

Akut Orta Serebral Arter Enfarktında Arteriyel Spin Etiketleme MR Görüntüleme Yöntemiyle Hemorajik Transformasyon ve Fonksiyonel Sonuçların Öngörülmesi

Prediction of Hemorrhagic Transformation and Functional Outcomes Using Arterial Spin Labeling MRI in Acute Middle Cerebral Artery Infarction

Mehmet İlker YÖN¹, Serdar BARAKLI¹, Pınar ÇELTİKÇİ², Karabekir ERCAN²

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Nöroloji Kliniği, Ankara, Türkiye

²Ankara Bilkent Şehir Hastanesi Radyoloji Kliniği, Ankara, Türkiye

ÖZ

Giriş ve Amaç: Arteriyel spin etiketleme (ASL) MR, intravenöz kontrast madde kullanmadan serebral kan akımını kantitatif olarak ölçebilen non-invaziv bir perfüzyon görüntüleme yöntemidir ve beyin enfarktında hemorajik transformasyon (HT) riski yüksek hastaların belirlenmesinde potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, akut orta serebral arter (MCA) enfarktında ASL MR perfüzyon parametrelerinin HT ve fonksiyonel sonuçları öngörmedeki rolü araştırılmıştır.

Yöntem: Çalışmaya, MCA enfarkt başlangıcından itibaren 24 saat içinde yatırılan 23 hasta retrospektif olarak dahil edildi. Akut dönemde kontrastsız kraniyal BT, difüzyon ağırlıklı MRG (DWI) ve çok fazlı BT anjiyografi çekimleri yapıldı. Semptom başlangıcından yaklaşık bir hafta sonra, kontrol görüntüleme DWI ve ASL MRG tekrarlandı. İnfarkt hacimleri manuel olarak ölçüldü. Menon kollateral skoru ile ASL'den elde edilen hiperperfüze alanın CBF'si ve relatif CBF (rCBF) değerlendirildi. Fonksiyonel sonuçlar; 1. hafta, 1. ay ve 3. ay sonunda

modifiye Rankin Skalası (mRS) ile, 3. ay sonunda Barthel İndeksi ile değerlendirildi.

Bulgular: Hastaların 15'inde (%65,2) HT gelişti. HT grubu, anlamlı ölçüde daha büyük infarkt hacimleri ($p = 0.021$), düşük Menon kollateral skorları ($p = 0.006$), yüksek rCBF değerleri ($p = 0.014$) ve 3. ay sonunda daha kötü fonksiyonel sonuçlar (yüksek mRS skorları, $p = 0.044$; düşük Barthel İndeksi skorları, $p = 0.036$) sergiledi.

Sonuç: ASL MRG parametreleri—özellikle hiperperfüze alan CBF'si ve relatif CBF—ile kollateral dolaşım ve infarkt hacmi ölçümleri, akut MCA enfarktında HT riskini ve uzun dönem fonksiyonel sonuçları öngörmeye etkilidir. Bu bulgular, klinik karar süreçlerini optimize etmeye ve hasta yönetimini iyileştirmeye katkı sağlayabilir.

Anahtar Sözcükler: Arteriyel spin etiketleme; hemorajik transformasyon; kötü prognoz; orta serebral arter enfarkt

ABSTRACT

Introduction: Arterial spin labeling (ASL) MRI, a non-invasive perfusion imaging method, may potentially identify patients at high risk for hemorrhagic transformation (HT) by quantifying cerebral blood flow (CBF). We aimed to investigate the role of ASL MRI perfusion parameters in predicting HT and functional outcomes in acute middle cerebral artery (MCA) infarction.

Methods: A retrospective study was conducted involving 23 patients admitted within 24 hours of MCA infarction onset. Acute imaging included noncontrast cranial CT, diffusion-weighted imaging (DWI) and multiphase CT angiography. Approximately one week after symptom onset, follow-up imaging was performed with DWI and ASL MRI. Infarct volumes were manually calculated. Menon collateral scores and ASL-derived perfusion parameters, including hyperperfused area CBF and relative CBF (rCBF), were assessed. Functional outcomes were evaluated using modified Rankin Scale (mRS) at the end of 1st

week, 1st month and 3rd month and Barthel Index at the end of 3rd month follow-up.

Results: HT developed in 15 patients (65.2%). HT was associated with significantly larger infarct volumes ($p=0.021$), lower Menon scores ($p=0.006$), higher rCBF values ($p=0.014$), and worse functional outcomes indicated by worse functional outcomes at the end of 3rd month follow-up, indicated by higher mRS scores ($p=0.044$) and lower Barthel Index scores ($p=0.036$).

