

İntrakranyal Anevrizmaların Tanısında Çok Kesitli Kranyal BT Anjiyografi

Ender UYSAL

Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Kliniği, İstanbul

Giriş

İntrakranial anevrizmalar sık görülen lezyonlar olup erişkin popülasyonda prevalansı %1-5 arasında değişmektedir. İntrakranial anevrizma rüptürü, travma dışı subaraknoid kanama (SAK)'ların etyolojisindeki en sık neden olup yüksek mortalite ve morbidite oranına sahiptir. Bu nedenle anevrizmaların erken tanısı ve anatomik karakterizasyonu hem cerrahi hem de endovasküler tedavinin planlanmasında önemli yer tutmaktadır.

Dijital subtraksiyon anjiyografi (DSA) intrakranial anevrizma tanısında referans standart yöntem kabul edilmektedir. Ancak DSA %0.5 oranında kalıcı nörolojik defisite neden olabilen, pahalı, zaman alıcı ve invaziv bir yöntemdir.^{1,2} Anevrizma tanısında invaziv olmayan tanı yöntemleri arasında yer alan bilgisayarlı tomografi anjiyografi (BTA)'nin kullanımı günümüzde giderek artmakta ve bazı merkezlerde SAK'lı olgularda serebral sirkülasyonun başlangıç değerlendirilmesinde tercih edilmektedir. BTA yeni bir yöntem olmamakla birlikte çok kesitli BT anjiyografi (ÇKBTA)'deki teknolojik gelişmelere ve uzaysal ve temporal rezolüsyondaki iyileşmelere bağlı olarak daha yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesi, genel vasküler ve nörovasküler endikasyonlarda ÇKBTA'nın yerini sağlamlaştırmaktadır. Literatürde ÇKBTA ile bildirilen sensitivite ve spesifisite değerleri anevrizma boyutuna ve lokalizasyonuna göre %81-%99 arasında değişmektedir.³⁻⁸

Bu yazıda ÇKBTA'nın avantajlarının ve sınırlarının anlaşılması, görüntü yorumlama kalitesini arttıracak ve hekimi doğru karar verme konusunda yönlendirecek bilgilerin verilmesi amaçlanmaktadır.

ÇKBTA tekniği

ÇKBTA teknolojisinde, detektör panelleri kullanılarak birim zamanda ve her bir tüp rotasyonunda elde edilen kesitsel görüntülerin sayısı artırılmakta ve böylece tarama yapılacak alan ile rezolüsyon arasındaki ters iliş-

kinin üstesinden gelinebilmektedir. Tüp rotasyonunun 0.5 sn'ye inmesi temporal rezolüsyonu iyileştirdiği için intrakranial vasküler ağacın 8-10 s gibi kısa sürelerde elde edilmesini ve dolayısıyla venöz kontaminasyonun ve kullanılacak intravenöz kontrast madde dozunun da azaltılmasını sağlamaktadır.⁹

Serebral sirkülasyonun optimum ÇKBTA görüntüleri herhangi bir tarayıcının izin verdiği en dar kolimasyon görüntüleri ile mümkün olmaktadır. Günümüzde 16 ve 64 kesitli BT teknolojisindeki gelişmeler sayesinde kolimasyonun 0.5 mm'ye kadar düşmesi izotropik görüntülemeyi mümkün kılmakta ve değişik düzlemlerde elde edilen rekonstrüksiyon görüntülerinin rezolüsyonu kaynak görüntülerinkine eşit olmaktadır.¹⁰

İntrakranial vasküler yapıların opaklaşması, antekübital venden intravenöz olarak otomatik pompa enjektörü ile verilen iyonik olmayan iyotlu kontrast madde enjeksiyonu ile mümkün olmaktadır. Dual otomatik pompa enjektörlerinin kullanımı, damarlardaki ve yumuşak dokulardaki pik kontrastlanmada iyileşmeye neden olduğu gibi kullanılan kontrast madde dozunun da azaltılmasını sağlamaktadır.^{11,12} Kontrast madde enjeksiyonu ile görüntü akuzisyon zamanlaması arasındaki ilişki önemlidir. Optimum vasküler kontrastlanmayı sağlamak için kullanılan yöntemlerden biri "bolus tracking" otomatik tetikleme yöntemi olup belirli bir kontrastlanma eşik değeri seçilerek arter üzerinde işaretleme yapılmakta (örneğin; aksiyal planda baziler arter yada karotid arter) ve arterdeki kontrastlanma bu değere ulaşıncaya inceleme otomatik olarak başlatılmaktadır. Diğer bir yöntem ise "test bolus" yöntemi olup¹³ 20 ml kontrast maddenin bolus enjeksiyonundan 10 sn sonra 1. servikal vertebra seviyesinden dinamik olarak yapılan tek kesit aksiyal çalışma (2 sn'de bir tarama yapılarak), internal karotid arterler (ICA)'de kontrast maddeye bağlı opaklaşma gö-

