon modelleri (doğrusal, çoklu doğrusal, polinomsal, lojistik), destek vektör makineleri (support vektor machine, SVM), K-en yakın komşu (K-Nearest Neighbor, KNN), naif Bayes, karar ağaçları (decision trees), Adaboost, XgBoost, rastgele orman (random forest) ve yapay sinir ağlarıdır (77).

2.8.2. Denetimsiz Öğrenme

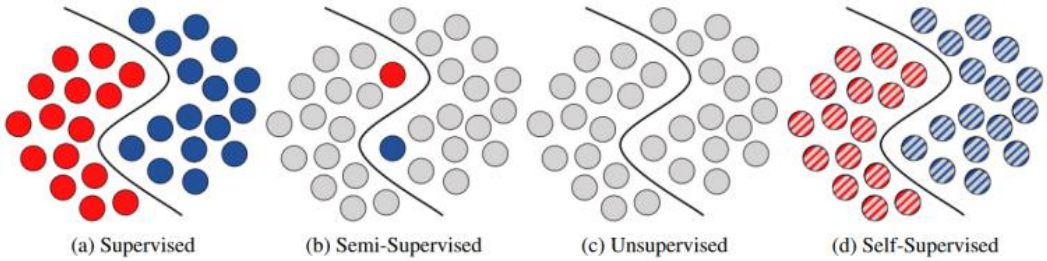
Denetimli öğrenme ile denetimsiz öğrenme arasındaki en temel fark denetimsiz öğrenmede daha önceden etiketlenmiş veri olmamasıdır. Bu öğrenme metodunda sistem etiketsiz girdi kümelerinden çıkarımlar yaparak ilişki paternini belirlemeye çalışmaktadır. Hiyerarşik kümeleme, K means kümeleme vem boyut azaltma en sık kullanılan algoritmalardır (78).

2.8.3. Yarı Denetimli Öğrenme

Bu yöntem denetimli ve denetimsiz öğrenmenin arasında bulunmaktadır. Etiketlenmemiş verinin, etiketlenmiş veriye oranının yüksek olduğu durumlarda bu yöntem daha sık kullanılmaktadır. Bu yöntemde öncelikle model az sayıda etiketli veri tarafından eğitilmektedir. Ardından diğer etiketsiz veriler sınıflandırılmaktadır. Yeni etiketlenmiş veriler ile orijinal etiketli veriler daha iyi bir model oluşturmak için kullanılmaktadır (77).

2.8.4. Pekiştirmeli Öğrenme

Denetimli ve denetimsiz öğrenme türünden daha farklı olan bu öğrenme metodu canlıların öğrenmesine benzemektedir. Eğitim verisi olmadan çevreden alınan tepkiler ile modelin eğitilmesinin sağlandığı bir öğrenme türüdür. Makine yaptığı hareketler sonucunda pozitif (ödül) veya negatif (ceza) pekiştiriciler almakta ve uzun dönemde alınan sonuçları buna göre optimize etmeye çalışmaktadır (76).



Tablo 14. Dört farklı makine öğrenmesinin illüstrasyonu. Kırmızı ve lacivert renkler etiketlenmiş dataları, gri renk etiketlenmemiş dataları, siyah çizgi gruplar arası karar eğrisini, çizgili renkler ise pekiştirmeli öğrenmedeki dataları temsil etmektedir

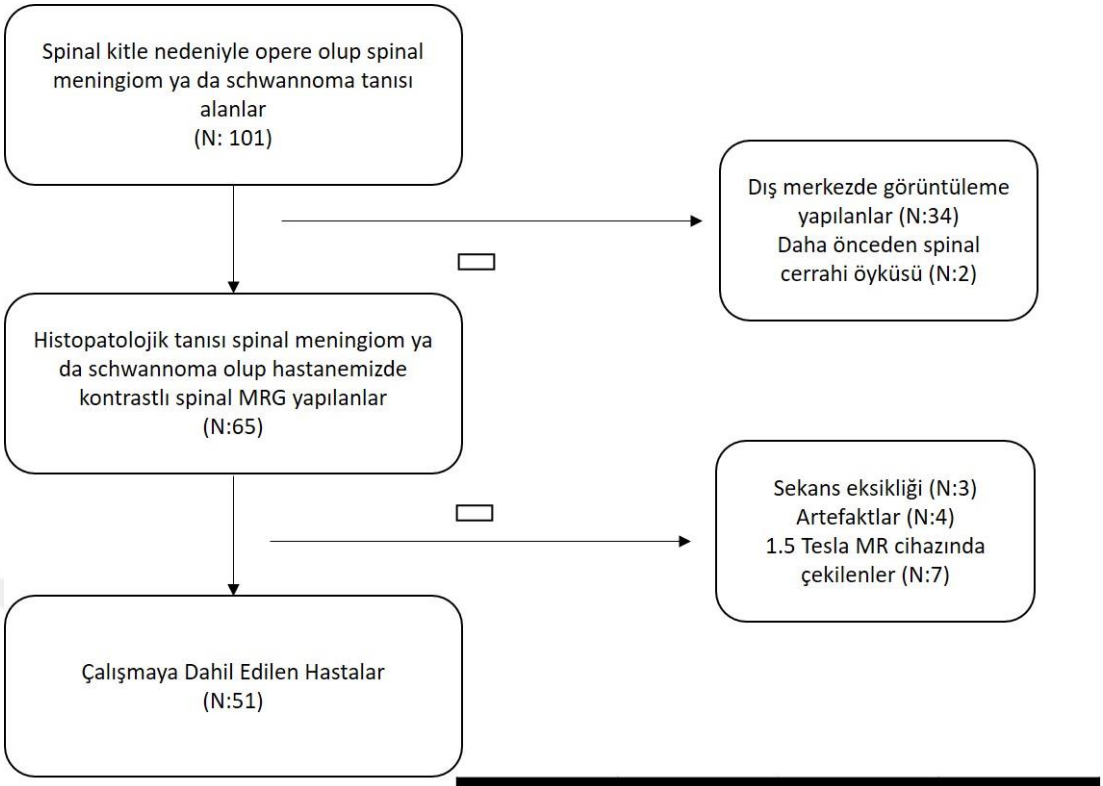
3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Çalışmanın Şekli

Ankara Şehir Hastanesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan 07.09.2022 tarih ve E2-22-2323 sayılı kararı ile izin alınmıştır. Retrospektif olarak tasarlanan bu çalışma İyi Klinik Uygulamalar Kılavuzu ve Helsinki Bildirgesi'ne uygundur. Yapılan bu çalışmada ek bütçe ihtiyacı duyulmamış olup çalışmanın herhangi bir finansal destekleyicisi bulunmamaktadır.

3.2. Hasta Seçimi

Çalışmaya 01.02.2019-27.06.2022 tarihleri arasında Ankara Şehir Hastanesi'nde spinal kitleye yönelik cerrahi yapılan ve histopatolojik tanısı spinal meningiom veya schwannoma olan 101 hasta retrospektif olarak değerlendirildi. Daha önceden spinal operasyon öyküsü olan (n=2) ve preoperatif görüntülemesi dış merkezde yapılan (n=34) hastalar çalışma dışında bırakıldı. MRG incelemesi hastanemizde yapılan 65 hasta incelendi. Sekans eksikliği olan (n=3), görüntü kalitesi artefaktlar nedeniyle yeterli olmayan (n=4) ve 1.5 Tesla MR cihazında çekimi yapılan (n=7) hastalar çalışma dışı bırakıldı. Çalışma kriterlerine uygun olan 51 hasta (15 erkek, 36 kadın) çalışmaya dahil edildi. Çalışma şema akışı Şekil 15'te özetlenmiştir.



	Erkek	Kadın	Toplam
Meningiom	4	21	25
Schwannoma	11	15	26
Toplam	15	36	51

Şekil 15. Çalışmanın akış şeması

3.3. MRG Protokolü

Çalışmaya dahil edilen hastaların MRG incelemesi 3 Tesla MR cihazında (SIGNA^{TM} Pioneer, GE Healthcare System, Wisconsin, USA) rutin spinal sekanslar ile yapılmıştır. Çekim sırasında kullanılan parametreler Tablo 13'te özetlenmiştir.

Kontrast madde olarak gadolinyum içeren kontrast ajanlar 0.5 mL/kg (1 mmol/kg) dozunda intravenöz yolla 3 ml/sn hızda uygulanmıştır.

Tablo 13. MRG Protokolleri

Sekans	Kesit Kalınlığı (mm)	TR (msn)	TE (msn)	FOV (mm)	Matriks
Kontrastlı Servikal MRG					
Sagittal T1AG FSE	3	853.0	9.2	24	352x224
Aksiyel T2AG FSE	4	5499.0	120.0	18	280x224
Sagittal T2AG FSE	3	2755.0	110.0	24	320x224
Sagittal STIR	3	4795 .0	42.0	24	320x224
Aksiyel Yağ Baskılı Post-kontrast T1AG	4	600.0	9.2	18	280x192
Sagittal Yağ Baskılı Post-kontrast T1AG	3	513.0	9.2	24	352x224
Kontrastlı Torakal MRG					
Sagittal T1AG FSE	4	542.0	16.45	30	320x224
Aksiyel T2AG FSE	4	5108.0	110.0	18	272x192
Sagittal T2AG FSE	4	2709.0	95.0	30	328x256
Sagittal STIR	4	4579.0	42.0	30	320x224
Aksiyel Yağ Baskılı Post-kontrast T1AG	4	634.0	10.3	18	320x192
Sagittal Yağ Baskılı Post-kontrast T1AG	4	779.0	16.2	30	320x224
Kontrastlı Lomber MRG					
Sagittal T1AG FSE	4	483.0	16.0	28	320x224
Aksiyel T2AG FSE	5	7783.0	120.0	20	272x192
Sagittal T2AG FSE	4	3117.0	90.0	28	320x224
Sagittal STIR	4	4643.0	60.0	28	320x224
Aksiyel Yağ Baskılı Post-kontrast T1AG	5	760.0	11.1	20	320x192
Sagittal Yağ Baskılı Post-kontrast T1AG	4	586.0	16.0	28	320x224
Kontrastlı Sakrum MRG					
Sagittal T1AG FSE	3,5	879.0	8.1	24	288x224
Aksiyel T2AG FSE	4.5	7568.0	12.0	22	320x192
Sagittal T2AG FSE	3,5	4112.0	10.0	24	320x224
Sagittal STIR	3,5	7568.0	42 .0	24	320x256
Aksiyel Yağ Baskılı Post-kontrast T1AG	4.5	883.0	10 .0	22	320x192
Sagittal Yağ Baskılı Post-kontrast T1AG	3,5	879.0	8.1	24	288x224

3.4. Görüntü Değerlendirme

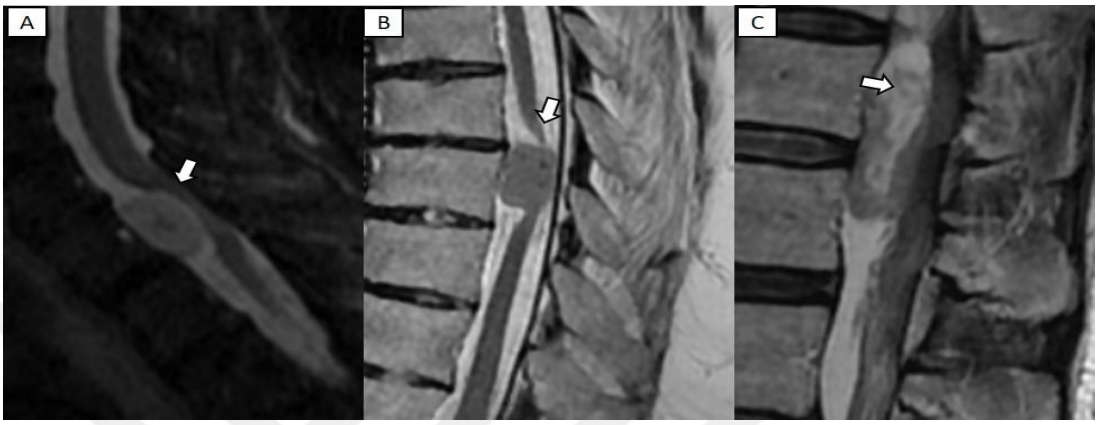
3.4.1. Konvansiyonel MRG Verileri

Araştırmaya dahil edilen 51 hastanın konvansiyonel MRG özellikleri her iki grup (grup 1: meningiom, grup 2: schwannoma) için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Konvansiyonel MRG verileri iki araştırmacı tarafından (5. yıl radyoloji asistanı ve 24 yıl deneyimli radyolog) farklı zamanlarda ölçülmüştür. Değerlendiren iki kişi arasında anlaşmazlık olan durumlarda ortak konsensüse varılarak değerlendirmeler tekrar sonuçlandırılmıştır. Ortak konsensusa varılmayan durumlarda 24 yıl deneyime sahip radyologun değerlendirilmesi esas alınmıştır. Değerlendirilen konvansiyonel MRG verileri Tablo 14'te özetlenmiştir.

Tablo 14. Konvansiyonel MRG Verileri

KONVANSİYONEL MRG VERİLERİ	
Tümörün Yerleşim Yeri	1: Servikal, 2: Servikotorakal, 3: Torakal, 4: Torakolomber, 5: Lomber, 6: Lumbosakral, 7: Sakral
Tümörün En Uzun Çapı	Kraniokaudal planda milimetre olarak ölçülmüştür
Tümörün Uzanımı	1: <2 Spinal segment, 2: >2 Spinal segment
Tümör İçi Kistik Değişiklikler	1: Var, 0: Yok
Spinal Kanaldaki Yerleşim	1: Anterior, 2: Anterolateral, 3: Lateral, 4: Posterolateral, 5: Posterior
Spinal Korda Bası	1: Var, 0: Yok
Spinal Kordda Myelomalazi	1: Var, 0: Yok
"Gingko Leaf" İşareti	1: Var, 0: Yok
Nöral Foramene Uzanım	1: Var, 0: Yok
Dural Kuyruk İşareti	1: Var, 0: Yok
Tümör Kontrastlanma Paterni	1: Diffüz homojen kontrastlanma 2: Heterojen kontrastlanma 3: Rim tarzı kontrastlanma

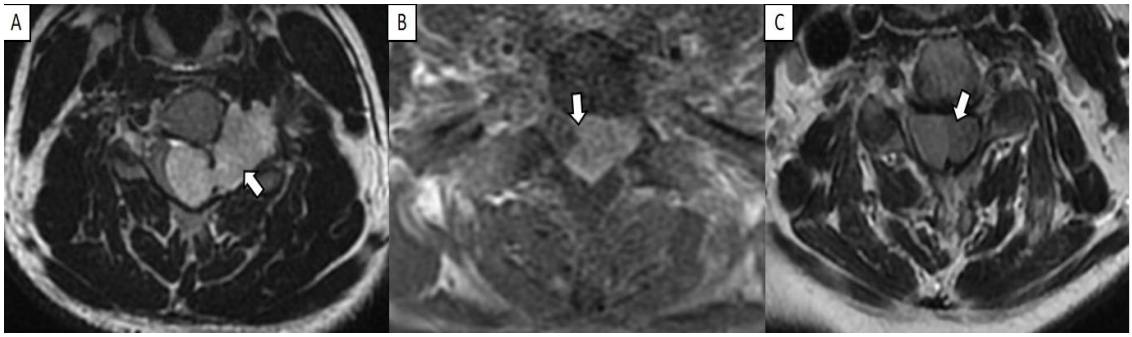
Yamaguchi ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptığı çalışma ile benzer olarak spinal meningiomlarda spinal kordda gerilmiş dental ligamanın tümörde oluşturduğu indentasyon "gingko leaf" işareti olarak tanımlandı (47). Şekil 16-18'de değerlendirilen konvansiyonel MR verilerine ait örnekler bulunmaktadır.