Conclusion: ASL MRI parameters, particularly hyperperfused area CBF and relative CBF, along with collateral circulation and infarct volume measurements, may effectively predict the risk of HT and functional outcomes in acute MCA infarction. These parameters can enhance clinical decision-making and improve patient management strategies.

Keywords: Arterial spin labeling; hemorrhagic transformation; middle cerebral artery infarction; poor prognosis

Cite this article as: Yön Mİ, Baraklı S, Çeltikçi P, Ercan K. Akut Orta Serebral Arter Enfarktında Arteriyel Spin Etiketleme MR Görüntüleme Yöntemiyle Hemorajik Transformasyon ve Fonksiyonel Sonuçların Öngörülmesi. Arch Neuropsychiatry 2026;63:294–298. doi: 10.29399/npa.29174

GİRİŞ

Oeta serebral arter (MCA) enfarktı, iskemik inme tipleri içerisinde en sık karşılaşılan ve en ciddi seyir gösteren türlerden biridir. MCA enfarktlarında erken dönemde gelişen önemli komplikasyonlardan biri hemorajik transformasyondur (HT). HT, iskemik bölgede vasküler bütünlüğün bozulması ve kan-beyin bariyerinin geçirgenliğinin artması sonucu ortaya çıkmaktadır (1,2). Yapılan çalışmalar, HT oluşumunu etkileyen çeşitli risk faktörlerini ortaya koymuştur. Bunlar arasında geniş enfarktüs hacmi, kötü kollateral dolaşım, hiperperfüzyon fenomeni ve reperfüzyon tedavisinin zamanlaması gibi faktörler bulunmaktadır (3,4).

Son yıllarda, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) teknolojilerindeki gelişmeler, serebral perfüzyonu değerlendirmek için çeşitli yöntemlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu yöntemler arasında, arteriyel spib etiketleme (ASL) tekniği öne çıkmaktadır. ASL tekniği, intravenöz kontrast madde kullanılmadan CBF kantitatif olarak ölçmeye olanak tanıyan non-invaziv bir yöntemdir. ASL tekniği, arteriyel kan içindeki su protonlarının manyetik olarak etiketlenmesine ve etiketlenmiş kanın serebral dolaşımında ilerleyişinin görüntülenmesine dayanmaktadır (5).

Yakın zamanda yapılan çalışmalar, ASL tekniğinin HT gelişimini öngörmedeki potansiyelini vurgulamıştır. ASL ile ölçülen CBF parametreleri, özellikle hiperperfüze alanların varlığı ve relatif serebral kan akımı (rCBF), iskemik inme sonrası HT riskini belirlemede etkili olabileceği düşünülmektedir (6,7). Ancak MCA enfarktlarında ASL ile HT arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalar halen sınırlı sayıdadır ve bu alandaki bulguların daha fazla desteklenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, akut MCA enfarktı tanısı konulan hastalarda, klinik komorbiditelerin, enfarkt alanı radyolojik özelliklerinin ve ASL tekniğiyle elde edilen serebral perfüzyon parametrelerinin HT gelişimini ve fonksiyonel prognozu tahmin etmedeki potansiyel rolünü incelemektir. Bu bağlamda, ASL görüntüleme tekniğinin klinik uygulamadaki yararının değerlendirilmesi ve akut dönemde HT gelişiminin erken tespiti için güvenilir bir araç olarak kullanılmasının uygun olup olmadığının araştırılması hedeflenmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışma retrospektif olarak Şubat 2020 – Aralık 2020 tarihleri arasında Ankara Bilkent Şehir Hastanesi Acil Servisine akut iskemik inme ön tanısıyla başvuran ve semptom başlangıcının ilk 24 saati içinde Nöroloji servisine veya Nöroloji Yoğun Bakım Ünitesine yatırılan hastaların görüntüleme verileri temel alınarak yürütülmüştür. Araştırma protokolü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır. Retrospektif tasarım nedeniyle çalışma kapsamında dâhil edilen her hasta için geçmiş kayıtlar üzerinden yazılı bilgilendirilmiş onam belgeleri kontrol edilmiş, yeni bir onam süreci gerekmemiştir.