rölünceye kadar devam eder. Böylece kontrast maddenin sirkülasyon zamanı bilinerek bolus enjeksiyon ile görüntü akuzisyonun başlatılması arasındaki zaman belirlenir. Her iki yöntemin mümkün olmadığı durumlarda ise serebral vasküler yapılar kontrastın ulaştığı gözlemlenerek inceleme manuel olarak başlatılabilir.

ÇKBTA: Görüntü değerlendirme yöntemleri

BTA'nın duyarlılığını etkileyen önemli faktörlerden biri rekonstrüksiyon işlem sürecidir. ÇKBTA ile elde edilen geniş volüm bilgisinin işlenmesi hafıza kapasitesi geniş, işlemci gücü ve bilgi transfer kapasitesi yüksek bilgisayar sistemleri ve kullanımı kolay yazılımlar ile mümkündür.

Kaynak görüntüler

Başlangıçta kaynak görüntülerin detaylı ve dikkatli değerlendirilmesi hem önemli hem de zorunludur.¹⁴ Çünkü kaynak görüntüler elde edilen datadaki tüm bilgiyi içermektedir. En gelişmiş 3 boyutlu (3B) görüntüleme yöntemleri ile bile farklı derecelerde veri kaybı oluşabilmektedir. Anevrizmaya ait parsiyel trombüs yada kalsifikasyon kaynak görüntülerde dikkatli değerlendirilmezse gözden kaçırılabilir. İntrakranial arterlerin seyirinin ve diğer yapılarla olan ilişkilerinin daha iyi anlaşılması için kaynak görüntüler basılı filmlerden değil de iş istasyonunda interaktif olarak değerlendirilmelidir. Opak madde ile dolu arterlerin (örneğin; karotid arter kavernoöz segment), kemik ve kalsifikasyonlardan ayrımı için geniş ve esnek pencere ayarları gerekmektedir.

Multiplanar reformat (MPR) görüntüler

Volumetrik datanın en kolay değerlendirilme şekli MPR yöntemi olup koronal, sagittal, aksiyal ve oblik planlarda ve değişik açılarda rekonstrüksiyonlar yapılabilmektedir. MPR görüntüler Willis poligonuna anjiyografik bakıyı yansıtmakta olup anevrizmaların sıklıkla bulunduğu lokalizasyonlara odaklanmayı ve ana arterlerin trasesinin takibini mümkün kılmaktadır. Rekonstrüksiyon kalitesi voksel boyutuna bağlı olup izometrik verinin kullanıldığı (örn; aynı derinlik, uzunluk ve yüksekliğe sahip vokseller) durumlarda, tüm görüntüler ana kaynak görüntülerle aynı kalitede olmaktadır. Maksimum intensite projeksiyon (MIP) ve 3B yöntemlerinden farklı olarak MPR ile değişik planlarda oluşturulan rekonstrüksiyonlar kaynak görüntüleri ait tüm bilgiyi içermektedir.¹⁵ Bu nedenle de BT anjiyografi verisinin işlenmesinde seçilecek ilk yöntemlerden biridir.

Maksimum intensite projeksiyon (MIP)

MIP terim olarak, seçilen herhangi bir açıdan, bir düzlem boyunca, ilgilenilen hacimdeki en parlak vokseller seçilerek görüntü oluşturulması anlamına gelmektedir.^{15,16} İncelenen volüm içerisindeki farklı lokalizasyondaki vokseller birleştirilerek tek bir düzleme indirildiğinden MIP'te 3 boyutlu değil 2 boyutlu görüntüler elde edilir. Bu nedenle derinlik bilgisi kaybolur ve bu teknikte üç boyutlu ortamdaki komşu yapılarla olan ilişki net ortaya konulamaz.¹⁷

MIP'teki piksel değeri incelenen alandaki en yüksek X-ışını attenuasyonu ile belirlenir.¹⁸ Bu nedenledir ki opak madde ile dolu intrakranial arterlere göre daha yüksek attenuasyona sahip kafa tabanı gibi yapılar vasküler yapıların ayrıntılı değerlendirilmesini sınırlamaktadır.¹⁹ Ayrıca MIP yöntemi ile küçük boyutlu anevrizmalar, iki boyutlu düzlemde aynı plana düştükleri parent arterin dansitesi ile gölgelenebilmekte ve gözden kaçabilmektedir.