Şekil 16. A. Spinal kordda basılanma (ok), B. Spinal kordda myelomalazi (ok), C. Tümör içi kistik değişiklik (ok)



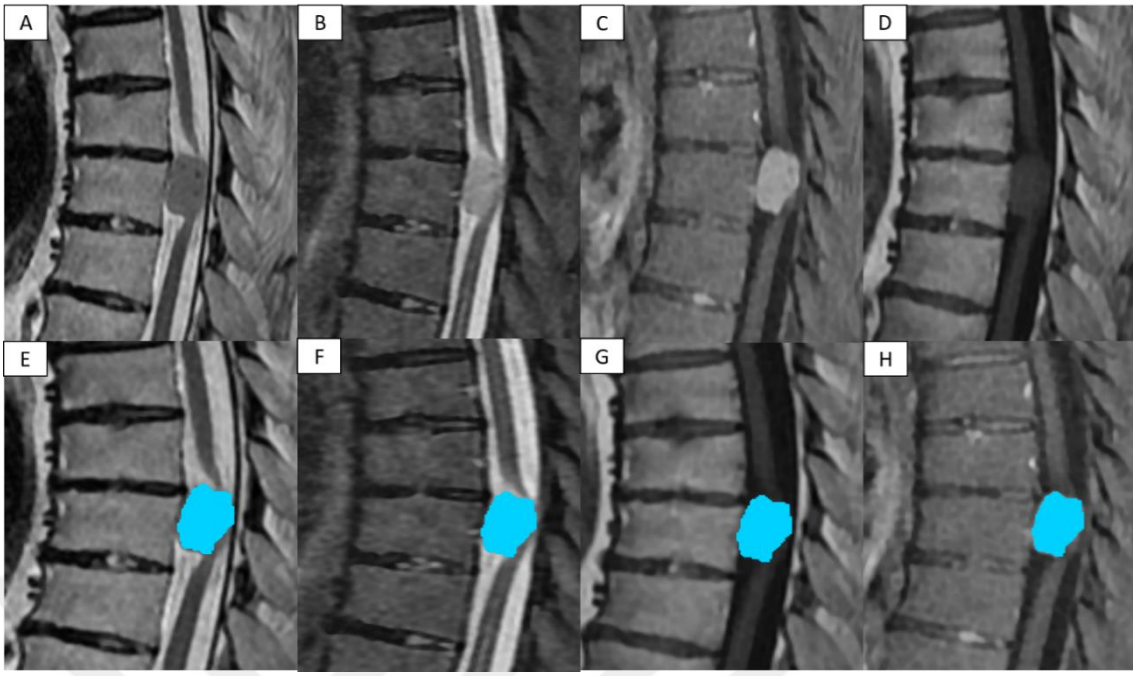
Şekil 17. A. Diffüz homojen kontrastlanma (ok), B. Rim tarzı kontrastlanma(ok), C. Heterojen kontrastlanma (ok), D. Dural kuyruk işareti (ok)



Şekil 18. A. Nöral foramene uzanım (ok), B. "Gingko leaf" işareti, C. Tümörün spinal kanaldaki lokalizasyonu (ok**)**

3.5. Radiomiks Tekstür Analizi

Hastaların spinal MRG tetkikine ait veriler DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında hastane veri tabanından alınarak tek bir kullanıcıya ait kişisel bilgisayara yüklenmiştir. Olea Sphere 3.1 SP-28 yazılımı (Olea Medicals, La Ciotat, France) aracılığıyla spinal kitlelere 3 boyutlu segmentasyon işlemi yapılmıştır. Kontrastlı sagittal T1A görüntüler baz alınarak tümör sınırlarının dahil olduğu her kesite Region of Interest (ROI) "serbest el" tekniği konularak manuel segmentasyon yapılmış ve tümöre ait VOI oluşturulmuştur (Şekil 19). Bu sekansta oluşturulan VOI her üç sekansta tümör sınırlarına uygun olacak şekilde maske görüntü vasfında bindirilerek sagittal T1AG, sagittal T2AG, sagittal STIR sekanslarına ait 3 boyutlu VOI'ler elde edilmiştir. Voksel boyutları 1x1x1 mm^3 olarak standardize edilmiştir. 17 adet şekille ilişkili özellik, 19 adet birinci derece istatistik, 24 adet Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM), 16 adet Gray Level Run Length Matrix (GLRLM), 16 adet Gray Level Size Zone Matrix (GLSZM) 5 adet Neighbouring Gray Tone Difference Matrix, 14 adet Gray Level Dependence Matrix (GLDM) parametresi olmak üzere her sekans için ayrı ayı 111 parametre incelenmiştir. Tekstür parametreleri her iki araştırmacı tarafından ayrı ayrı ölçülmüştür. Her iki araştırmacının ölçümleri arasında uyumun iyi [Intraclass correlation coefficient (ICC) $\geq$ 0.75] olduğu ölçümler değerlendirmeye alınmıştır.



Şekil 19. Sagittal T2AG, sagittal T1AG, sagittal post-kontrast T1AG ve STIR sekanslarında Olea Sphere 3.1 SP-28 yazılımı kullanılarak Region of Interest (ROI) "serbest el" tekniği her kesitte işaretlenmesi. Segmentasyon işlemi tümörün her görüldüğü kesitte uygulanarak tümöre ait VOI'ler oluşturulmaktadır (A-H)

3.6. İstatiksel Analiz

Tanımlayıcı istatistikler; normal dağılıma sahip sürekli değişkenler için ortalama ve standart sapma, normal dağılıma sahip olmayan sürekli değişkenler için ise ortanca, 25.-75. yüzdelikler ve kategorik değişkenler içinse sıklıklar ve yüzde olarak ifade edilmiştir. Sürekli değişkenlerin normalliğini belirlemek için; Shapiro-Wilk testi, histogram, kutu-çizgi ve Q-Q grafikleri kullanılmıştır. Normal dağılan bağımsız değişkenleri gruplar arası fark ve iki ortalama arasındaki farkın önemlilik testi ile karşılaştırılmıştır. Normal dağılım göstermeyen değişkenler için ise, Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Kategorik değişkenlerde 2 grup arasındaki bağ Ki-Kare testi veya Fisher'in kesin testi ile incelenmiştir. Tekstür parametrelerinin iki bağımsız değerlendirici arasındaki uyumu için sınıf içi korelasyon katsayısı verilmiştir. Sınıf içi korelasyon katsayıları R programı "irr" paketi (R package version 0.84.1., https://CRAN.R-project.org/package=irr) kullanılarak hesaplanmıştır. Sınıf içi korelasyon katsayısı 0.75 değerinden büyük olan parametreler gruplar arası karşılaştırmalar için ele alınmıştır. Tekstür parametrelerinin iki grup arasında

karşılaştırılmasında; Mann-Whitney U test sonuçlarında Benjamini-Hochberg düzeltmesi, R programında ise "gMWT" paketi (http=//www.jstatsoft.org/v65/i01) kullanılarak elde edilmiştir.

Tekstür parametreleri ve konvansiyonel parametrelerinde iki grubun karşılaştırılması sonucunda istatiksel anlamlı farklılık olan parametreler destek vektör makinesi algoritmasında sınıflama için kullanılmıştır. Destek vektör makinesi algoritması için R programında bulunan "caret" paketi (https://CRAN.R-project.org/package=caret) kullanılmıştır. Destek vektör makinesi ile konvansiyonel parametreler, radiomiks tekstür parametreleri ve her ikisinin de bulunduğu üç farklı model oluşturulmuştur. Tekstür parametrelerinin dağılım aralığını benzer yapabilmek için minimum-maksimum dönüşümü yapılmıştır. Destek vektör makinesi algoritmasında yer alan parametreler optimize edilmiştir. Model validasyonu tek-çıkışlı çapraz doğrulama (Leave-one-out cross validation; LOOCV) yöntemi kullanılmıştır. Üç modelin performansı eğri altında kalan alan (AUC), doğruluk oranı, duyarlılık, seçicilik, pozitif ve negatif kestirim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bütün testlerde anlamlılık düzeyi 0.05 olarak alınmıştır. İstatistiksel analizler R (https://www.R-project.org) ve IBM SPSS sürüm 23 (IBM Corp. Released 2015) programları kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Demografik Özellikler ve Lezyon Dağılımı

Çalışmaya toplam 51 hasta dahil edilmiştir. 1. grupta spinal meningiom tanısı olan 25 hasta (%49), 2. grupta ise schwannoma tanısı olan 26 hasta (%51) bulunmakta idi. Tümör tiplerine göre cinsiyet dağılımı; meningiomda 4 erkek (%16), 21 kadın (%84) iken; schwannomada 11 erkek (%42.3), 15 kadın (%57.7) idi. Her iki grupta da kadın hasta oranı yüksek olup bu fark istatiksel olarak anlamlı idi. (p=0.039)

Meningiom grubundaki hastaların yaş ortalaması 53.16 ± 19.38 yıl, schwannoma grubundakilerin yaş ortalaması 45.08 ± 19.94 yıl idi. Bu bulgu arasında istatiksel olarak anlamlı farklılık bulunmakta idi (p=0.134).

Lezyonların en uzun boyutu meningiom grubunda ortalama 21.98 ± 10.81 mm iken, schwannoma grubunda 31.3 ± 19.99 mm idi. Schwannoma, meningioma göre daha uzun boyuta sahip olup bu oran istatiksel olarak anlamlı idi (p=0.03).

Tümörlerin spinal kanal içindeki yerleşimine bakıldığında meningiom grubunda; 6 lezyon anterior (%24), 3 lezyon anterolateral (%12), 5 lezyon lateral (%20), 6 lezyon posterolateral (%24), 5 lezyon posterior (%20) yerleşimliydi. Schwannoma grubunda; 4 lezyon anterior (%15.4), 4 lezyon anterolateral (%15.4), 10 lezyon lateral (%20), 6 lezyon posterolateral (%23.1), 2 lezyon posterior (%7.7) bölge yerleşimliydi. Meningiomlarda anterior ve posterolateral yerleşim, schwannomada ise posterolateral yerleşim daha çoğunluktaydı.

Tümörlerin spinal düzeydeki lokalizasyonu göz önüne alındığında meningiom grubunda; 7 lezyon servikal (%28), 4 lezyon servikotorakal (%16), 13 lezyon torakal (%52), 1 lezyon lomber (%4) bölge yerleşimliydi. Schwannoma grubunda ise; 9 lezyon servikal (%34.6), 3 lezyon torakal (%11.5), 2 lezyon torokolomber (%7.7), 9 lezyon lomber (%34.6), 1 lezyon lumbosakral (%3.8), 2 lezyon sakrum (%7.7) bölgesinde bulunmakta idi. Meningiomun torakal yerleşimi, schwannomanın ise servikal ve lomber yerleşimi fazlaydı.

Her iki grupta 2 vertebradan daha kısa uzanım gösteren lezyon sayısı 47 (%92.2), 2 vertebradan daha fazla uzanım gösteren lezyon sayısı 4 (%7.8)'tür. Bu 4 lezyondan 3'ü meningiom (%75), 1'i schwannoma (%25) grubunda yer almaktadır. Her iki grup arasında istatiksel anlamlı farklılık bulunmamıştır (p=0.350).

4.2. Konvansiyonel MRG Bulguları

Çalışmaya dahil edilen 51 hastadan; dural kuyruk işareti gösteren 15 hasta (%60.0) meningiom, 2 hasta (%7.7) ise schwannoma tanısı aldı. İki grup arasındaki farklılık istatiksel olarak anlamlı idi ($p < 0.001$).

Meningiom grubundaki 6 hastada (%24.0) tümör içi kistik değişiklik izlenirken, schwannoma grubundaki 17 hastada (%65.4) bu bulgu saptandı. İki grup arasındaki farklılık istatiksel olarak anlamlı bulundu ($p=0.003$).

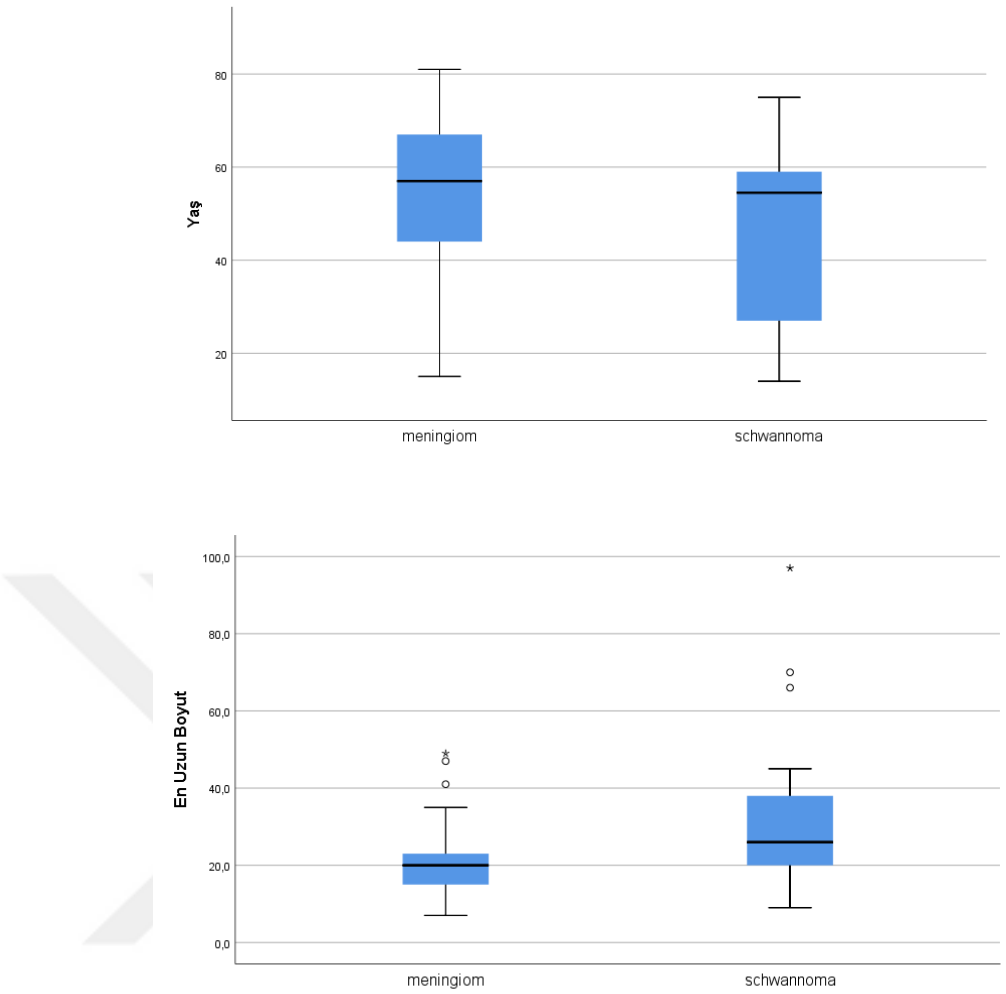
Nöral foramene uzanım meningiom grubunda 2 hastada (%8.0), schwannoma grubundaki 12 hastada (%46.2) saptanmış olup bu farklılık istatiksel olarak anlamlı idi ($p=0.002$).