Çalışmaya dâhil edilme kriterleri şunlardır: semptom başlangıcını takiben ilk 24 saat içinde başvuru; kontrastsız kraniyal BT'de intrakraniyal kanama bulgusu olmaması; aynı başvuru sırasında difüzyon ağırlıklı MR (DWI) ve çok fazlı BT Anjiyografi (mpBTA) sekanslarının her ikisinin de teknik açıdan yeterli kalitede çekilebilmiş olması; 18 yaş ve üzeri olmak; ve takip döneminde en az bir hafta sonra yapılan kontrol görüntülemelerinde HT değerlendirmesine imkân tanıyan eksiksiz veri bulunması. Hariç tutma kriterleri olarak ise ilk 24 saat içinde geçirilmiş beyin cerrahisi; acil görüntülemede intrakraniyal kanama saptanması; DWI veya ASL görüntülerinin değerlendirilmesini engelleyecek derecede hareket artefaktı varlığı; ileri derecede renal yetersizlik (serum kreatinin > 2 mg/dL) nedeniyle gereken protokollerin uygulanamaması ve görüntülerin teknik açıdan yetersiz kalması tanımlanmıştır. Bu kriterler doğrultusunda retrospektif kayıtlar tarandığında HT olan 15 hasta, HT gelişmeyen 8 hasta, toplamda 23 hasta çalışmaya dahil edilmiştir.

Öne Çıkan Noktalar

- Hiperperfüze enfarkt alanının CBF'si, HT riskini anlamlı biçimde öngörür.
- ASL MR ile ölçülen yüksek relatif CBF, HT riskini anlamlı biçimde öngörür.
- Düşük Menon kollateral skoru, HT gelişimi ile güçlü şekilde ilişkilidir.
- Geniş difüzyon MR infarkt hacmi HT olasılığını artıran önemli faktördür.

Semptom başlangıcını takiben ilk 24 saatte tüm hastalara kontrastsız kraniyal BT (0,625 mm kesit kalınlığı) uygulanmış, intrakraniyal kanama bulgusu olmayan olgularda rekanalizasyon kararı öncesinde mpBTA ile değerlendirme yapılmıştır. mpBTA protokolünde 35 mL iohexsol (%350 mg I/mL), 4 mL/sn hızla antekübital venden enjekte edilmiş; ilk faz çekimi arkus aortadan vertekse kadar 0,625 mm kalınlıkta, dinamik seri olarak 4 saniyede tamamlanmıştır. Ardından sekiz saniyelik bekleme sonrasında kafa tabanından vertekse kadar yapılan ikinci faz, yine 0,625 mm kalınlıkta kaydedilmiştir; üçüncü faz ise sekiz saniye aralıklarla başlatılan ikişer saniyelik dinamik serilerle elde edilmiş ve bu üç fazda internal karotid arter (IKA) ile M1–M2 segment oklüzyonları değerlendirilebilmiştir.

Semptom başlangıcını takiben ortalama 6,92 ± 0,58 gün (yaklaşık bir hafta) sonunda, 3 Tesla MR cihazlarında (GE Discovery MR750) performans verimliliği için semptom başlangıcından bağımsız olarak kontrastsız kraniyal BT (0,625 mm kesit kalınlığı) ve DWI ve ASL MR sekansları ardışık olarak çekilmiştir. DWI protokolünde b değerleri 0 ve 1000 s/mm², kesit kalınlığı 5 mm, interslice gap 1 mm olarak ayarlanmış; ADC haritaları otomatik olarak oluşturulmuştur. ASL protokolünde ise 3D pseudokontinuous (pCASL) teknik kullanılarak 1500 ms etiketleme süresi ve 1525 ms post-label gecikme tercih edilmiş, kesit kalınlığı 4 mm ve in-plane rezolüsyon 3,5 × 3,5 mm² olacak şekilde toplam 30 çift etiket kontrol verisi toplanmıştır. Görüntüler sırasında baş pozisyonunun sabit tutulması ve hareket artefaktının minimize edilmesi sağlanmıştır.

Enfarktüs hacmi hesaplamaları DWI görüntülerinde manuel serbest çizim (free-hand ROI) yöntemiyle yapılmıştır. Her bir kesitte infarkt alanı ROI aracılığıyla belirlenmiş, in-plane voxel boyutuna göre cm²'ye dönüştürülmüş; bu değer 6 mm'lik kesit kalınlığı (5 mm kesit + 1 mm gap) ile çarpılarak kesit başına hacim hesaplanmış ve tüm kesit hacimleri toplanarak bazal enfarktüs hacmi elde edilmiştir. Aynı prosedür, semptom başlangıcını takiben 6,92 ± 0,58 gün (yaklaşık bir hafta) sonunda yapılan kontrol DWI görüntülerinde tekrarlanarak bir hafta sonraki enfarktüs hacmi saptanmış ve bazal değerle karşılaştırılarak enfarktüs hacim farkı kaydedilmiştir.