3 boyutlu görüntüleme yöntemleri ile karşılaştırıldığında MIP, eşik değerine bağımlı olmayıp kullanımı nispeten daha kolaydır.¹⁵ Ayrıca MPR'a ek olarak değişik kesit kalınlığında oluşturulan görüntülerin iş istasyonunda interaktif olarak değerlendirilebilmesi anevrizmanın araştırılmasına ve değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Eşik değerine bağımlı üç boyutlu görüntüleme yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha küçük kalibreli arterler kullanıcıdan bağımsız olarak gösterilebilmektedir.

Eşik değerine bağımlı 3 boyutlu görüntüleme

“Shaded surface display” (SSD) ve “Volume Rendering” (VR) tekniklerinin kullanımı MIP'ten daha zordur. Attenuasyon değerlerine (Hounsfield ünite olarak ölçülen) göre voksel seçimi için eşik değeri belirlenmesi gerektiği için kullanıcıya bağımlıdır.

“Surface shaded display” (SSD)

SSD'de tipik olarak üst ve alt eşik değerleri belirlenir ve seçilen herhangi bir açıdan tanımlanmış attenuasyon değerlerine göre ilk sırada yer alan vokseller görüntülenir. Bu teknikte vasküler yapıların yüzeyi gösterilir ve böylece herhangi bir nesnenin 3 boyutlu şekli ile ilgili bilgi sağlanır.²⁰ SSD görüntülerin renk olarak gri skalada olmasının ana nedeni farklı X-ışını attenuasyon değerlerinin gösterilmesinden çok ışık yansımalarının simülasyonuna bağlıdır. Bu nedenle önemli vasküler detayların gizlenmesi kaçınılmazdır. SSD görüntüler, seçilecek eşik değerlerine bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Örneğin; yüksek eşik değerleri seçildiğinde (örn; 200 HU), intrakranial venler ve küçük arterler gibi düşük attenuasyonlu yapılar tamamen silinecek ve majör arterler daha ince kalibreli izlenecektir ki bu durumda, damarlar stenotik görünerek vazospazmı yada aterosklerozu taklit edebilir. Kontrast madde enjeksiyon hızı ve kardiyak debi gibi diğer parametrelerin de kontrast madde ile dolu damarların attenuasyonunu etkileyebileceği göz önünde tutulmalı ve intrakranial damarları gösterecek ideal eşik değeri interaktif olarak bulunmalıdır.²¹

SSD rekonstrüksiyonlar genellikle MIP ve MPR görüntüleri tamamlayıcı olarak oluşturulmaktadır.

“Volume Rendering” (VR)

VR, 3 boyutlu görüntüleme teknikleri arasında yer alan en sofistike yöntem olup ham verideki tüm bilgiler kullanılarak görüntü elde edilmesine olanak sağlar. Burada ana prensip değişik grup voksellerin attenuasyon değerlerine (HU) göre seçilerek renk kodlamasının yapılmasıdır.^{15,22,23} VR yöntemi ile elde edilen ÇKBTA

görüntülerinde kemik yapılar hakkında bilgi ihtiva eden yüksek atenuasyonlu vokseller, kontrastlanma gösteren vasküler yapılar hakkında bilgi ihtiva eden atenuasyon değeri 100-300 HU arasında değişen voksellerden ayrılabilir. Bu sayede 3 boyutlu görüntülerde kemikler beyaz renkte, damarlar ise kırmızı renkte gösterilebilmektedir. Son zamanlarda “subtraksiyon BT ajiyografi” adı verilen yöntemde ise kontrastlı ÇKBTA inceleme öncesi aynı parametreler kullanılarak daha düşük dozda kontrastsız kranial BT incelemesi yapılarak bu iki data birbirinden otomatik olarak çıkarılmaktadır. Böylece sadece kontrastlanma gösteren damarlar görüntülenebilmekte ve kemik yapılar ve yumuşak dokular görüntüden silinmektedir.²⁴