Meningiom grubundaki 23 hastada (%92.0) spinal korda bası izlenirken, schwannoma grubundaki 12 hastada (%46.2) spinal korda bası saptanmıştır. İki grup arasındaki farklılık istatiksel olarak anlamlı idi ($p<0.001$).

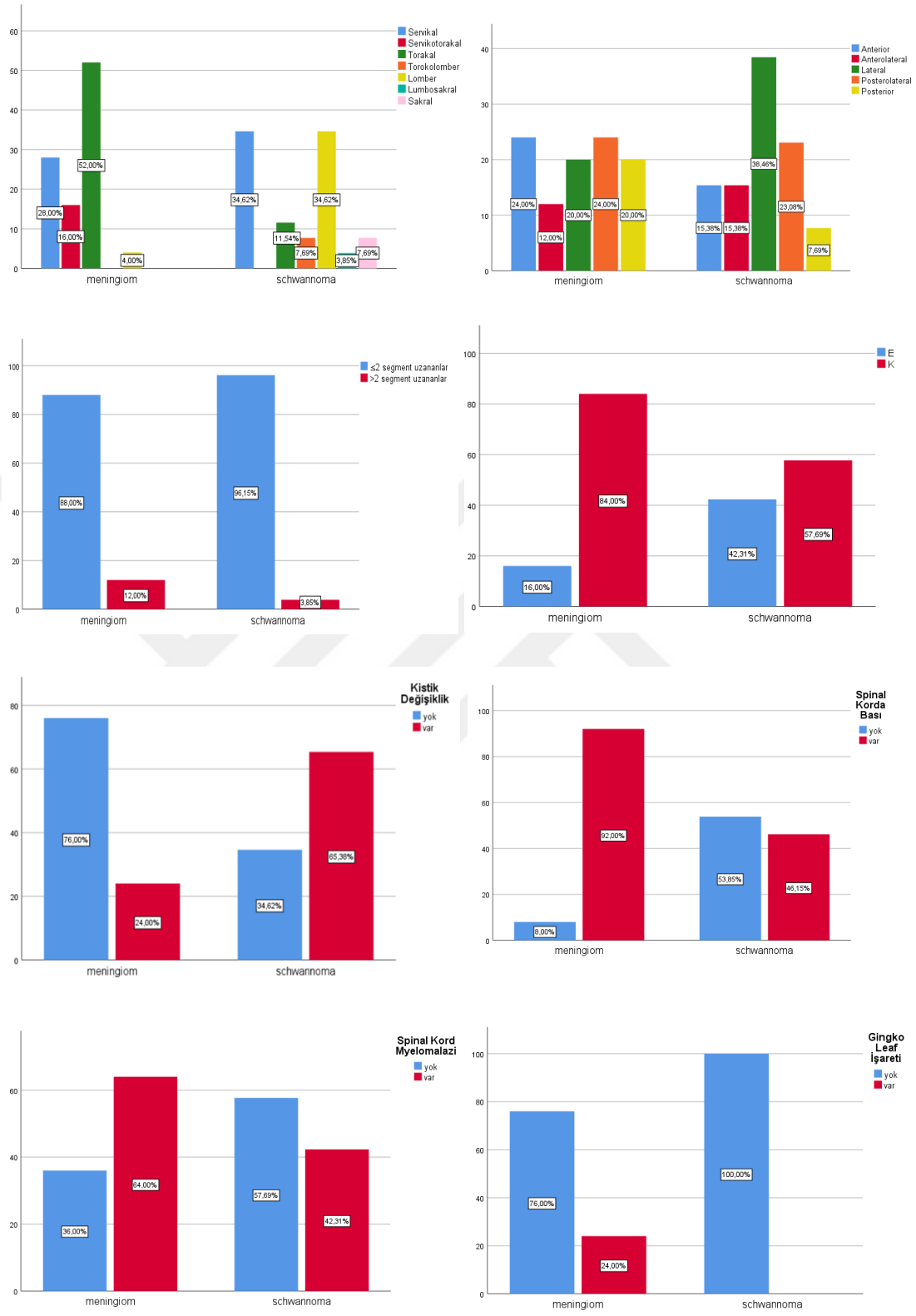
Meningiom grubundaki 16 hastada (%64.0) spinal kordda myelomalazi izlenirken, schwannoma grubunda bu bulgu 11 hastada (%42.3) saptandı. İki grup arasındaki farklılık istatiksel olarak anlamlı değildi ($p=0.121$).

Meningiom grubunda 6 hastada (%24.0) saptanan "gingko leaf" işareti schwannoma grubunda saptanmadı. Bu fark istatiksel olarak anlamlı idi ($p=0.01$).

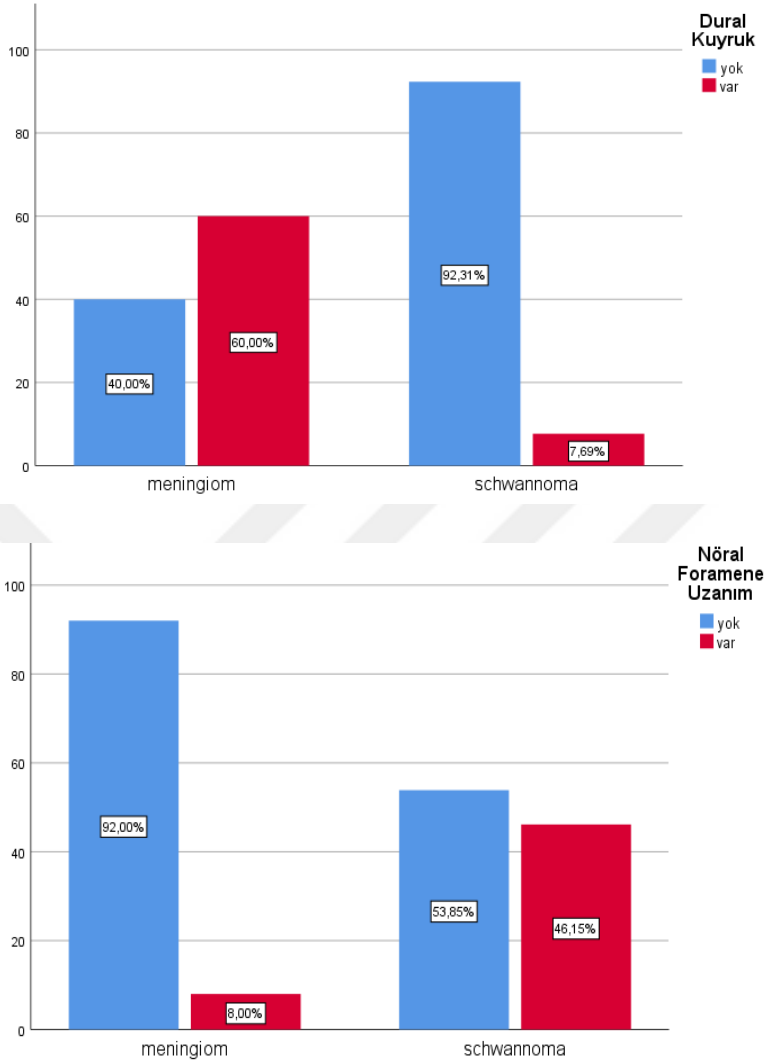
Meningiom grubundaki hastalarda diffüz homojen kontrastlanma 18 hastada (%72.0), heterojen kontrastlanma 5 hastada (%20.0), rim benzeri kontrastlanma 2 hastada (%8) saptandı. Schwannoma grubundaki hastalarda; diffüz homojen kontrastlanan 14 hastada (%53.8), heterojen kontrastlanma 6 hastada (%23.1), rim benzeri kontrastlanma 6 hastada (%23.1) bulundu. İki grup arasında farklı kontrastlanma paternlerine ait farklılık istatiksel olarak anlamlı değildi ($p=0.180$, $p=0.789$, $p=0.248$). Şekil 20-23'te değerlendirilen verilere ait kutu ve bar grafikleri bulunmaktadır.



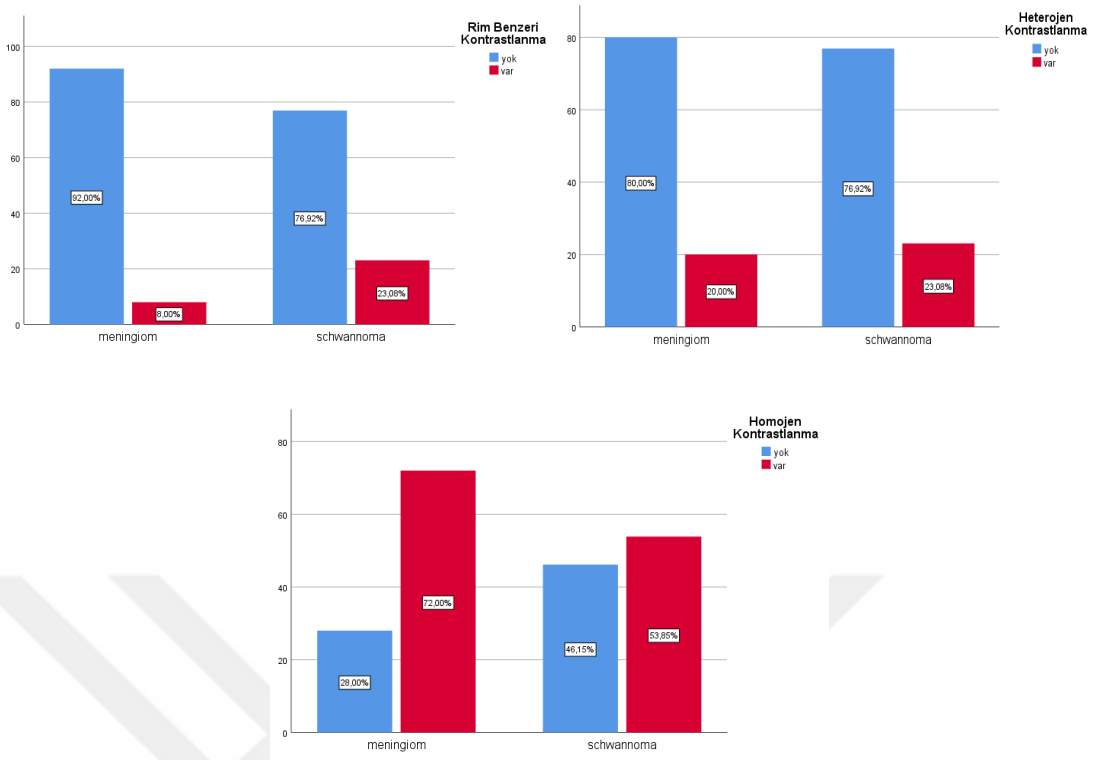
Şekil 20. Meningiom ve schwannoma gruplarına ait yaş ve en uzun boyut kutu grafileri



Şekil 21. Semantik özelliklerden tümör lokalizasyonu, uzanımı, cinsiyet, kistik değişiklik, korda bası, myelomalazi ve "gingko leaf" işaretine ait bar grafikleri



Şekil 22. Semantik özelliklerden dural kuyruk işareti ve nöral foramene uzanıma ait bar grafikleri



Şekil 23. Semantik özelliklerden kontrastlanma paternlerine ait bar grafikleri

4.3. Radiomiks Tekstür Analizi

Her iki grup için 4 ayrı sekans (T1AG, T2AG, STIR, post-kontrast T1AG) ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her sekans için; 17 adet şekille ilişkili özellik, 19 adet birinci derece istatistik, 24 adet Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM), 16 adet Gray Level Run Length Matrix (GLRLM), 16 adet Gray Level Size Zone Matrix (GLSZM) 5 adet Neighbouring Gray Tone Difference Matrix, 14 adet Gray Level Dependence Matrix (GLDM) olmak üzere ayrı ayrı 111 parametre bakılmıştır. Her iki araştırmacı tarafından farklı zamanlarda ayrı ayrı değerlendiren toplam 444 tekstür parametresinden Intraclass correlation coefficient (ICC) ≥0.75 olan toplam 186 parametre değerlendirmeye alınmıştır. 186 radiomiks parametresinden; 14'ü T1AG'den, 18'i T2AG, 12'si STIR sekansında, 12'si ise post-kontrast T1AG'den olmak üzere 56 parametre Mann Whitney U test sonuçlarına göre her iki grup arasındaki neticeler istatiksel olarak anlamlı ($p<0.005$) bulunmuştur.

T1AG'de her iki grup arasında en çok farklılık oluşturan üç parametre; Level Size Zone Matrix Gray Level Non Uniformity, Gray Level Run Length Matrix Gray

Level Non Uniformity, Gray Level Co-occurence Matrix Informal Measure Correlation1'dir.

T2AG'de her iki grup arasında en çok farklılık oluşturan parametreler; Total Energy, Energy, Standart Deviation, Variance ve Gray Level Size Zone Matrix Zone Entropy'dir.

STIR sekansında her iki grup arasında en çok farklılık oluşturan üç parametre; Total Energy, Energy ve Major Axis Length'tir.

Post-kontrast T1AG'de her iki grup arasında en çok farklılık oluşturan üç parametre; Variance, Standart Deviation ve Mean Absolute Deviation'dır. Tablo 15-22'de radiomiks parametrilerine ait veriler özetlenmektedir.