ASL sekanslarından üretilen CBF haritalarında, DWI'de infarkt bölgesine karşılık gelen kesitler manuel olarak ROI ile işaretlenmiş ve ilgili alanın ortalama CBF (ml/100 g/dk) değeri hesaplanmıştır. Kontralateral hemisferde, simetrik anatomik bölgeye karşı ROI uygulanarak elde edilen ortalama CBF, "kontralateral CBF" olarak alınmış, enfarkt bölgesi CBF'nin kontralateral CBF'ye oranı "relative CBF (rCBF)" olarak tanımlanmıştır. Ayrıca ASL hiperperfüzyon alanının hacmi, yine manuel ROI çizimiyle cm³ cinsinden hesaplanmıştır.

Kollateral dolaşım değerlendirmesi mpBTA bulgularına dayanarak Menon ve ark.'nın altı puanlık skala sistemine göre yapılmıştır (8).

Etkilenmeyen hemisferdeki anterior serebral arter MCA ve posterior serebral arter-MCA bölgelerindeki pial arter dolumunun kapsamı ile dolumdaki gecikme, iskemik bölgeyle karşılaştırılarak her hasta için 0–10 arası skor oluşturulmuş, skor 8–10 arası iyi, 6–7 arası orta ve 0–5 arası kötü kollateral doluma karşılık gelmiştir. HT varlığı ise olayın yaklaşık 1. hafta sonunda çekilen kontrastsız kraniyal BT'de Heidelberg kriterlerine göre tanımlanmıştır (9).

Hastaların demografik bilgileri ve tıbbi öyküleri arşiv verilerinden toplanmıştır. İnme semptomlarının başlangıç zamanı veya son iyilik zamanı, başvuru National Institute of Health Stroke Skalası (NIHSS) skoru, vital bulgular ve kraniyal görüntüleme zamanı kaydedilmiştir. Kontrol görüntüleme sonrası (1. hafta sonunda), 1. ay ve 3. ay sonunda modifiye Rankin Skalası (mRS) ve 3. ay sonunda Barthel Günlük Yaşam Aktiviteleri İndeksi (BGYAİ) sonuçları elde edilmiş; mRS skorları 0–2 iyi, 3–6 kötü klinik sonlanım olarak sınıflandırılırken, Barthel İndeksi puanları tam bağımlı (0–20), ileri derecede bağımlı (21–61), orta derecede bağımlı (62–90), hafif derecede bağımlı (91–99), tam bağımsız (100) ve exitus olarak derecelendirilmiştir.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler, verilerin tanımlayıcı ve çıkarımsal düzeyde değerlendirilmesi amacıyla SPSS for Windows (versiyon 25.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sürekli değişkenlerin dağılımı öncelikle Kolmogorov–Smirnov testi ile incelenmiştir. Normal dağılım gösteren parametreler ortalama \pm standart sapma (S.S.) olarak, dağılımı normal olmayan ya da sıralı ölçekli veriler ise medyan ve aralık (min–maks) olarak ifade edilmiştir. Kategorik değişkenler ise mutlak frekans (n) ve yüzde (%) şeklinde sunulmuştur. Gruplar arası karşılaştırmalarda; süregelen iki grup arasındaki normal dağılımlı sürekli değişkenler için bağımsız örneklem t-testi, normal dağılım göstermeyen sürekli veya sıralı ölçekli değişkenler için Mann–Whitney U testi kullanılmıştır. Kategorik değişkenlerin analizinde beklenen hücre frekansları 5'in altında olduğunda Fisher'in kesin testi, aksi halde Ki-kare testi uygulanmıştır. Tüm testlerde iki yönlü anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR

Bu çalışmaya toplam 23 akut MCA kliniği ile başvuran inme hastası dahil edilmiş olup, hastalar takibinde HT gelişen grup (n=15) ve HT gelişmeyen

grup (n=8) olarak iki gruba ayrılmıştır. Gruplar, cinsiyet dağılımı açısından HT olmayan grupta %62,5 kadın (n=5), %37,5 erkek (n=3) ve HT olan grupta %53,3 kadın (n=8), %46,7 erkek (n=7) oranlarında benzerlik göstermiştir (p = 1,000). Yaş ortalamaları HT olmayan grupta $73,37 \pm 8,55$ yıl, HT gelişen grupta $76,64 \pm 8,70$ yıl olup, gruplar arasında yaş açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (p = 0,423).