Bunun dışında yüksek opasite değerlerine sahip küçük bir vöksel grubu seçilerek sadece damar duvarına benzer görünümde “sanal endoskopi” adı verilen görüntüler oluşturulabilmektedir. VR teknik sayesinde özellikle



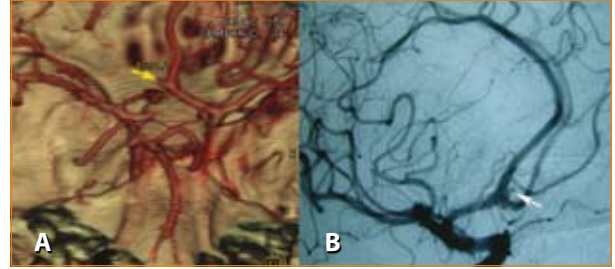
Resim 1: ÇKBTA inceleme sonrası elde edilen VR görüntülerde, posteroanterior bakıda normal serebral vasküler anatomi izlenmektedir. Anterior komünikan arter (ACA), orta serebral arter (MCA), anterior komünikan arter (Acom a.), posterior serebral arter (PCA), süperior serebellar arter (SCA), baziler arter (BA), vertebral arter (VA).

kompleks anatomisinin izlendiği ve 2 boyutlu incelemelerde değerlendirilmesi güç olan durumlarda anevrizma morfolojisi hakkında detaylı bakı sağlanmaktadır (Resim 1,2 ve 3).

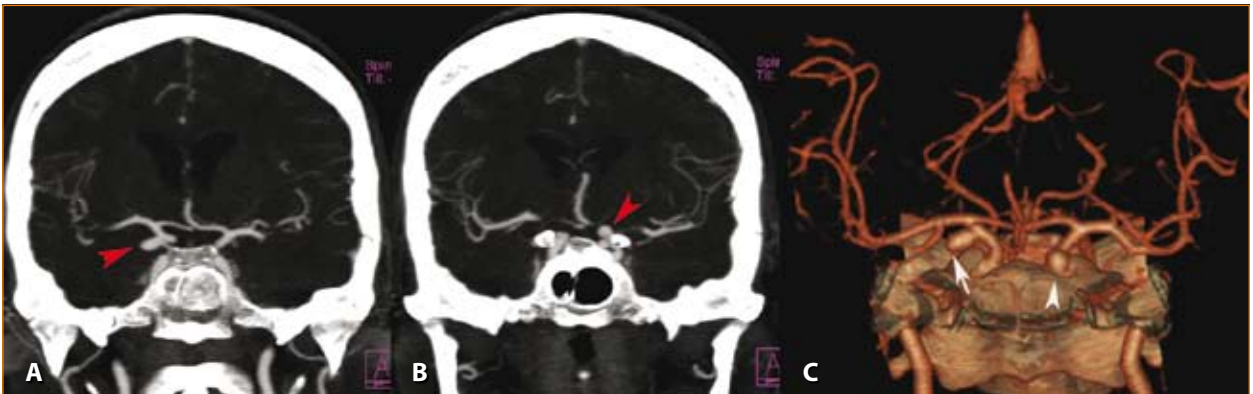
VR yönteminde eşik değerlerinin etkin şekilde seçilmesi daha çok kullanıcı kişinin deneyimine bağlıdır. Bu nedenle de anevrizma saptama oranını artırmak için 3 boyutlu görüntülerin standart yöntemlerle birlikte değerlendirilmesi zorunludur. Anevrizmaların sık izlendiği lokalizasyonlar daha detaylı incelenmelidir. VR görüntüler bazen küçük anevrizmaların varlığının ve anatomisinin gösterilmesinde MIP veya MPR yöntemlere göre daha az yararlı olabilmektedir.