Tablo 15. Meningiom ve schwannoma grubuna ait T1AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametreleri

	Meningiom			Schwannoma			
	Median	Minimum	Maximum	Median	Minimum	Maximum	p değeri
T1AG-SurfaceAreatoVolumeRatio	0,66	0,46	1,57	0,51	0,15	1,24	0,9997
T1AG-Sphericity	0,71	0,40	0,86	0,69	0,48	0,82	0,7044
T1AG-Compactness1	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,04	0,7044
T1AG-SphericalDisproportion	1,41	1,16	2,47	1,44	1,22	2,06	0,3022
T1AG-MajorAxisLength	18,30	5,14	46,37	23,14	11,19	64,89	0,0041*
T1AG-Elongation	0,73	0,28	0,90	0,67	0,40	0,91	0,7044
T1AG-Flatness	0,49	0,00	0,71	0,49	0,25	0,82	0,1613
T1AG-10thPercentile	0,01	-0,50	0,66	-0,01	-0,62	0,45	0,917
T1AG-90thPercentile	0,39	-0,34	1,26	0,36	-0,27	1,00	0,8729
T1AG-Mean	0,20	-0,42	0,85	0,16	-0,40	0,73	0,8949
T1AG-Median	0,20	-0,42	0,89	0,13	-0,43	0,75	0,9253
T1AG-RootMeanSquared	0,30	0,08	0,87	0,31	0,09	0,76	0,4216
T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixDifferenceAverage	7,19	3,53	18,39	4,97	0,91	12,06	0,9937
T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation1	-0,38	-0,82	-0,18	-0,27	-0,70	-0,16	0,0017*
T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceMoment	0,18	0,07	0,39	0,24	0,09	0,66	0,017*
T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifference	0,27	0,13	0,45	0,33	0,17	0,69	0,0128*
T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceNormalized	0,91	0,80	0,95	0,93	0,85	0,99	0,0066*
T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseVariance	0,15	0,07	0,32	0,20	0,07	0,42	0,0187*
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixShortRunEmphasis	0,91	0,84	0,99	0,90	0,66	0,99	0,8146
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunEmphasis	2,05	1,05	3,34	1,97	1,05	8,00	0,5636
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixGrayLevelNonUniformity	26,90	1,21	185,32	73,12	3,12	6062,43	0,0016*
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunLengthNonUniformity	690,81	16,28	2580,43	1274,35	81,06	25387,54	0,0048*
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunLengthNonUniformityNormalized	0,91	0,74	0,97	0,87	0,46	0,97	0,989
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunPercentage	0,91	0,83	0,99	0,91	0,62	0,98	0,8293
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunVariance	0,06	0,01	0,26	0,09	0,02	1,38	0,0116*
T1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixGrayLevelNonUniformity	5,51	1,13	20,35	18,81	1,72	182,62	0,0001*
T1AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixCoarseness	0,01	0,00	0,07	0,01	0,00	0,04	0,9962
T1AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixBusyness	0,08	0,01	0,22	0,19	0,01	4,65	0,0095*
T1AG-GrayLevelDependenceMatrixLargeDependenceEmphasis	11,83	1,35	40,01	14,14	2,55	149,10	0,06
T1AG-GrayLevelDependenceMatrixGrayLevelNonUniformity	29,35	1,24	223,00	89,77	3,23	10633,57	0,0024*
T1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceNonUniformity	242,73	13,47	674,06	496,19	47,64	6700,60	0,0066*
T1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceNonUniformityNormalized	0,31	0,16	0,79	0,24	0,06	0,55	0,9947
T1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceVariance	1,96	0,10	9,88	3,26	0,26	28,99	0,0041*
*Mann Whitney-U testi							

Tablo 16. Meningiom ve schwannoma grubuna ait T2AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametreleri

	Meningiom			Schwannoma			
	Median	Minimum	Maximum	Median	Minimum	Maximum	p değeri
T2AG-SurfaceAreatoVolumeRatio	0,66	0,46	1,57	0,51	0,15	1,24	0,9997
T2AG-Sphericity	0,71	0,40	0,86	0,69	0,48	0,82	0,7044
T2AG-Compactness1	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,04	0,7044
T2AG-SphericalDisproportion	1,41	1,16	2,47	1,44	1,22	2,06	0,3022
T2AG-MajorAxisLength	18,30	5,14	46,37	23,14	11,19	64,89	0,0041*
T2AG-Elongation	0,73	0,28	0,90	0,67	0,40	0,91	0,7044
T2AG-Flatness	0,49	0,00	0,71	0,49	0,25	0,82	0,1659
T2AG-Energy	384,38	3,23	7927,21	2354,69	1,30	636393,33	0,0003*
T2AG-TotalEnergy	469,09	7,23	7927,21	2768,27	4,15	636393,33	0,0001*
T2AG-10thPercentile	0,22	-0,44	1,22	0,53	-0,60	2,13	0,092
T2AG-90thPercentile	0,84	-0,17	4,25	1,90	0,18	5,89	0,0059*
T2AG-Maximum	1,57	0,38	5,14	2,69	0,41	6,95	0,0018*
T2AG-Mean	0,51	-0,30	2,37	1,20	-0,17	4,10	0,0105*
T2AG-Median	0,48	-0,31	2,24	1,09	-0,28	4,32	0,0077*
T2AG-interquartileRange	0,34	0,09	1,97	0,68	0,20	2,03	0,0005*
T2AG-Range	1,83	0,44	5,37	3,00	0,79	7,48	0,0004*
T2AG-MeanAbsoluteDeviation	0,24	0,06	1,12	0,44	0,12	1,16	0,0004*
T2AG-RobustMeanAbsoluteDeviation	0,16	0,04	0,89	0,29	0,08	0,82	0,0007*
T2AG-RootMeanSquared	0,52	0,18	2,68	1,33	0,16	4,34	0,0059*
T2AG-StandardDeviation	0,29	0,08	1,27	0,60	0,16	1,44	0,0003*
T2AG-Skewness	0,48	-2,18	1,56	0,00	-1,37	2,59	0,8607
T2AG-Kurtosis	3,82	1,87	12,73	3,61	1,72	10,77	0,9226
T2AG-Variance	0,08	0,01	1,60	0,37	0,03	2,07	0,0003*
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixAutocorrelation	726,41	328,27	1949,55	1096,92	138,98	2099,58	0,0695
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixJointAverage	26,57	15,76	43,76	31,54	9,89	44,73	0,0578
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterProminence	408835,64	61489,70	2488356,40	633973,05	186653,64	1652592,83	0,0671
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterShade	971,91	-3150,54	26273,30	-210,17	-13793,23	12508,14	0,9422
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterTendency	351,51	82,04	1130,02	387,15	200,08	945,20	0,0889
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixDifferenceAverage	5,79	2,46	15,86	6,36	2,22	10,70	0,2827
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixDifferenceVariance	33,72	10,97	193,65	43,19	15,56	114,65	0,1804
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation1	-0,42	-0,79	-0,22	-0,33	-0,65	-0,18	0,0375*
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceMoment	0,25	0,07	0,42	0,24	0,10	0,55	0,571
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifference	0,33	0,14	0,49	0,32	0,18	0,60	0,5931
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceNormalized	0,92	0,83	0,97	0,92	0,87	0,97	0,7299
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseVariance	0,20	0,06	0,33	0,18	0,09	0,35	0,5562
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumAverage	53,13	31,51	87,52	63,08	19,77	89,46	0,0578
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumofSquares	107,84	24,86	319,92	117,57	58,68	273,79	0,1659
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunEmphasis	2,11	1,05	3,41	1,38	1,11	6,23	0,9016
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixGrayLevelVariance	114,01	33,73	324,31	131,69	68,37	279,02	0,1352
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunVariance	0,10	0,02	0,26	0,08	0,04	0,69	0,7361
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixLowGrayLevelRunEmphasis	0,01	0,00	0,07	0,01	0,00	0,03	0,9443
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixHighGrayLevelRunEmphasis	855,76	378,82	1987,77	1118,55	233,15	2000,95	0,1352
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixShortRunLowGrayLevelEmphasis	0,01	0,00	0,07	0,01	0,00	0,03	0,9559
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixShortRunHighGrayLevelEmphasis	753,45	337,84	1768,42	1002,75	212,19	1691,56	0,1271
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunHighGrayLevelEmphasis	1845,32	672,77	4299,23	1663,47	461,00	13254,01	0,7991
T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixSizeZoneNonUniformityNormalized	0,32	0,24	0,88	0,36	0,10	0,74	0,5038
T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixGrayLevelVariance	139,16	53,17	339,89	150,03	89,86	277,22	0,1613
T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixZoneEntropy	6,26	3,77	7,22	6,98	4,77	8,73	0,0003*
T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixLowGrayLevelZoneEmphasis	0,01	0,00	0,08	0,01	0,00	0,03	0,9987
T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixSmallAreaLowGrayLevelEmphasis	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03	0,6292
T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaHighGrayLevelEmphasis	38470,92	941,18	264855,79	11286,65	1941,07	34326606,41	0,8983
T2AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixCoarseness	0,01	0,00	0,06	0,01	0,00	0,07	0,9852
T2AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixComplexity	3890,18	1474,72	7545,32	5830,25	2310,02	10968,36	0,0024*
T2AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixStrength	9,75	3,09	87,62	9,79	0,65	70,32	0,8767
T2AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceNonUniformityNormalized	0,24	0,14	0,78	0,24	0,14	0,59	0,4662
T2AG-GrayLevelDependenceMatrixGrayLevelVariance	113,07	30,67	319,11	127,90	66,51	279,65	0,1435
T2AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceVariance	3,78	0,11	12,09	3,49	0,25	22,98	0,5113
T2AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceEntropy	6,91	3,75	7,43	7,19	4,83	8,25	0,0023*
T2AG-GrayLevelDependenceMatrixLowGrayLevelEmphasis	0,01	0,00	0,07	0,01	0,00	0,03	0,9279
T2AG-GrayLevelDependenceMatrixHighGrayLevelEmphasis	848,18	377,91	1989,93	1125,56	210,76	2079,54	0,1195
T2AG-GrayLevelDependenceMatrixSmallDependenceLowGrayLevelEmphasis	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02	0,9016
T2AG-GrayLevelDependenceMatrixLargeDependenceHighGrayLevelEmphasis	15341,02	956,90	45826,48	13700,88	2616,25	182881,03	0,5413
*Mann Whitney U testi							

Tablo 17. Meningiom ve schwannoma grubuna ait STIR sekansında elde edilen radiomiks tekstür analizi parametreleri

	Meningiom			Schwannoma			
	Median	Minimum	Maximum	Median	Minimum	Maximum	p değeri
STIR-SurfaceAreatoVolumeRatio	0,66	0,46	1956,57	0,51	0,15	1,24	0,9998
STIR-Sphericity	0,71	0,40	0,86	0,69	0,48	0,82	0,7173
STIR-Compactness1	0,03	0,01	0,53	0,03	0,02	0,04	0,8387
STIR-SphericalDisproportion	1,40	0,15	2,47	1,44	1,22	2,06	0,1659
STIR-MajorAxisLength	18,30	5,14	46,37	23,14	11,19	64,89	0,0041*
STIR-Elongation	0,73	0,28	8,16	0,67	0,40	0,91	0,8433
STIR-Flatness	0,49	0,00	0,71	0,49	0,25	0,82	0,1956
STIR-Energy	8221,15	0,20	37825,31	16950,70	162,96	2260002,16	0,0003*
STIR-TotalEnergy	8638,17	168,82	37825,31	30270,08	412,72	2260002,16	0,0001*
STIR-90thPercentile	3,53	1,42	8,23	4,19	1,69	7,35	0,0234*
STIR-Maximum	4,60	1,75	8,94	5,40	2,41	8,51	0,0195*
STIR-Mean	2,49	0,80	5,25	3,05	0,66	5,77	0,1435
STIR-Median	2,54	0,71	4,92	3,11	0,54	6,26	0,0802
STIR-interquartileRange	0,86	0,24	3,58	1,19	0,62	3,75	0,0105*
STIR-Range	3,59	0,76	8,22	5,31	2,14	9,00	0,007*
STIR-MeanAbsoluteDeviation	0,56	0,18	5,93	0,83	0,37	1,90	0,0105*
STIR-RobustMeanAbsoluteDeviation	0,37	0,11	1,54	0,52	0,26	1,50	0,0077*
STIR-RootMeanSquared	2,67	0,32	5,50	3,21	1,03	5,98	0,0441*
STIR-StandardDeviation	0,71	0,26	2,49	1,07	0,46	2,19	0,011*
STIR-Skewness	0,01	-1,61	0,91	-0,09	-1,65	1,02	0,3779
STIR-Kurtosis	3,16	-1,31	10,04	3,32	1,85	5,43	0,7482
STIR-Variance	0,50	0,07	6,07	1,15	0,21	4,80	0,011*
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixAutocorrelation	1125,90	0,05	2394,40	1262,77	530,83	2512,53	0,1393
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixJointAverage	32,20	19,24	1178,53	34,48	20,83	49,01	0,2956
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation1	-0,40	-0,82	8,23	-0,32	-0,71	-0,17	0,0291*
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceMoment	0,24	0,05	0,93	0,24	0,07	0,57	0,5338
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifference	0,32	0,11	0,99	0,31	0,14	0,61	0,5263
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseVariance	0,17	0,07	0,94	0,18	0,08	0,35	0,1755
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumAverage	63,38	0,02	97,55	68,96	41,67	98,02	0,1522
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumofSquares	120,63	5,47	292,87	137,34	68,70	376,31	0,2009
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunEmphasis	2,08	0,87	3,12	1,39	1,03	6,70	0,8341
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixGrayLevelVariance	133,68	0,87	318,39	157,79	76,46	417,89	0,2518
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixRunVariance	0,09	0,00	79,18	0,08	0,01	0,91	0,5188
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixHighGrayLevelRunEmphasis	1166,46	0,01	2321,18	1318,33	578,44	2338,09	0,1755
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixShortRunHighGrayLevelEmphasis	1061,29	0,01	2092,89	1224,81	512,38	1962,19	0,2171
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunHighGrayLevelEmphasis	2644,09	0,02	6003,20	1906,22	981,55	17258,55	0,7299
STIR-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaEmphasis	37,78	0,06	389,62	18,84	1,21	17859,85	0,8146
STIR-GrayLevelSizeZoneMatrixZoneVariance	15,90	0,00	279,66	7,00	0,06	17270,05	0,7717
STIR-GrayLevelSizeZoneMatrixHighGrayLevelZoneEmphasis	1185,35	0,01	2170,33	1322,48	676,90	1976,30	0,2341
STIR-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaHighGrayLevelEmphasis	56169,28	0,49	317845,62	26700,70	1966,79	52807401,00	0,8522
STIR-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixCoarseness	0,01	0,00	169838,73	0,01	0,00	0,06	0,9964
STIR-GrayLevelDependenceMatrixGrayLevelVariance	131,49	0,19	314,31	149,74	75,22	422,65	0,2578
STIR-GrayLevelDependenceMatrixDependenceVariance	3,98	0,00	75,79	3,75	0,11	29,50	0,5784
STIR-GrayLevelDependenceMatrixHighGrayLevelEmphasis	1164,00	0,01	2342,72	1319,01	568,85	2470,11	0,1755
STIR-GrayLevelDependenceMatrixLargeDependenceHighGrayLevelEmphasis	21473,89	0,14	51230,81	15697,31	2517,21	311623,56	0,5636
*Mann Whitney U testi							

Tablo 18. Meningiom ve schwannoma grubuna ait post-kontrast T1AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametreleri

	Meningiom			Schwannoma			
	Median	Minimum	Maximum	Median	Minimum	Maximum	p değeri
PostkontrastT1AG-SurfaceAreatoVolumeRatio	0,66	0,46	1,57	0,51	0,15	1,24	0,9997
PostkontrastT1AG-Sphericity	0,71	0,40	0,86	0,69	0,48	0,82	0,7044
PostkontrastT1AG-Compactness1	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,04	0,7044
PostkontrastT1AG-SphericalDisproportion	1,41	1,16	2,47	1,44	1,22	2,06	0,3022
PostkontrastT1AG-MajorAxisLength	18,30	5,14	46,37	23,14	11,19	64,89	0,0041*
PostkontrastT1AG-Elongation	0,73	0,28	0,90	0,67	0,40	0,91	0,7044
PostkontrastT1AG-Flatness	0,49	0,00	0,71	0,49	0,25	0,82	0,1804
PostkontrastT1AG-10thPercentile	1,28	-0,07	2,33	1,21	-0,63	2,22	0,8879
PostkontrastT1AG-90thPercentile	2,31	0,45	4,07	2,55	1,02	5,51	0,1017
PostkontrastT1AG-Maximum	2,84	0,58	6,03	3,15	1,74	6,72	0,0516
PostkontrastT1AG-Mean	1,77	0,24	3,03	1,79	0,06	4,05	0,4364
PostkontrastT1AG-Median	1,85	0,27	3,00	1,87	-0,15	4,29	0,3996
PostkontrastT1AG-interquartileRange	0,46	0,18	1,01	0,73	0,37	1,85	0,0006*
PostkontrastT1AG-Range	2,68	0,88	5,13	3,41	1,82	7,42	0,0032*
PostkontrastT1AG-MeanAbsoluteDeviation	0,31	0,14	0,62	0,48	0,25	1,04	0,0004*
PostkontrastT1AG-RobustMeanAbsoluteDeviation	0,20	0,09	0,43	0,31	0,16	0,74	0,0012*
PostkontrastT1AG-RootMeanSquared	1,79	0,32	3,09	1,90	0,64	4,25	0,2518
PostkontrastT1AG-StandardDeviation	0,43	0,20	0,81	0,62	0,34	1,29	0,0004
PostkontrastT1AG-Skewness	-0,33	-2,30	0,75	-0,49	-1,58	1,97	0,5784
PostkontrastT1AG-Kurtosis	4,44	2,42	9,35	3,81	1,71	7,34	0,9484
PostkontrastT1AG-Variance	0,19	0,04	0,65	0,38	0,12	1,67	0,0004*
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixAutocorrelation	1545,75	614,98	2493,54	1358,93	277,95	2411,68	0,6912
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixJointAverage	37,95	23,87	49,31	35,70	14,51	48,55	0,7482
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterProminence	423550,30	40330,61	983366,30	503332,36	47413,79	2900425,07	0,1659
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterTendency	317,48	84,28	558,57	315,39	94,58	1324,86	0,1478
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixCorrelation	0,58	0,17	0,73	0,64	0,25	0,92	0,1804
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixJointEntropy	8,13	5,13	8,76	8,66	6,08	10,30	0,0005*
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation1	-0,35	-0,80	-0,20	-0,33	-0,66	-0,14	0,0423*
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation2	0,98	0,88	1,00	0,98	0,82	1,00	0,8433
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseVariance	0,19	0,11	0,29	0,18	0,11	0,33	0,2578
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixMaximumProbability	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	0,04	0,9962
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumAverage	75,91	47,75	98,61	71,40	29,02	97,09	0,7482
PostkontrastT1AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunEmphasis	2,11	1,00	3,43	1,43	1,08	6,01	0,9422
PostkontrastT1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunVariance	0,10	0,00	0,27	0,09	0,03	0,59	0,5338
PostkontrastT1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunEntropy	5,30	4,40	5,70	5,58	5,03	6,57	0,0013*
PostkontrastT1AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunLowGrayLevelEmphasis	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,13	0,9329
PostkontrastT1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaEmphasis	52,10	1,00	255,45	22,15	2,57	14571,72	0,8565
PostkontrastT1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixZoneVariance	17,28	0,00	173,74	9,24	0,60	14151,78	0,6978
PostkontrastT1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixZoneEntropy	6,34	4,40	7,25	6,92	5,57	8,77	0,0005*
PostkontrastT1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaLowGrayLevelEmphasis	0,13	0,03	0,53	0,06	0,01	190,33	0,9484
PostkontrastT1AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixCoarseness	0,01	0,00	0,08	0,01	0,00	0,05	0,8983
PostkontrastT1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceVariance	3,93	0,00	14,02	4,20	0,58	19,35	0,3358
PostkontrastT1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceEntropy	6,94	4,40	7,65	7,21	5,52	8,44	0,01*
PostkontrastT1AG-GrayLevelDependenceMatrixHighGrayLevelEmphasis	1567,77	640,15	2438,10	1379,98	313,14	2373,85	0,6912
PostkontrastT1AG-GrayLevelDependenceMatrixLargeDependenceLowGrayLevelEmphasis	0,04	0,02	0,14	0,04	0,00	2,70	0,6363
*Mann Whitney U testi							

Tablo 19. Meningiom ve schwannoma grubuna ait T1AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametrelerinin ROC analizi sonuçları

	%95 Güven Aralığı				%95 Güven Aralığı		
	AUC	Alt Sınır	Üst sınır		AUC	Alt Sınır	Üst sınır
T1AG-SurfaceAreatoVolumeRatio	0,780	0,651	0,909	T1AG-SphericalDisproportion	0,543	0,382	0,704
T1AG-Sphericity	0,543	0,382	0,704	T1AG-MajorAxisLength	0,717	0,573	0,861
T1AG-Compactness1	0,543	0,382	0,704	T1AG-Flatness	0,582	0,423	0,740
T1AG-Elongation	0,543	0,381	0,705	T1AG-RootMeanSquared	0,517	0,352	0,681
T1AG-10thPercentile	0,612	0,456	0,769	T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation1	0,740	0,602	0,878
T1AG-90thPercentile	0,592	0,435	0,750	T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceMoment	0,674	0,524	0,823
T1AG-Mean	0,602	0,445	0,759	T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifference	0,683	0,535	0,831
T1AG-Median	0,617	0,462	0,772	T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceNormalized	0,703	0,558	0,849
T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixDifferenceAverage	0,703	0,558	0,849	T1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseVariance	0,671	0,522	0,820
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixShortRunEmphasis	0,572	0,405	0,740	T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixGrayLevelNonUniformity	0,742	0,604	0,880
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunEmphasis	0,512	0,346	0,678	T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunLengthNonUniformity	0,712	0,570	0,855
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunLengthNonUniformityNormalized	0,686	0,538	0,834	T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunVariance	0,686	0,539	0,833
T1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunPercentage	0,577	0,410	0,744	T1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixGrayLevelNonUniformity	0,822	0,702	0,941
T1AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixCoarseness	0,717	0,575	0,859	T1AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixBusyness	0,692	0,543	0,842
T1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceNonUniformityNormalized	0,708	0,564	0,851	T1AG-GrayLevelDependenceMatrixLargeDependenceEmphasis	0,628	0,469	0,786
T1AG-GrayLevelDependenceMatrixGrayLevelNonUniformity	0,731	0,592	0,870	T1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceVariance	0,717	0,574	0,860
T1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceNonUniformity	0,703	0,558	0,848				
*ROC analizi							

Tablo 20. Meningioma ve schwannoma grubuna ait T2AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametrelerinin ROC analizi sonuçları

	%95 Güven Aralığı				%95 Güven Aralığı		
	AUC	Alt Sınır	Üst sınır		AUC	Alt Sınır	Üst sınır
T2AG-ShapeSphericalDisproportion	0,543	0,382	0,704	T2AG-SurfaceAreatoVolumeRatio	0,780	0,651	0,909
T2AG-ShapeMajorAxisLength	0,717	0,573	0,861	T2AG-Sphericity	0,543	0,382	0,704
T2AG-ShapeFlatness	0,580	0,421	0,739	T2AG-Compactness1	0,543	0,382	0,704
T2AG-Energy	0,785	0,654	0,915	T2AG-Elongation	0,543	0,381	0,705
T2AG-TotalEnergy	0,811	0,686	0,936	T2AG-Skewness	0,588	0,427	0,749
T2AG-10thPercentile	0,609	0,452	0,767	T2AG-Kurtosis	0,615	0,458	0,773
T2AG-90thPercentile	0,706	0,560	0,852	T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterShade	0,628	0,472	0,784
T2AG-Maximum	0,738	0,598	0,879	T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceMoment	0,514	0,352	0,676
T2AG-Mean	0,689	0,542	0,837	T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifference	0,518	0,356	0,681
T2AG-Median	0,698	0,552	0,845	T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceNormalized	0,549	0,388	0,711
T2AG-interquartileRange	0,769	0,636	0,903	T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseVariance	0,511	0,349	0,673
T2AG-Range	0,777	0,644	0,910	T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunEmphasis	0,605	0,440	0,770
T2AG-MeanAbsoluteDeviation	0,774	0,638	0,909	T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunVariance	0,551	0,390	0,711
T2AG-RobustMeanAbsoluteDeviation	0,763	0,626	0,900	T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixLowGrayLevelRunEmphasis	0,629	0,473	0,786
T2AG-RootMeanSquared	0,706	0,561	0,851	T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixShortRunLowGrayLevelEmphasis	0,638	0,482	0,795
T2AG-StandardDeviation	0,778	0,646	0,911	T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunHighGrayLevelEmphasis	0,568	0,408	0,727
T2AG-Variance	0,778	0,646	0,911	T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixLowGrayLevelZoneEmphasis	0,745	0,600	0,889
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixAutocorrelation	0,622	0,459	0,784	T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixSmallAreaLowGrayLevelEmphasis	0,526	0,365	0,688
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixJointAverage	0,629	0,468	0,791	T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaHighGrayLevelEmphasis	0,603	0,439	0,767
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterProminence	0,623	0,458	0,788	T2AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixCoarseness	0,677	0,528	0,826
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterTendency	0,611	0,450	0,772	T2AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixStrength	0,594	0,436	0,752
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixDifferenceAverage	0,548	0,386	0,709	T2AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceVariance	0,502	0,340	0,664
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixDifferenceVariance	0,575	0,411	0,739	T2AG-GrayLevelDependenceMatrixLowGrayLevelEmphasis	0,618	0,461	0,776
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation1	0,646	0,490	0,803	T2AG-GrayLevelDependenceMatrixSmallDependenceLowGrayLevelEmphasis	0,605	0,449	0,761
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumAverage	0,629	0,468	0,791	T2AG-GrayLevelDependenceMatrixLargeDependenceHighGrayLevelEmphasis	0,508	0,345	0,670
T2AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumofSquares	0,580	0,414	0,746	T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixZoneEntropy	0,783	0,654	0,912
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixGrayLevelVariance	0,591	0,424	0,757	T2AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixComplexity	0,731	0,592	0,869
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixHighGrayLevelRunEmphasis	0,591	0,427	0,755	T2AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceNonUniformityNormalized	0,508	0,347	0,669
T2AG-GrayLevelRunLengthMatrixShortRunHighGrayLevelEmphasis	0,594	0,430	0,758	T2AG-GrayLevelDependenceMatrixGrayLevelVariance	0,588	0,421	0,755
T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixSizeZoneNonUniformityNormalized	0,500	0,334	0,666	T2AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceEntropy	0,732	0,593	0,872
T2AG-GrayLevelSizeZoneMatrixGrayLevelVariance	0,582	0,411	0,752	T2AG-GrayLevelDependenceMatrixHighGrayLevelEmphasis	0,597	0,434	0,760
*ROC analizi							

Tablo 21. Meningioma ve schwannoma grubuna ait STIR sekansında elde edilen radiomiks tekstür analizi parametrelerinin ROC analizi sonuçları

	%95 Güven Aralığı				%95 Güven Aralığı		
	AUC	Alt Sınır	Üst sınır		AUC	Alt Sınır	Üst sınır
STIR-SurfaceAreatoVolumeRatio	0,788	0,662	0,913	STIR-SphericalDisproportion	0,580	0,421	0,739
STIR-Sphericity	0,546	0,386	0,707	STIR-MajorAxisLength	0,717	0,573	0,861
STIR-Compactness1	0,580	0,421	0,739	STIR-Flatness	0,571	0,412	0,730
STIR-Elongation	0,582	0,421	0,742	STIR-Energy	0,778	0,648	0,909
STIR-Kurtosis	0,554	0,389	0,718	STIR-TotalEnergy	0,814	0,691	0,937
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifferenceMoment	0,506	0,345	0,667	STIR-90thPercentile	0,663	0,512	0,814
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseDifference	0,505	0,344	0,665	STIR-Maximum	0,669	0,516	0,822
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunEmphasis	0,578	0,412	0,745	STIR-Mean	0,588	0,429	0,746
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixRunVariance	0,503	0,340	0,666	STIR-Median	0,615	0,459	0,772
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunHighGrayLevelEmphasis	0,549	0,385	0,714	STIR-interquartileRange	0,689	0,539	0,840
STIR-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaEmphasis	0,572	0,407	0,738	STIR-Range	0,702	0,554	0,849
STIR-GrayLevelSizeZoneMatrixZoneVariance	0,560	0,398	0,722	STIR-MeanAbsoluteDeviation	0,689	0,538	0,840
STIR-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaHighGrayLevelEmphasis	0,585	0,422	0,747	STIR-RobustMeanAbsoluteDeviation	0,698	0,551	0,846
STIR-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixCoarseness	0,718	0,578	0,859	STIR-RootMeanSquared	0,640	0,487	0,793
STIR-GrayLevelDependenceMatrixDependenceVariance	0,515	0,353	0,677	STIR-StandardDeviation	0,688	0,537	0,838
STIR-GrayLevelDependenceMatrixLargeDependenceHighGrayLevelEmphasis	0,512	0,349	0,676	STIR-Skewness	0,526	0,363	0,689
STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumofSquares	0,569	0,405	0,734	STIR-Variance	0,688	0,537	0,838
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixGrayLevelVariance	0,555	0,391	0,720	STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixAutocorrelation	0,589	0,429	0,749
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixHighGrayLevelRunEmphasis	0,577	0,417	0,737	STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixJointAverage	0,545	0,381	0,708
STIR-GrayLevelRunLengthMatrixShortRunHighGrayLevelEmphasis	0,565	0,403	0,726	STIR-	0,655	0,504	0,807
STIR-GrayLevelSizeZoneMatrixHighGrayLevelZoneEmphasis	0,560	0,397	0,723	STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseVariance	0,577	0,415	0,739
STIR-GrayLevelDependenceMatrixGrayLevelVariance	0,554	0,390	0,718	STIR-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumAverage	0,585	0,424	0,745
STIR-GrayLevelDependenceMatrixHighGrayLevelEmphasis	0,577	0,417	0,737				
*ROC analizi							

Tablo 22. Meningioma ve schwannoma grubuna ait post-kontrast T1AG'den elde edilen radiomiks tekstür analizi parametrelerinin ROC analizi sonuçları