HT oluşumuna predispozan komorbiditeler incelendiğinde, geçirilmiş inme öyküsü HT olmayan grupta %25 (n=2), HT grubunda %13,3 (n=2); diyabet öyküsü HT olmayan grupta %25 (n=2), HT grubunda %20 (n=3); hipertansiyon öyküsü HT olmayan grupta %75 (n=6), HT grubunda %73,3 (n=11); hiperlipidemi öyküsü HT olmayan grupta %25 (n=2); HT grubunda %40 (n=6); koroner arter hastalığı öyküsü HT olmayan grupta %25 (n=2), HT grubunda %6,7 (n=1); atriyal fibrilasyon öyküsü HT olmayan grupta %0 (n=0), HT grubunda %13,3 (n=2) olarak bulunmuştur. Öncesinde kan sulandırıcı kullanım oranı HT olmayan grupta %100 antiagregan/antikoagülan (n=5 antiplatelet, n=3 antikoagülan), HT grubunda %60 antiagregan/antikoagülan (n=4 antiplatelet, n=5 antikoagülan) olarak saptanmıştır. Zararlı alışkanlıklar açısından HT olmayan grupta %75 sigara/alkol yok (n=6), %25 hem sigara hem alkol (n=2), HT grubunda %60 sigara/alkol kullanmıyorken (n=9), %33,3 sadece sigara (n=5), %6,7 hem sigara hem alkol (n=1) kullanıyor olarak bulunmuştur. Geliş EKG'sinde atriyal fibrilasyon HT olmayan grupta %0 (n=0) vs HT grubunda %6,7 (n=1) olarak tespit edilmiştir. Grupların her birindeki hasta sayısının yetersiz olması nedeniyle istatistiksel analiz gerçekleştirilememiştir.

Hastaların geliş NIHSS skorları HT olmayan grupta ortalama $13,75 \pm 4,37$ (min–maks: 8–19), HT grubunda $15,13 \pm 3,91$ (min–maks: 9–21) olarak rapor edilmiş; gruplar arasında geliş NIHSS açısından anlamlı fark izlenmemiştir (p = 0,446). Geliş ortalama arter basıncı HT olmayan grupta $142,00 \pm 12,68$ mmHg, HT grubunda $146,27 \pm 15,34$ mmHg düzeylerinde olup aralarındaki fark anlamlı bulunmamıştır (p = 0,553). İlk reperfüzyon uygulama oranı HT olmayan grupta %25 (n=2), HT grubunda %40 (n=6) olarak saptanmış olup her bir gruptaki hasta sayısının yetersiz olması nedeniyle istatistiksel analiz gerçekleştirilememiştir. Bir hafta sonraki NIHSS skorları HT olmayan grupta $8,25 \pm 3,68$ (min–maks: 4–14) ve HT grubunda $10,33 \pm 4,12$ (min–maks: 5–19) şeklinde bulunmuş; gruplar arasında bir hafta NIHSS açısından da anlamlı fark izlenmemiştir (p = 0,210).

Tablo 1. Hemorajik Transformasyon Gelişen ve Gelişmeyen Hastalarda Klinik ve Radyolojik Parametreler

	HT Var (n=15) Ortalama \pm SD	HT Yok (n=8) Ortalama \pm SD	p değeri
Geliş NIHSS	15,13 \pm 3,91	13,75 \pm 4,37	0,446
1. hafta NIHSS	10,33 \pm 4,12	8,25 \pm 3,68	0,210
Menon Kollateral Skoru	5,33 \pm 2,05	7,25 \pm 1,60	0,006
Geliş Difüzyon MR Enfarkt Hacmi (cm ³)	47,60 \pm 10,35	35,25 \pm 8,12	0,021
1. hafta Difüzyon MR Enfarkt Hacmi (cm ³)	43,80 \pm 9,25	32,10 \pm 7,68	0,046
ASL hiperperfüze alan hacmi (cm ³)	12,65 \pm 5,10	12,45 \pm 4,22	0,943
ASL hiperperfüze alan CBF (ml/100 g/dk)	55,25 \pm 7,98	62,10 \pm 8,15	0,010
ASL İpsilateral MCA Alanı CBF (ml/100 g/dk)	36,90 \pm 6,12	38,75 \pm 5,30	0,366
ASL rCBF	0,985 \pm 0,062	0,912 \pm 0,055	0,014
Bir hafta sonraki mRS	3,07 \pm 0,80	2,25 \pm 0,71	0,040
Bir ay sonraki mRS	2,33 \pm 0,87	1,50 \pm 0,76	0,028
Üç ay sonraki mRS	2,07 \pm 0,88	1,38 \pm 0,52	0,044
Üç ay sonraki Barthel İndeksi	75,33 \pm 10,61	90,00 \pm 8,66	0,036

ASL: Arteriyel Spin Etiketleme; CBF: Serebral Kan Akımı; HT: Hemorajik Transformasyon; mRS: modifiye Rankin Skalası; NIHSS: Ulusal Sağlık Enstitüleri İnme Ölçeği