Intrakranial Anevrizmaların Saptanmasında ve Karakterizasyonunda ÇKBTA'nın Rolü

Anevrizmal SAK'lı olgularda rüptüre anevrizmanın saptanmasında invaziv olmayan görüntüleme yöntemlerinin etkin şekilde kullanılması, cerrahi veya embolizasyon öncesi tedavi yönteminin belirlenmesinde yol gösterici olmaktadır. Özellikle 64 kesitli BT tarayıcıların da kullanıma girmesiyle anevrizma araştırılmasında başlangıç görüntüleme yöntemi olarak kullanılacak ÇKBTA'ya olan ihtiyaç günümüzde göz ardı edilemez. Tek bir incelemede hem servikal hem de serebral vasküler yapılar hakkında detaylı bilginin elde edilmesi; konvansiyonel anjiyografi, embolizasyon ve hatta cerrahi için gerekli sürenin kısalmasını sağlayabilmektedir. Endovasküler tedavi öncesi serebral vasküler yapılar hakkında detaylı



Resim 3: A, VR görüntülerde anterior komünikan arter lokalizasyonundaki 3 mm'den küçük anevrizma izlenmektedir. Aynı olguda anevrizmanın DSA'daki görünümü.



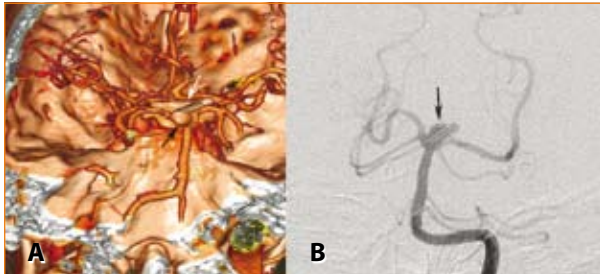
Resim 2: A, Koronal planda elde edilen MIP görüntülerde sağ ICA posterior komünikan arter lokalizasyonunda laterale oryantasyon gösteren anevrizma izlenmektedir. B, Aynı olguda sol ICA paroftalmik lokalizasyonda diğer bir anevrizma mevcut. C, VR görüntülerde her iki anevrizma da iyi bir şekilde gösterilmektedir.

anatomik bilginin elde edilmesi be böylece endovasküler yöntemin uygun olmadığı durumda hastanın hemen cerrahiye yönlendirilebilmesi ve SAK'a neden olabilecek daha nadir nedenlerin saptanabilmesi ÇKBTA'nın avantajları arasında yer almaktadır.³⁻⁸ Ayrıca anevrizma varlığının şüpheli olduğu; ciddi travma sonrası SAK geçiren olgular veya kanama olmaksızın şiddetli baş ağrısı olan olgular ve aile öyküsünde anevrizma varlığı pozitif olan olgular, ÇKBTA incelemesi için muhtemel potansiyel oluşturmaktadır.

Son 10 yıl içerisinde tek kesitli BTA'dan, ÇKBTA'ya (4 kesitli) geçilmesi ve son zamanlarda da rutin olarak 16 ve 64 kesitli tarayıcıların kullanımı ile BTA'nın intraserebral anevrizmaları saptamadaki duyarlılığı ve doğruluğu aşamalı olarak iyileşmektedir.³⁻⁸ Daha önce tek kesitli BTA ile yapılan çalışmalarda duyarlılık %62 ile %100 arasında değişmekte olup 4 mm'den küçük anevrizmaların saptanmasında ise güçlük yaşandığı bildirilmektedir.^{25,26} 4 kesitli BT tarayıcılarla yapılan çalışmalarda ise 4 mm ve üzerindeki anevrizmaları saptamadaki duyarlılık % 90'ın üzerinde saptanmakla birlikte 4 mm altındaki anevrizmalar için özellikle negatif kestrim değerleri anevrizma başına değerlendirildiğinde %90'ın altında bulunmuştur.^{8,27} 16 kesitli tarayıcıların kullanımı ile duyarlılık ve negatif kestrim değerlerindeki iyileşme devam etmiştir.^{28,29} Chen ve ark. 16 kesitli BT tarayıcı ile yaptıkları çalışmada 4 mm'den küçük anevrizmaları saptamadaki sensitivite değerlerini %96 olarak bildirmektedirler.³⁰ 64 kesitli BT tarayıcılarla yapılan çalışmalarda ise ÇKBTA'nın 3 mm'den küçük anevrizmaları saptamadaki duyarlılığı %81.8 ile %96.8 arasında değişmektedir.^{7,31}

ÇKBTA anevrizmaların preoperatif tanısı ve karakterizasyonu dışında, post-op kliplenmiş olgularda nüks-rezidüel anevrizmatik dolunun gösterilmesinde de rol oynamaktadır (Resim 4). Titanium klipsler BT ve MR'da diğer alaşımlara göre daha az artefakt oluşturmaktadır. ÇKBTA ile yapılan çalışmalarda post-op nüks-rezidü anevrizma saptanmasındaki duyarlılık %73 ile %87.5 arasında değişmektedir.^{32,33}