	%95 Güven Aralığı				%95 Güven Aralığı		
	AUC	Alt Sınır	Üst sınır		AUC	Alt Sınır	Üst sınır
PostkontrastT1AG-SphericalDisproportion	0,543	0,382	0,704	PostkontrastT1AG-SurfaceAreatoVolumeRatio	0,780	0,651	0,909
PostkontrastT1AG-MajorAxisLength	0,717	0,573	0,861	PostkontrastT1AG-Sphericity	0,543	0,382	0,704
PostkontrastT1AG-Flatness	0,575	0,417	0,734	PostkontrastT1AG-Compactness1	0,543	0,382	0,704
PostkontrastT1AG-90thPercentile	0,605	0,448	0,761	PostkontrastT1AG-Elongation	0,543	0,381	0,705
PostkontrastT1AG-Maximum	0,634	0,481	0,787	PostkontrastT1AG-10thPercentile	0,598	0,442	0,755
PostkontrastT1AG-Mean	0,514	0,353	0,674	PostkontrastT1AG-Skewness	0,515	0,352	0,679
PostkontrastT1AG-Median	0,522	0,360	0,683	PostkontrastT1AG-Kurtosis	0,632	0,479	0,786
PostkontrastT1AG-interquartileRange	0,765	0,632	0,898	PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixAutocorrelation	0,540	0,377	0,703
PostkontrastT1AG-Range	0,723	0,584	0,862	PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixJointAverage	0,554	0,393	0,714
PostkontrastT1AG-MeanAbsoluteDeviation	0,777	0,651	0,903	PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation2	0,582	0,423	0,740
PostkontrastT1AG-RobustMeanAbsoluteDeviation	0,749	0,613	0,886	PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixMaximumProbability	0,717	0,571	0,863
PostkontrastT1AG-RootMeanSquared	0,555	0,396	0,715	PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixSumAverage	0,554	0,393	0,714
PostkontrastT1AG-StandardDeviation	0,777	0,651	0,903	PostkontrastT1AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunEmphasis	0,628	0,465	0,790
PostkontrastT1AG-Variance	0,777	0,651	0,903	PostkontrastT1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunVariance	0,506	0,345	0,668
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterProminence	0,580	0,422	0,738	PostkontrastT1AG-GrayLevelRunLengthMatrixLongRunLowGrayLevelEmphasis	0,622	0,462	0,781
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixClusterTendency	0,586	0,428	0,745	PostkontrastT1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaEmphasis	0,586	0,416	0,756
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixCorrelation	0,575	0,416	0,735	PostkontrastT1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixZoneVariance	0,542	0,375	0,708
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixJointEntropy	0,771	0,641	0,900	PostkontrastT1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixLargeAreaLowGrayLevelEmphasis	0,632	0,467	0,798
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinformalMeasureofCorrelation1	0,642	0,490	0,793	PostkontrastT1AG-NeighboringGrayToneDifferenceMatrixCoarseness	0,603	0,446	0,760
PostkontrastT1AG-GrayLevelCooccurrenceMatrixinverseVariance	0,554	0,392	0,716	PostkontrastT1AG-GrayLevelDependenceMatrixHighGrayLevelEmphasis	0,540	0,378	0,702
PostkontrastT1AG-GrayLevelRunLengthMatrixRunEntropy	0,746	0,613	0,880	PostkontrastT1AG-GrayLevelDependenceMatrixLargeDependenceLowGrayLevelEmphasis	0,528	0,360	0,695
PostkontrastT1AG-GrayLevelSizeZoneMatrixZoneEntropy	0,768	0,637	0,899	PostkontrastT1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceEntropy	0,691	0,545	0,836
PostkontrastT1AG-GrayLevelDependenceMatrixDependenceVariance	0,535	0,375	0,696				

4.4. Model Oluşturma

Her iki grubun sınıflandırılmasında support vector machine (destek vektör makinesi) algoritmaları kullanılarak üç farklı model oluşturulmuştur. İlk modelde her iki grup arasından istatiksel olarak anlamlı farklılık oluşturan (yaş, tümör en uzun boyutu, dural kuyruk, tümör içi kistik değişiklik, "gingko leaf" işareti, spinal korda bası) parametreler dahil edilmiştir. Konvansiyonel MR bulgularından elde edilen veriler ile oluşturulmuş modelde; eğri altında kalan alan (AUC) 0.902 (%95 CI: 0.807-0.996), doğruluk 0.882 (%95 CI: 0.766-0.944), sensitivite 0.884 (%95 CI: 0.768-0.946), spesifite 0.880 (%95 CI: 0.763-0.943), pozitif kestirim oranı 0.884 (%95 CI: 0.768-0.946), negatif kestirim oranı 0.880'dir (%95 CI: 0.763-0.943).

İkinci modelde, radiomiks parametrelerinde Mann-Whitney U test sonuçlarında Benjamini-Hochberg düzeltmesi yapılarak elde edilen 49 özellik seçilerek modele dahil edildi. İnternal validasyon tekniği olarak tek-çıkışlı çapraz doğrulama (Leave-one-out cross validation; LOOCV) kullanıldı.

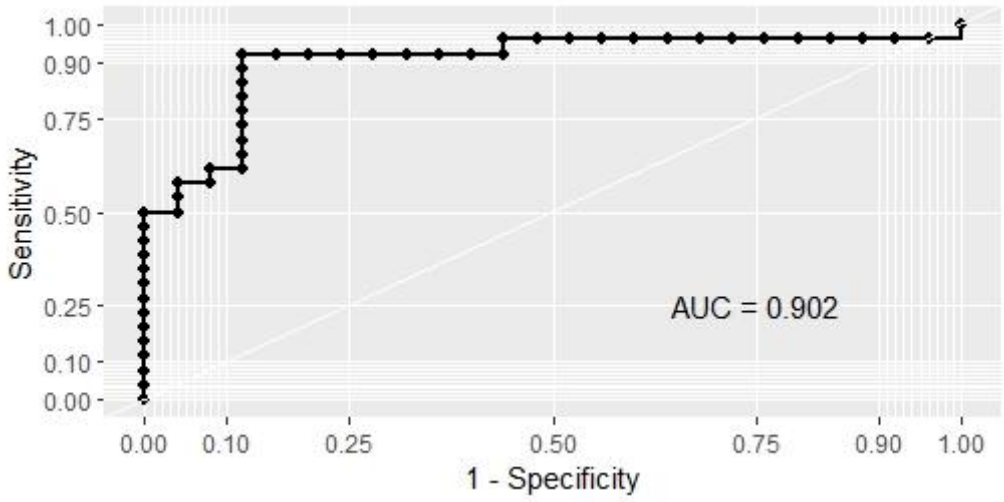
Radiomiks verilerinden elde edilen sonuçlar ile oluşturulmuş modelde; eğri altında kalan alan (AUC) 0.909 (%95 CI: 0.836-0.992), doğruluk 0.843 (%95 CI: 0.719-0.918), sensitivite 0.961(%95 CI: 0.868-0.989), spesifite 0.720 (%95 CI: 0.584-0.824), pozitif kestirim oranı 0.781(%95 CI: 0.650-0.872), negatif kestirim oranı 0.947'dir (%95 CI: 0.849-0.982).

Üçüncü modelde ise ilk iki modelde kullanılan konvansiyonel MR bulguları ve radiomiks parametreleri kullanılmıştır. Bu modelde; eğri altında kalan alan (AUC)

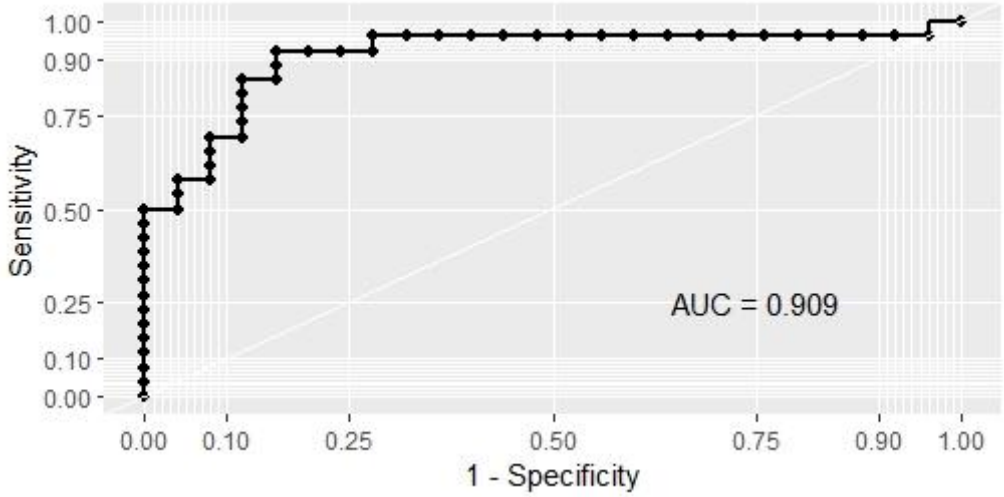
0.997 (%95 CI: 0.990-1.000), doğruluk 0.960 (%95 CI: 0.868-0.989), sensitivite 1.000 (%95 CI: 0.929-1.000), spesifite 0.920 (%95 CI: 0.812-0.968), pozitif kestirim oranı 0.928 (%95 CI: 0.824-0.973), negatif kestirim oranı 1.000'dir (%95 CI: 0.929-1.000). Tablo 23 ve Şekil 24-26'da modellerin performansları özetlenmiştir.

Tablo 23. Oluşturulan üç farklı modelin performansları

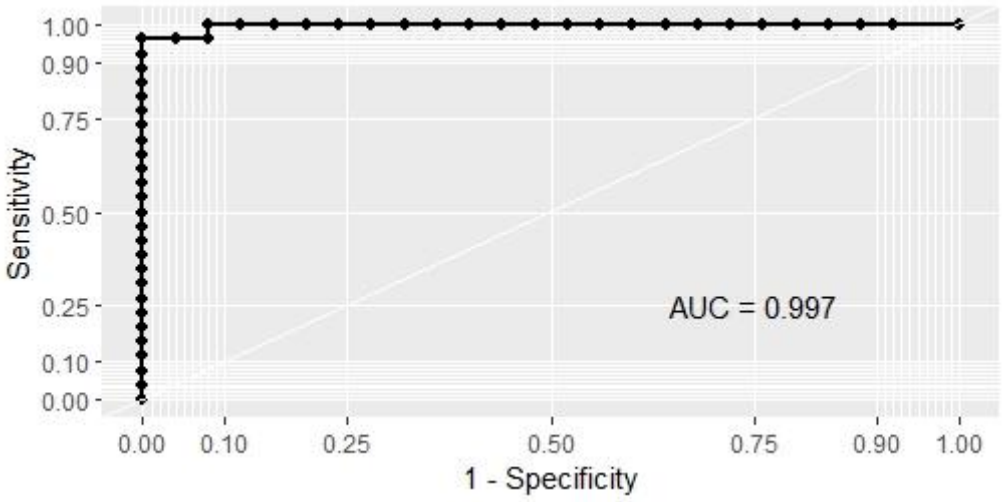
	Eğri Altında Kalan Alan (AUC)	Doğruluk oranı	Duyarlılık	Seçicilik	Pozitif Kestirim Değeri	Negatif Kestirim Değeri
Konvansiyonel MR Parametreleri (Model 1)	0.902 (CI: 0.807-0.996)	0.882 (CI: 0.766-0.944)	0.884 (CI: 0.768-0.946)	0.880 (CI: 0.763-0.943)	0.884 (CI: 0.768-0.946)	0.880 (CI: 0.763-0.943)
Radiomiks Tekstür Parametreleri (Model 2)	0.909 (CI: 0.836-0.992)	0.843 (CI: 0.719-0.918)	0.961 (CI: 0.868-0.989)	0.720 (CI: 0.584-0.824)	0.781 (CI: 0.650-0.872)	0.947 (CI: 0.849-0.982)
Konvansiyonel MR Parametreleri+ Radiomiks Tekstür Parametreleri (Model 3)	0.997 (CI: 0.990-1.000)	0.960 (CI: 0.868-0.989)	1.000 (CI: 0.929-1.000)	0.920 (CI: 0.812-0.968)	0.928 (CI: 0.824-0.973)	1.000 (CI: 0.929-1.000)



Şekil 24. Model 1'e ait ROC analizi eğrisi



Şekil 25. Model 2'ye ait ROC analizi eğrisi



Şekil 26. Model 3'e ait ROC analizi eğrisi

5. TARTIŞMA

Spinal kord tümörleri nadir gözlenen kitleler olup non-spesifik klinik semptomları olması nedeniyle genellikle tanı süreci gecikmektedir. Doğru tanı için MRG başvurulacak temel görüntüleme yöntemidir. Spinal kord tümörlerinin konvansiyonel inceleme ile ayrımını yapmak her zaman mümkün olmamaktadır. Tekstür analizi ile malign kitlelerin histopatolojik tiplerine göre ayrımını araştıran çalışmalar literatürde yer almaktadır (79, 80). Bilgimiz dahilinde bu yöntem ile spinal meningioma ve schwannoma ayrımını araştıran çalışma literatürde yer almamaktadır.

Literatürde konvansiyonel bulgular ile meningiom ve schwannoma ayrımını araştıran çalışmalar mevcuttur (10, 81). Zhai ve arkadaşları 2018 yılında 157 hasta (104 schwannoma, 53 meningiom) ile yaptıkları çalışmada; lezyon lokalizasyonu, boyutu, morfolojisi, dural teması, sinyal karakteristikleri ve kontrastlanma özelliklerini içeren konvansiyonel bulguları ayrımda kullanmışlardır. Meningiomlarda kadın cinsiyet daha fazla bulunmuştur. Meningiomlar en sık torasik bölgede (%86.8) anterolateral yerleşimli (%28.3) olarak, schwannomalar ise torasik (%29.8) ve lomber (%26.9) bölgede en sık posterolateral yerleşimli (%40.3) olarak saptanmıştır. Meningiomlarda lezyon boyutu ortalaması 1.47 ± 0.36 cm, schwannoma için 2.02 ± 1.13 cm olarak bulunmuştur. Ayrıca 1.88 cm ve üstünün schwannoma açısından referans değeri olabileceği ifade edilmiştir. Foraminal uzanım schwannoma için, dural kuyruk işareti varlığı ise meningiom için anlamlı farklılık oluşturmuştur. T2AG'de tümör içi kistik değişiklik schwannomalarda, izointensite ise meningiomlarda sık gözlenmiştir.

Zhai ve arkadaşları; yaş, tümör kraniokaudal boyutu, dural kuyruk işareti, T2AG sinyal özelliği ve spinal kanaldaki lokalizasyonlarını dahil ederek oluşturdukları logistik regresyon modelinin bu iki grubu ayırma doğruluğunu %87.1'i olarak belirtmişlerdir (10).

Bizim çalışmamızda da, Zhai ve arkadaşları ile uyumlu olarak, dural kuyruk işareti, tümör en uzun boyutu, tümör içi kistik değişiklik, nöral foramene uzanım iki grup ayırmada anlamlı idi ($p<0.001$, 0.030, 0.003, 0.002). Bizim çalışmamızda da schwannomaların boyutu meningiomlara göre daha büyüktü. Zhai ve arkadaşlarının aksine çalışmamızda her iki tümör için en sık yerleşim yerini posterolateral olarak bulduk. Ayrıca Zhai ve arkadaşlarından farklı olarak lezyonların spinal korda basısını değerlendirdik ve meningiom grubunda istatiksel olarak anlamlı yüksek idi ($p<0.001$).