İlk acil dönemde ölçülen difüzyon MR enfarktüs volümü HT olmayan grupta $35,25 \pm 8,12 \text{ cm}^3$, HT grubunda $47,60 \pm 10,35 \text{ cm}^3$ olarak belirlenmiş ve gruplar arasında anlamlı fark saptanmıştır ($p = 0,021$). Kontrol görüntüleme deki 1. hafta sonunda çekilen difüzyon mr enfarktüs volümü HT olmayan grupta $32,10 \pm 7,68 \text{ cm}^3$, HT grubunda $43,80 \pm 9,25 \text{ cm}^3$ olup, aradaki fark yine anlamlı bulunmuştur ($p = 0,046$). Enfarktüs volüm farkı HT olmayan grupta $3,15 \pm 1,35 \text{ cm}^3$, HT grubunda $3,80 \pm 1,50 \text{ cm}^3$ düzeylerinde olup bu parametre açısından anlamlılık elde edilmemiştir ($p = 0,209$).

ASL ölçümleri incelendiğinde, ASL'in çekilme günü HT olmayan grupta ortalama $6,89 \pm 0,70$ gün ve HT grubunda $6,93 \pm 0,53$ gün olarak hesaplanmış, aradaki fark istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur ($p = 0,896$). ASL sekanslarında Hiperperfüze alan hacmi HT olmayan grupta $12,45 \pm 4,22 \text{ cm}^3$ ve HT grubunda $12,65 \pm 5,10 \text{ cm}^3$ olarak belirlenmiş olup, bu parametre açısından anlamlı fark bulunmamıştır ($p = 0,943$). Hiperperfüze alan CBF HT olmayan grupta $62,10 \pm 8,15 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{dk}$, HT grubunda $55,25 \pm 7,98 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{dk}$ düzeyinde ölçülmüş ve aradaki fark anlamlı bulunmuştur ($p = 0,010$). İpsilateral MCA bölgesi CBF HT olmayan grupta $38,75 \pm 5,30 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{dk}$, HT grubunda $36,90 \pm 6,12 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{dk}$ olarak saptanmış, bu fark anlamsız kalmıştır ($p = 0,366$). Kontralateral MCA bölgesi CBF HT olmayan grupta $42,50 \pm 6,05 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{dk}$ ve HT grubunda $41,90 \pm 5,85 \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{dk}$ olarak bulunmuş, aralarında anlamlılık elde edilmemiştir ($p = 0,929$). Rölatif CBF HT olmayan grupta $0,912 \pm 0,055$ ve HT grubunda $0,985 \pm 0,062$ düzeylerinde ölçülmüş olup, bu parametre HT grubunda anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur ($p = 0,014$).

Kollateral dolaşım derecesini yansıtan multifazik BT anjiyo Menon skoru, HT olmayan grupta $7,25 \pm 1,60$ ve HT grubunda $5,33 \pm 2,05$ olarak ölçülmüş; HT gelişimine göre aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p = 0,006$). Bu sonuç, HT olan hastalarda kollateral dolaşımdaki belirgin zayıflığa işaret etmektedir.

Fonksiyonel sonuçlar değerlendirildiğinde, bir hafta sonraki modifiye Rankin Skoru (MRS 1. hafta sonu) HT olmayan grupta $2,25 \pm 0,71$, HT grubunda $3,07 \pm 0,80$ olarak belirlenmiş ve aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p = 0,040$). Bir ay sonraki modifiye Rankin Skoru (MRS 1. ay sonu) HT olmayan grupta $1,50 \pm 0,76$, HT grubunda $2,33 \pm 0,87$ ($p = 0,028$), üç ay sonraki modifiye Rankin Skoru (MRS 3. Ay sonu) HT yok $1,38 \pm 0,52$, HT grubunda $2,07 \pm 0,88$ ($p = 0,044$) olarak raporlanmıştır. Üç ay sonraki Barthel İndeksi (Barthel 3. Ay sonu) HT olmayan grupta $90,00 \pm 8,66$, HT grubunda $75,33 \pm 10,61$ bulunmuş ve bu fark da istatistiksel olarak anlamlı olmuştur ($p = 0,036$) (Klinik ve radyolojik bulgular Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir).

TARTIŞMA

Çalışmamızda akut MCA enfarktüsü nedeniyle takip edilen hastalarda HT gelişimi ile ilişkili faktörler değerlendirilmiştir. Enfarkt hacmi açısından yapılan analizde, HT gelişen hastaların akut ve takip dönemindeki enfarkt hacimleri, HT olmayan hastalara göre anlamlı derecede büyüktür. Bu bulgular, büyük enfarkt alanlarının nekroza uğramış doku miktarını artırarak vasküler geçirgenliği ve sonuç olarak HT riskini artırdığı yönündeki mevcut literatürle tutarlıdır (10,11). Geniş enfarkt alanları genellikle MCA ana gövde veya büyük dallarındaki oklüzyonlardan kaynaklanır ve reperfüzyon tedavisi sonrası, nekrotik dokudaki kanama riskini daha belirgin hale getirebilir. Sonuç olarak enfarkt büyüklüğünün erken dönemde HT açısından önemli bir prediktör olduğu söylenebilir.

ASL ile ölçülen CBF değerleri açısından, HT gelişen hastalarda hiperperfüzyon alanındaki ortalama CBF daha yüksekken, relative

CBF (rCBF; ipsilateral/kontralateral oranı) değerleri de daha yüksek bulunmuştur. Literatürde bu durum, "lüks perfüzyon" olarak tanımlanan, iskemik alanın reperfüzyon sonrası otoregülasyon yeteneğini kaybetmesiyle açıklanabilir (12). Özellikle otoregülasyon bozulduğunda, nekrotik veya penumbra alanında aşırı perfüzyon gelişir ve vasküler yatakta daha fazla basınç ve geçirgenlik artışı meydana gelir. Bu durum kan-beyin bariyerinin bozulmasına ve HT riskinin artmasına neden olur (13). Dolayısıyla ASL görüntülemesi ile hiperperfüzyon ve yüksek rCBF değerlerinin varlığı, reperfüzyon sonrası oluşan HT riskini öngörmeye faydalı olabilir.

Menon skoru açısından yapılan değerlendirmede, HT gelişen hastalarda anlamlı olarak daha düşük skorlar saptanmıştır. Bu sonuç, literatürdeki diğer çalışmalarla uyumludur ve zayıf kollateral dolaşımın, yetersiz serebral perfüzyon nedeniyle infarkt alanının genişlemesine ve HT riskinin artmasına yol açtığını göstermektedir (8,14). Özellikle kollateral rezervin yetersiz olduğu durumlarda, iskemik penumbranın kurtarılamaması, doku nekrozu ve kan-beyin bariyerindeki hasarı artırarak kanama riskini yükseltebilmektedir (15). Menon skorunun, akut dönemde HT gelişim riskini öngörmeye klinik olarak önemli bir belirteç olduğu sonucuna varılmıştır.

Fonksiyonel sonuçlar açısından değerlendirme yapıldığında, HT gelişen gruptaki hastaların modifiye Rankin skoru (mRS) ve Barthel Günlük Yaşam Aktiviteleri İndeksi değerlerinin anlamlı olarak daha kötü olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, literatürde HT'nin fonksiyonel iyileşme üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu gösteren önceki bulgularla uyumludur (16). HT, nörolojik hasarın şiddetini artırarak günlük yaşam aktivitelerinde bağımlılığı ve fonksiyonel yetersizliği belirgin olarak artırmaktadır. Dolayısıyla HT'nin klinik sonuçlar üzerindeki olumsuz etkisi, hastaların rehabilitasyonu ve uzun dönem prognozu açısından kritik bir önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın retrospektif tasarımı, nedensellik ilişkilerinin doğrudan kurulmasını kısıtlamaktadır. Örneklem büyüklüğünün göreceli olarak küçük olması, özellikle alt gruplar arası karşılaştırmalarda istatistiksel gücü sınırlayabilir. Ayrıca, hastaların tedavi öncesi ve izlemdeki fonksiyonel değerlendirmeleri (mRS, Barthel) subjektif bildirimlere dayandığı için bilgi yanlılığı oluşabilir. Son olarak, çalışmada takip süresi erken dönemi (3 ay) kapsadığından, uzun dönem sonuçlar hakkında veri elde edilememiştir.

Çalışmamız, HT riskini öngörmeye Menon kollateral skoru, enfarkt hacmi ve ASL tabanlı perfüzyon parametrelerinin önemini desteklemektedir. Bulgularımız, bu parametrelerin akut dönemde HT gelişimini tahmin etmek ve fonksiyonel sonuçları öngörmek için klinik olarak faydalı olabileceğini ortaya koymaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, daha geniş örneklem ve prospektif tasarımlarla bu bulguları doğrulamalı ve ASL görüntülemenin inme yönetiminde rutin kullanımını değerlendirmelidir.

Etik Komite Onayı: Araştırma protokolü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Etik Kurulu onaylanmıştır (tarih: 17.04.2025, sayı: 04/1238).

Hakem Değerlendirmesi: Dış Bağlıdır.

Yazar Katkıları: Fikir- MİY, SB, KE; Tasarım- MİY, SB, KE; Denetleme- KE, MİY; Kaynaklar- SB, MİY; Malzemeler- SB, MİY; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi- PÇ, MİY; Analiz ve/veya Yorum- MİY, PÇ; Literatür Taraması- SB, MİY; Yazılı Yazan- MİY, SB; Eleştirel İnceleme- SB, PÇ.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Finansal Destek: Yoktur.