Lee ve arkadaşlarının 2020 yılında 140'i schwannoma 59'u meningiom olmak üzere 199 hastada MR görüntülerinden her iki grubun ayrımına yönelik çalışmalarında; schwannomalar için kistik değişiklik varlığı, nöral foraminal uzanım ve lomber bölgede

yerleşimi istatiksel olarak anlamlı yüksek bulmuşlardır. Aynı çalışmada meningiomlar için dural kuyruk işareti, torasik lokalizasyon, ileri yaş, kadın cinsiyet ve küçük lezyon boyutu anlamlı farklılık oluşturan parametreler olarak bildirilmiştir (81). Biz de çalışmamızda Lee ve arkadaşları ile uyumlu olarak; tümör içi kistik değişiklik, nöral foraminal uzanımı schwannoma için; dural kuyruk işareti, torasik lokalizasyon, kadın cinsiyet ve küçük lezyon boyutunu meningiom grubu içi anlamlı olarak bulduk. Lee ve arkadaşları çalışmasında schwannoma grubunda en sık yerleşim yeri lomber bölge iken, biz çalışmamızda lomber ve servikal yerleşimi eşit oranda bulduk.

Literatürde meningiom ve schwannoma ayrımında kitlenin kontrastlanma paterni ve miktarını kullanan çalışmalar yer almaktadır (7, 10, 82). Bu çalışmalarda, bu iki lezyonun kontrastlanma miktarının ayrımda fayda sağlamadığını belirtmişlerdir (10, 82). Zhai ve arkadaşları 2019 yılında yaptığı çalışmada kontrastlanma paterninin ayrımda yararlı olduğunu bulmuşlardır. Schwannomalarda daha çok rim tarzında, meningiomlarda ise diffüz kontrastlanma saptanmıştır (10). Bu iki tümörün kontrastlanma farklılığı her iki tümörün gap junction diziliminin farklı olması ile açıklanmıştır. Biz çalışmamızda Zhai ve arkadaşlarından farlı olarak schwannomalarda en sık diffüz kontrastlanma saptadık. Bu farklılığı dinamik MRG çalışmalarının aydınlatacağı görüşündeyiz.

Yamaguchi ve arkadaşlarının 2015 yılında 12 spinal meningiom ve 18 schwannomayı içeren toplam 30 hastada yaptığı çalışmada 7 spinal meningiom hastasında "gingko leaf" işareti saptanmıştır. Bu bulgunun sensitivitesinin %58, spesifitesinin %100, pozitif prediktif değerinin %100 ve negatif prediktif değerinin %78 olduğu belirtilmiş ve schwannoma grubunda bu bulguya rastlanmamıştır (47). Zhai ve arkadaşları yaptığı çalışmada 53 spinal meningiom hastasının yalnızca 2'sinde (%3.8) "gingko leaf" işareti izlendiği belirtilmiştir (10). Bizim çalışmamızda toplam 25 spinal meningiom hastasının 6'sında (%24.0) "gingko leaf" işareti saptanmışken, schwannoma grubunda bu bulgu izlenmemiştir. Geniş serili radyolojik-patolojik korelasyonlu çalışmaların bu bulgunun spesifitesini belirleme amacı için gerekli olduğu görüşündeyiz.

Literatürde spinal tümörler üzerine radiomiks temelli çalışmalar az sayıdadır. Bu çalışmaların bir kısmı ise spinal kemik tümörleri üzerinedir (83, 84).

Maki ve arkadaşları 2020 yılında 50 schwannoma ve 34 meningiomdan oluşan hasta grubunda yaptıkları çalışmada, her iki grubun ayrımında konvolüsyonel sinir ağı (CNN) ile tecrübeli radyologların tanı oranlarını karşılaştırmıştır. Sekans olarak sagittal post-kontrast T1AG ve sagittal T2AG kullanılan bu çalışmada, CNN temelli makine öğrenmesinin her iki grubu ayırmadaki ROC eğrilerinde post-kontrast T1AG için AUC 0.876 (%95 CI: 0.808-0.923),

T2AG 0.870 (%95 CI: 0.777-0.927) olarak hesaplanmıştır. Her iki radyologun da sensitivitesi post-kontrast T1AG ve T2AG, CNN'e göre yüksek olarak bulunmuştur. T2AG görüntülerde CNN spesifitesi oldukça yüksek iken, post-kontrast T1AG'de anlamlı farklılık bulunmamıştır. Doğruluk oranı açısından post-kontrast T1AG'de farklılık saptanmazken, CNN bazlı tahminler T2AG görüntülerde radyologlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir (85).

Cao ve arkadaşlarının 2022 yılında spinal kord yerleşimli benign ve malign schwannomaların ayrımında, CNN temelli yeni bir derin öğrenme modeli (GAIN-CP) kullanılmıştır. Bu çalışmada, bu iki grubu ayırmada GAIN modeli için; AUC 0.83, radiomiks modeli için AUC 0.65, radyologların konvansiyonel MR verileri üzerinden yaptıkları ayrımda da AUC 0.67 olarak bulunmuştur. GAIN-CP modeli radyolojik görüntüler ve klinik verilerden kombine hale getirildiğinde en iyi performansı göstermekte olup AUC 0.95'tir (86).

Ito ve arkadaşlarının 2021 yılında 50 spinal schwannoma hastasını içeren, MR görüntülerinden tümörlerin derin öğrenme bazlı otomatik tespiti üzerine yapılan çalışmada; bu tespit sisteminin doğruluk oranının T1AG kullanıldığında %80.3, T2AG kullanıldığında %91.0 T1AG ve T2AG kombine olarak kullanıldığında ise %93.5 bulunmuştur.

Lemay ve arkadaşları 2021 yılında MR görüntülerinden derin öğrenme ile intramedüller tümörlerin otomatik tespiti üzerine yaptıkları 343 spinal kord tümörünü içeren çalışmada; spinal kordda tümör, ödem ve kavitenin %87 gerçek pozitiflik oranı ile tespit edilebildiğini belirtmişlerdir (87).

Biz çalışmamızda, spinal meningiom ve schwannoma ayrımında radiomiks tekstür analizini araştırdık. Her iki grup arasında istatiksel anlamlı farklılık gösteren 56 radiomiks parametresinde en fazla katkı sağlayan sekans T2AG'dir. T1AG elde edilen verilerde ikinci derece parametrelerden gelen verilerin ağırlıklı olduğu gözlendi. Total Energy ve Energy parametreleri ise hem T2AG hem de STIR sekansı için en çok farklılık oluşturan radiomiks parametrelerindendir. Post-kontrast T1AG'de ise Variance, Standart Deviation ve Mean Absolute Deviation parametreleri meningiom ve schwannoma ayrımında en önemli parametreler olup, aynı düzeyde farklılık gösterdi [AUC 0.777 (%95 CI: 0.65-0.903)]. T1AG elde edilen Gray Level Size Zone Matrix Gray Lvel Non Uniformity parametresi bütün parametreler içinde her iki grubu en iyi ayıran radiomiks parametresiydi [AUC 0,821 (%95 CI: 0.702-0.940)].

Bizim çalışmamızda destek vektör makinesi yardımı ile her iki grubun ayrımında yüksek performans gösteren üç farklı model oluşturulmuştur. Bu modellerden en iyi performans gösteren model; hem konvansiyonel MR verileri, hem de radiomiks tekstür parametrelerinden oluşan kombine modeldir. Bu model ile eğri altında kalan alanı (AUC) 0.977'dir. Radiomiks

parametrelerinden oluşturulan modelin eğri altında kalan alanı ise konvansiyonel MR parametrelerinden oluşan modele göre nispeten daha yüksektir (radiomiks modeli AUC: 0.909, konvansiyonel MR verileri AUC: 0.902). Kombine modelin her iki grubu ayırt etmede sensitivite ve negatif kestirim değeri 1.000'dir. Spesifitesi 0.920, pozitif kestirim oranı ise 0.928'dir. Bütün parametrelerde kombine model en iyi sonucu vermektedir. Radiomiks modelinin sensitivitesi (0.961) ve negatif kestirim oranı (0.947), konvansiyonel MR verilerinden oluşturan modelin sensitivite (0.884) ve negatif kestirim oranına (0.880) göre daha yüksektir. Konvansiyonel MR verilerinden oluşturan model ise doğruluk, spesifite ve pozitif kestirim değeri olarak radiomiks modelinden daha iyi sonuçlar vermiştir (konvansiyonel MR verilerinden oluşturulan model sırası ile 0.882, 0.880, 0.884; radiomiks modeli sırası ile 0.843, 0.720, 0.781). Bu iki model arasındaki en belirgin fark ise spesifite ve pozitif kestirim oranında bulunmuştur.

Bu çalışma ile radiomiks tekstür analizi temelli modellemenin, en az konvansiyonel MR verileri ile yapılan modelleme kadar başarılı olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca bu çalışma, spinal meningiomları ve schwannomaları ayırt etmeyi sağlayan radiomiks parametrelerini ortaya koyan literatürdeki ilk çalışmadır. Rutin radyoloji pratiğinde kullanılan konvansiyonel MR verilerine, radiomiks parametrelerinin de eklenmesi her iki grubun ayrımına önemli katkı sağlamaktadır. Cerrahi tedavi yaklaşımı ve tümör karakteristikleri birbirinden farklı olan bu iki lezyonun ayırt edilmesi önem arz etmektedir. Kombine model ise bu ayrımı yapan en başarılı modeldir.

Bu çalışmanın bazı kısıtlılıkları mevcuttur. Çalışmamız retrospektif tek merkezli bir çalışmadır. Hasta sayımız azdır. Tümör segmentasyonu manuel olarak yapılmıştır. Bu yöntem ölçümlerin subjektif olmasına sebep olmaktadır. Çalışmamızda her iki gözlemci tarafından farklı zamanlarda tümör segmentasyonu yapılmış ve gözlemciler arası uyumun yüksek olduğu (ICC≥0.75) parametreler radiomiks parametreleri arasına dahil edilerek subjektif değerlendirmenin kısıtlılığı azaltılmaya çalışılmıştır. Her iki grubun ayrımında destek vektör makinesi ile oluşturduğumuz algoritmalarda, bağımsız eksternal bir veri seti ile test edilmemiş olması ise bir başka kısıtlılıktır.

6. SONUÇ

Sonuç olarak, spinal meningiomların ve schwannomaların ayrımında en etkin radiomiks tekstür analizi parametresi T1AG'den elde edilen Gray Level Size Zone Matrix Gray Level Non Uniformity'dir. Radiomiks parametreleri ve konvansiyonel MR verilerinden elde edilen semantik neticelerin birleşiminden oluşan kombine model, bu iki tümörü ayırmada en başarılı modeldir. Spinal kord tümörlerinin ayrımında ve histolojik tiplendirilmesinde radiomiks temelli tekstür analizinin kullanılacağı çalışmalara ihtiyaç vardır.

7. KAYNAKLAR

1. Elia-Pasquet S, Provost D, Jaffré A, Loiseau H, Vital A, Kantor G, et al. Incidence of central nervous system tumors in Gironde, France. Neuroepidemiology. 2004;23(3):110-7.
2. Kurland LT. The frequency of intracranial and intraspinal neoplasms in the resident population of Rochester, Minnesota. J Neurosurg. 1958;15(6):627-41.
3. Liigant A, Asser T, Kulla A, Kaasik A-E. Epidemiology of primary central nervous system tumors in Estonia. Neuroepidemiology. 2000;19(6):300-11.
4. Arnautović KI, Gokaslan ZL. Spinal cord tumors: Springer; 2019.
5. Balériaux D. Spinal cord tumors. Eur Radiol. 1999;9(7):1252-8.
6. Arnautovic K, Arnautovic A. Extramedullary intradural spinal tumors: a review of modern diagnostic and treatment options and a report of a series. Bosnian journal of basic medical sciences. 2009;9(Suppl 1):S40.
7. Hung ND, Huyen DK, Duy NQ, He D-V, Duc NM. The value of quantitative magnetic resonance imaging signal intensity in distinguishing between spinal meningiomas and schwannomas. Int J Med Sci. 2022;19(7):1110.
8. Liu WC, Choi G, Lee S-H, Han H, Lee JY, Jeon YH, et al. Radiological findings of spinal schwannomas and meningiomas: focus on discrimination of two disease entities. Eur Radiol. 2009;19(11):2707-15.
9. Takashima H, Takebayashi T, Yoshimoto M, Onodera M, Terashima Y, Iesato N, et al. Differentiating spinal intradural-extramedullary schwannoma from meningioma using MRI T 2 weighted images. The British Journal of Radiology. 2018;91(1092):20180262.
10. Zhai X, Zhou M, Chen H, Tang Q, Cui Z, Yao Y, et al. Differentiation between intraspinal schwannoma and meningioma by MR characteristics and clinic features. Radiol Med. 2019;124(6):510-21.
11. Koçak B, Durmaz EŞ, Ateş E, Kılıçkesmez Ö. Radiomics with artificial intelligence: a practical guide for beginners. Diagn Interv Radiol. 2019;25(6):485.
12. Mei D, Luo Y, Wang Y, Gong J. CT texture analysis of lung adenocarcinoma: can Radiomic features be surrogate biomarkers for EGFR mutation statuses. Cancer Imaging. 2018;18(1):1-9.
13. Karmazanovsky G, Gruzdev I, Tikhonova V, Kondratyev E, Revishvili A. Computed tomography-based radiomics approach in pancreatic tumors characterization. Radiol Med. 2021;126(11):1388-95.
14. Hughes JT. The Edwin Smith Surgical Papyrus: an analysis of the first case reports of spinal cord injuries. Spinal Cord. 1988;26(2):71-82.
15. Tomey MI, Komotar RJ, Mocco J. Herophilus, Erasistratus, Aretaeus, and Galen: ancient roots of the Bell–Magendie law. Neurosurg Focus. 2007;23(1):1-3.
16. Naderi S, Türe U, Pait TG. History of spinal cord localization. Neurosurg Focus. 2004;16(1):1-6.
17. Büyükkınacı S, Ofluoğlu E, Toplamaoğlu H. Spinal Kord Tarihi. Sinir Sistemi Cerrahisi Dergisi. 2008;1(1):67-72.
18. Tortori-Donati P, Rossi A, Cama A. Spinal dysraphism: a review of neuroradiological features with embryological correlations and proposal for a new classification. Neuroradiology. 2000;42(7):471-91.
19. Sadler T, editor Embryology of neural tube development. American Journal of Medical Genetics Part C: Seminars in Medical Genetics; 2005: Wiley Online Library.
20. Melvin EC, George TM, Worley G, Franklin A, Mackey J, Viles K, et al. Genetic studies in neural tube defects. Pediatr Neurosurg. 2000;32(1):1-9.
21. Acharya UV, Pendharkar H, Varma DR, Pruthi N, Varadarajan S. Spinal dysraphism illustrated; Embroyology revisited. Indian Journal of Radiology and Imaging. 2017;27(04):417-26.
22. Cramer GD, Darby SA. Clinical anatomy of the spine, spinal cord, and ANS. 2017.
23. Moore KL, Dalley AF, Agur AM. Clinically oriented anatomy: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.