KAYNAKLAR

1. Álvarez-Sabín J, Maisterra O, Santamarina E, Kase CS. Factors influencing haemorrhagic transformation in ischaemic stroke. *Lancet Neurol*. 2013 Jul;12(7):689-705. [\[Crossref\]](#)
2. Simard JM, Kent TA, Chen M, Tarasov KV, Gerzanich V. Brain oedema in focal ischaemia: molecular pathophysiology and theoretical implications. *Lancet Neurol*. 2007 Mar;6(3):258-268. [\[Crossref\]](#)
3. Chen CH, Shoamanesh A, Colorado P, Saad F, Lemmens R, De Marchis GM et al. Hemorrhagic Transformation in Noncardioembolic Acute Ischemic Stroke: MRI Analysis From PACIFIC-STROKE. *Stroke*. 2024 Jun;55(6):1477-1488. [\[Crossref\]](#)
4. Liebeskind DS. Collateral circulation. *Stroke*. 2003 Sep;34(9):2279-2284. [\[Crossref\]](#)
5. Alsop DC, Detre JA, Golay X, Günther M, Hendrikse J, Hernandez-Garcia L et al. Recommended implementation of arterial spin-labeled perfusion MRI for clinical applications: A consensus of the ISMRM perfusion study group and the European consortium for ASL in dementia. *Magn Reson Med*. 2015 Jan;73(1):102-116. [\[Crossref\]](#)
6. Zaharchuk G. Arterial spin-labeled perfusion imaging in acute ischemic stroke. *Stroke*. 2014 Apr;45(4):1202-1207. [\[Crossref\]](#)
7. Detre JA, Rao H, Wang DJ, Chen YF, Wang Z. Applications of arterial spin labeled MRI in the brain. *J Magn Reson Imaging*. 2012 May;35(5):1026-1037. [\[Crossref\]](#)
8. Menon BK, d'Este CD, Qazi EM, Almekhlafi M, Hahn L, Demchuk AM et al. Multiphase CT Angiography: A New Tool for the Imaging Triage of Patients with Acute Ischemic Stroke. *Radiology*. 2015;275(2):510-520.
9. von Kummer R, Broderick JP, Campbell BC, Demchuk A, Goyal M, Hill MD et al. The Heidelberg Bleeding Classification: Classification of Bleeding Events After Ischemic Stroke and Reperfusion Therapy. *Stroke*. 2015 Oct;46(10):2981-2986. [\[Crossref\]](#)
10. Lin L, Yang J, Chen C, Tian H, Bivard A, Spratt NJ et al; INSPIRE study group. Association of Collateral Status and Ischemic Core Growth in Patients With Acute Ischemic Stroke. *Neurology*. 2021 Jan 12;96(2):e161-e170. [\[Crossref\]](#)
11. Lyu J, Ma N, Liebeskind DS, Wang DJ, Ma L, Xu Y et al. Arterial Spin Labeling Magnetic Resonance Imaging Estimation of Antegrade and Collateral Flow in Unilateral Middle Cerebral Artery Stenosis. *Stroke*. 2016 Feb;47(2):428-433. [\[Crossref\]](#)
12. Hoedt-Rasmussen K, Skinhoj E, Paulson O, Ewald J, Bjerrum JK, Fahrenkrug A et al. Regional cerebral blood flow in acute apoplexy. The "luxury perfusion syndrome" of brain tissue. *Arch Neurol*. 1967 Sep;17(3):271-281. [\[Crossref\]](#)
13. Hernandez Petzsche MR, Bürkle J, Hoffmann G, Zimmer C, Rühling S, Schwarting J et al. Cerebral blood flow from arterial spin labeling as an imaging biomarker of outcome after endovascular therapy for ischemic stroke. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2025 Feb;45(2):219-232. [\[Crossref\]](#)
14. Shuaib A, Butcher K, Mohammad AA, Saqqur M, Liebeskind DS. Collateral blood vessels in acute ischaemic stroke: a potential therapeutic target. *Lancet Neurol*. 2011 Oct;10(10):909-921. [\[Crossref\]](#)
15. Ginsberg MD. The cerebral collateral circulation: Relevance to pathophysiology and treatment of stroke. *Neuropharmacology*. 2018 May 15;134(Pt B):280-292. [\[Crossref\]](#)
16. Liu S, Fan D, Zang F, Gu N, Yin Y, Ge X et al. Collateral circulation detected by arterial spin labeling predicts outcome in acute ischemic stroke. *Acta Neurol Scand*. 2022 Nov;146(5):635-642. [\[Crossref\]](#)