24. Khalid S, Tubbs RS. Neuroanatomy and neuropsychology of pain. Cureus. 2017;9(10).
25. Kim DH, Vaccaro AR, Dickman CA, Cho D, Lee S, Kim I. Surgical anatomy and techniques to the spine: Elsevier Health Sciences; 2013.
26. Sakka L, Gabrillargues J, Coll G. Anatomy of the spinal meninges. Operative Neurosurgery. 2016;12(2):168-88.
27. Sakka L, Chazal J. The meninges, an anatomical point of view. Morphologie: Bulletin de L'association des Anatomistes. 2005;89(284):35-42.
28. Patel N, Kirmi O, editors. Anatomy and imaging of the normal meninges. Seminars in Ultrasound, CT and MRI; 2009: Elsevier.
29. Santillan A, Nacarino V, Greenberg E, Riina HA, Gobin YP, Patsalides A. Vascular anatomy of the spinal cord. J Neurointerv Surg. 2012;4(1):67-74.
30. BAYDIN ŞS. Spinal Kord ve Vertebral Kolonun Vasküler Anatomisi. Türk Nöroşir Derg 31(2):189-191, 2021.
31. Levy WJ, Bay J, Dohn D. Spinal cord meningioma. J Neurosurg. 1982;57(6):804-12.
32. Westwick HJ, Shamji MF. Effects of sex on the incidence and prognosis of spinal meningiomas: a Surveillance, Epidemiology, and End Results study. J Neurosurg Spine. 2015;23(3):368-73.
33. Kshettry VR, Hsieh JK, Ostrom QT, Kruchko C, Benzel EC, Barnholtz-Sloan JS. Descriptive epidemiology of spinal meningiomas in the United States. Spine (Phila Pa 1976). 2015;40(15):E886-E9.
34. Maiuri F, Mariniello G, Guadagno E, Barbato M, Corvino S, Del Basso De Caro M. WHO grade, proliferation index, and progesterone receptor expression are different according to the location of meningioma. Acta Neurochir (Wien). 2019;161(12):2553-61.
35. Baldi I, Engelhardt J, Bonnet C, Bauchet L, Berteaud E, Grüber A, et al. Epidemiology of meningiomas. Neurochirurgie. 2018;64(1):5-14.
36. Lang FF, Macdonald OK, Fuller GN, DeMonte F. Primary extradural meningiomas: a report on nine cases and review of the CT-era literature. J Neurosurg. 2000;93(6):940-50.
37. Salvati M, Artico M, Lunardi P, Gagliardi FM. Intramedullary meningioma: case report and review of the literature. Surg Neurol. 1992;37(1):42-5.
38. Domingues PH, Sousa P, Otero A, Gonçalves JM, Ruiz L, de Oliveira C, et al. Proposal for a new risk stratification classification for meningioma based on patient age, WHO tumor grade, size, localization, and karyotype. Neuro Oncol. 2014;16(5):735-47.
39. Gottfried ON, Gluf W, Quinones-Hinojosa A, Kan P, Schmidt MH. Spinal meningiomas: surgical management and outcome. Neurosurg Focus. 2003;14(6):1-7.
40. Bacci C, Sestini R, Provenzano A, Paganini I, Mancini I, Porfirio B, et al. Schwannomatosis associated with multiple meningiomas due to a familial SMARCB1 mutation. Neurogenetics. 2010;11(1):73-80.
41. Moussalem C, Massaad E, Minassian GB, Ftouni L, Bsat S, El Houshiemy MN, et al. Meningioma genomics: A therapeutic challenge for clinicians. J Integr Neurosci. 2021;20(2):463-9.
42. King A, Sharr M, Gullan R, Bartlett J. Spinal meningiomas: a 20-year review. Br J Neurosurg. 1998;12(6):521-6.
43. Stechison MT, Tasker RR, Wortzman G. Spinal meningioma en plaque: Report of two cases. J Neurosurg. 1987;67(3):452-5.
44. dos Santos MP, Zhang J, Ghinda D, Glikstein R, Agid R, Rodesch G, et al. Imaging diagnosis and the role of endovascular embolization treatment for vascular intraspinal tumors. Neurosurg Focus. 2015;39(2):E16.
45. Lee JW, Lee IS, Choi K-U, Lee YH, Yi JH, Song JW, et al. CT and MRI findings of calcified spinal meningiomas: correlation with pathological findings. Skeletal Radiol. 2010;39(4):345-52.
46. Anno M, Hara N, Yamazaki T. Arachnoid isolation sign: A predictive imaging feature of spinal meningioma on CT-myelogram. Clin Neurol Neurosurg. 2018;168:124-6.
47. Yamaguchi S, Takeda M, Takahashi T, Yamahata H, Mitsuhara T, Niiro T, et al. Ginkgo leaf sign: a highly predictive imaging feature of spinal meningioma. J Neurosurg Spine. 2015;23(5):642-6.

48. Bayoumi AB, Laviv Y, Yokus B, Efe IE, Toktas ZO, Kilic T, et al. Proposal of a new radiological classification system for spinal meningiomas as a descriptive tool and surgical guide. Clin Neurol Neurosurg. 2017;162:118-26.
49. Cao Y, Liu X-R, Song H-M, Chong S-T, Cui Y-H, Huang Q, et al. Application of diffusion tensor imaging and neurophysiological monitoring in the quantitative and predictive evaluation of spinal cord function. 2022.
50. Riad H, Knafo S, Segnarbieux F, Lonjon N. Spinal meningiomas: surgical outcome and literature review. Neurochirurgie. 2013;59(1):30-4.
51. Setzer M, Vatter H, Marquardt G, Seifert V, Vrionis FD. Management of spinal meningiomas: surgical results and a review of the literature. Neurosurg Focus. 2007;23(4):E14.
52. Kalash R, Heron D, Glaser S, Flickinger J, Burton SA. SBRT for Benign Primary Spine Tumors: Is Dose De-Escalation Appropriate? Cureus Journal of Medical Science. 2017;9(11).
53. Canda M. Peripheral nerve sheath tumors. Türkiye Ekopatoloji Dergisi. 2004;10(1-2):65-74.
54. Conti P, Pansini G, Mouchaty H, Capuano C, Conti R. Spinal neurinomas: retrospective analysis and long-term outcome of 179 consecutively operated cases and review of the literature. Surg Neurol. 2004;61(1):34-43.
55. Seppälä MT, Haltia MJ, Sankila RJ, Jääskeläinen JE, Heiskanen O. Long-term outcome after removal of spinal schwannoma: a clinicopathological study of 187 cases. J Neurosurg. 1995;83(4):621-6.
56. Kono K, Inoue Y, Nakamura H, Shakudo M, Nakayama K. MR imaging of a case of a dumbbell-shaped spinal schwannoma with intramedullary and intradural-extramedullary components. Neuroradiology. 2001;43(10):864-7.
57. Blakeley JO, Plotkin SR. Therapeutic advances for the tumors associated with neurofibromatosis type 1, type 2, and schwannomatosis. Neuro Oncol. 2016;18(5):624-38.
58. Hilton DA, Hanemann CO. Schwannomas and their pathogenesis. Brain Pathol. 2014;24(3):205-20.
59. Rodrigues JC, Mortimer AM, Love S, Renowden SA. A rare cause of neural foraminal widening. Journal of Radiology Case Reports. 2012;6(12):1.
60. Schwartzman RJ. Differential Diagnosis in Neurology: Revised Second Edition: IOS Press; 2019.
61. Tomimatsu T, Yanamura I, Kawaguchi N, Fujii K, Isobe Y. A mobile tumor of the cervical spinal cord. A case report. Kantoh Seisaisi. 1974;5(5):213-8.
62. Parmar HA, Ibrahim M, Castillo M, Mukherji SK. Pictorial essay: diverse imaging features of spinal schwannomas. J Comput Assist Tomogr. 2007;31(3):329-34.
63. Koeller KK, Shih RY. Intradural extramedullary spinal neoplasms: radiologic-pathologic correlation. Radiographics. 2019;39(2):468-90.
64. Lee DY, Chung HJ. Mobile schwannoma of the cauda equina diagnosed by magnetic resonance imaging and magnetic resonance myelography: A case report and review of the literatures. The Nerve. 2017;3(2):71-4.
65. Sun I, Pamir MN. Non-syndromic spinal schwannomas: a novel classification. Front Neurol. 2017;8:318.
66. Asazuma T, Toyama Y, Maruiwa H, Fujimura Y, Hirabayashi K. Surgical strategy for cervical dumbbell tumors based on a three-dimensional classification. Spine (Phila Pa 1976). 2004;29(1):E10-E4.
67. Sowash M, Barzilai O, Kahn S, McLaughlin L, Boland P, Bilsky MH, et al. Clinical outcomes following resection of giant spinal schwannomas: a case series of 32 patients. J Neurosurg Spine. 2017;26(4):494-500.
68. Lee SE, Jahng T-A, Kim HJ. Different surgical approaches for spinal schwannoma: a single surgeon's experience with 49 consecutive cases. World Neurosurg. 2015;84(6):1894-902.
69. Klekamp J, Samii M. Surgery of spinal tumors: Springer Science & Business Media; 2007.
70. Jeon J-H, Hwang H-S, Jeong J-H, Park S-H, Moon J-G, Kim C-H. Spinal schwannoma; analysis of 40 cases. J Korean Neurosurg Soc. 2008;43(3):135-8.

71. Kufeld M, Wowra B, Muacevic A, Zausinger S, Tonn J-C. Radiosurgery of spinal meningiomas and schwannomas. Technol Cancer Res Treat. 2012;11(1):27-34.
72. Gerszten PC, Mendel E, Yamada Y. Radiotherapy and radiosurgery for metastatic spine disease: what are the options, indications, and outcomes? Spine (Phila Pa 1976). 2009;34(22S):S78-S92.
73. Nicholas J. Tustison,"N4ITK: improved N3 bias correction,". IEEE TMI. 2010;29(6):1310-20.
74. Anthony PJ, Kenyon RV, Troxel DE. Comparison of interpolating methods for image resampling. IEEE Trans Med Imaging. 1983;2(1):31-9.
75. Zwanenburg A, Vallières M, Abdalah MA, Aerts HJ, Andrearczyk V, Apte A, et al. The image biomarker standardization initiative: standardized quantitative radiomics for high-throughput image-based phenotyping. Radiology. 2020;295(2):328-38.
76. Kang M, Jameson NJ. Machine learning: fundamentals. Prognostics and Health Management of Electronics: Fundamentals, Machine Learning, and the Internet of Things. 2018:85-109.
77. Saravanan R, Sujatha P, editors. A state of art techniques on machine learning algorithms: a perspective of supervised learning approaches in data classification. 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS); 2018: IEEE.
78. Celebi ME, Aydin K. Unsupervised learning algorithms: Springer; 2016.
79. Junior JRF, Koenigkam-Santos M, Cipriano FEG, Fabro AT, de Azevedo-Marques PM. Radiomics-based features for pattern recognition of lung cancer histopathology and metastases. Comput Methods Programs Biomed. 2018;159:23-30.
80. Uhlig J, Leha A, Delonge LM, Haack A-M, Shuch B, Kim HS, et al. Radiomic features and machine learning for the discrimination of renal tumor histological subtypes: a pragmatic study using clinical-routine computed tomography. Cancers (Basel). 2020;12(10):3010.
81. Lee JH, Kim HS, Yoon YC, Cha MJ, Lee S-H, Kim E-S. Differentiating between spinal schwannomas and meningiomas using MRI: A focus on cystic change. PLoS One. 2020;15(5):e0233623.
82. Schroth G, Thron A, Guhl L, Voigt K, Niendorf H-P, Garces LR-N. Magnetic resonance imaging of spinal meningiomas and neurinomas: improvement of imaging by paramagnetic contrast enhancement. J Neurosurg. 1987;66(5):695-700.
83. Chianca V, Cuocolo R, Gitto S, Albano D, Merli I, Badalyan J, et al. Radiomic machine learning classifiers in spine bone tumors: a multi-software, multi-scanner study. Eur J Radiol. 2021;137:109586.
84. Wang Q, Zhang Y, Zhang E, Xing X, Chen Y, Yuan H, et al. Prediction of the early recurrence in spinal giant cell tumor of bone using radiomics of preoperative CT: Long-term outcome of 62 consecutive patients. Journal of bone oncology. 2021;27:100354.
85. Maki S, Furuya T, Horikoshi T, Yokota H, Mori Y, Ota J, et al. A deep convolutional neural network with performance comparable to radiologists for differentiating between spinal schwannoma and meningioma. Spine (Phila Pa 1976). 2020;45(10):694-700.
86. Cao J, Wang X, Qiao Y, Chen S, Wang P, Sun H, et al. Differentiation of benign and malignant spinal schwannoma using guided attention inference networks on multi-source MRI: comparison with radiomics method and radiologist-based clinical assessment. Acta Radiol. 2022:02841851221119375.
87. Lemay A, Gros C, Zhuo Z, Zhang J, Duan Y, Cohen-Adad J, et al. Automatic multiclass intramedullary spinal cord tumor segmentation on MRI with deep learning. NeuroImage: Clinical. 2021;31:102766.

ÖZGEÇMİŞ

I-Bireysel Bilgiler

Adı-Soyadı: Yasin Celal Güneş

Doğum yeri ve tarihi:

Uyruğu: TC

Medeni durumu: Evli

İletişim adresi:

Yabancı dili: İngilizce

II-Eğitimi (tarih sırasına göre yeniden eskiye doğru)

Tıpta Uzmanlık: Sağlık Bilimleri Üniversitesi Ankara Atatürk Sanatoryum Sağlık ve Uygulama Merkezi, Radyoloji 2022-2023

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Ankara Şehir Sağlık ve Uygulama Merkezi, Radyoloji 2020-2022

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Keçiören Sağlık ve Uygulama Merkezi, Radyoloji 2018-2020
Üniversite: Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi 2013-2017
Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi 2011-2013

III-Unvanları (tarih sırasına göre yeniden eskiye doğru)

Asistan Hekim, 2018-2023
Pratisyen Hekim, 2017-2018

EKLER

EK 1. ETİK KURUL ONAY FORMU

T.C.
SAĞLIK BAKANLIĞI
İL SAĞLIK MÜDÜRLÜĞÜ
Ankara Şehir Hastanesi
2 Nolu Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı

Sayı : E.Kurul –**E2-22-2323** No'lu çalışma

Ankara Şehir Hastanesi Radyoloji Kliniği'nde planlanan; Doç. Dr. Semra DURAN'ın sorumlu araştırıcısı olduğu "Manyetik Rezonans İncelemede Spinal Meningiom-Schwannoma Ayrımında Radiomiks Tekstür Analizinin Kullanımı" konulu çalışma incelenmiş olup, Etik açıdan oy birliği ile uygun görülmüştür.

07/09/2022

Prof. Dr. Fuat Emre Canpolat
2 Nolu Etik Kurul Başkanı