Çok kesitli BT tarayıcılardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak DSA'da da 3 boyutlu görüntülemelerin yapılabildiği 3D rotasyonel anjiyografi (3DRA)'nin son



Resim 4: A, Kliplenmiş baziler arter anevrizması olan olguda pot-op 5. yılda gerçekleştirilen kontrol amaçlı ÇKBTA incelemesinde VR görüntüde klip (beyaz ok) ve nüks-rezidü anevrizmaya ait dolun (siyah ok) izlenmektedir. B, Aynı olgunun DSA korelasyonunda benzer bulgular mevcuttur.

10 yıl içerisinde kullanımı giderek artmaktadır. 3DRA ile DSA'nın birlikte kullanıldığı durumlarda sadece konvansiyonel DSA'nın kullanıldığı durumlara göre daha fazla anevrizmanın tespit edildiği literatürde bildirilmektedir.^{34,35} Bu nedenle de 64 kesitli BTA ile 3DRA'nın karşılaştırıldığı çalışmalar her iki yöntemin daha dengeli mukayese edilmesine olanak sağlamaktadır.³⁶ McKinney ve ark. larının yapmış olduğu benzer çalışmada ÇKBTA'nın (64 kesitli) intrakranial anevrizmaların gösterilmesinde büyük olasılıkla 4 kesitli ve 16 kesitli BT tarayıcılara göre duyarlılığının daha yüksek olduğunu bildirmekle birlikte hala DSA-3DRA kombinasyonu kadar duyarlı olmadığını bildirmektedirler. Çünkü bu çalışmada da belirli lokalizasyondaki 3-4 mm'den küçük anevrizmalar gözden kaçabilmektedir.³⁶

Anevrizmaların saptanmasında ve karakterizasyonunda ÇKBTA'nın doğruluğunu etkileyen faktörler

Anatomik kapsama alanı

Tek kesitli spiral BT tarayıcılarla yapılan bazı çalışmalarda taranabilecek alanın sınırlı olmasından dolayı distal perikalozal ve PICA anevrizmaları gözden kaçabilmekteydi.³⁷ Ancak günümüz BT teknolojisinde böyle bir sorun bulunmamaktadır.

Anevrizma lokalizasyonu

SSD veya VR tekniklerinin kullanımı ile kemik yapının komşuluğundaki anevrizmalar (örn; paroftalmik ve posterior komünikan arter anevrizmaları) gözden kaçabilmektedir. Kavernoöz sinüs içerisindeki ve komşuluğundaki anevrizmaların da daha dikkatli incelenmesi ve MPR görüntüleriyle daha geniş pencere aralığında değerlendirilmesi gerekmektedir.^{37,38}

Anevrizma komşuluğundaki yapılar

Perianevrizmal kan veya hematoma lezyonunun görünebilirliğini azaltabilmektedir. Pencere ayarları dikkatli seçilerek bu sorunun üstesinden gelinebilir.²⁶

Anevrizma morfolojisi

Posterior komünikan ve anterior koroidal arter çıkımlarındaki vasküler infundibulum (damar proksimalindeki persistan fetal tip, anevrizmal olmayan genişleme) yanlışlıkla anevrizma olarak değerlendirilebilmektedir.³⁹ ÇKBTA anevrizma içerisinden çıkım gösteren dalların gösterilmesinde DSA kadar hassastır.⁴⁰ Kalsifikasyon ve intraarterial trombus ise BTA ile daha iyi gösterilebilmektedir.

Sıkı vasküler loop'lar özellikle MIP kalınlığının geniş olduğu (>3mm) durumlarda anevrizma gibi izlenebilmektedir. Bu durumlarda VR ve SSD rekonstrüksiyonlar veya MPR ve ince MIP görüntüleri problemi çözebilmektedir.

Gözlemcinin Deneyimi

Anevrizmaların BTA ile değerlendirilmesinde bir öğrenme eğrisi bulunmaktadır.³⁷ Jayaraman ve ark. başlangıç

ve takip eden 13 anevrizma için sensitiviteyi sırasıyla %69-84 olarak saptarken Pedersen ve ark. ise 1 yıllık deneyim sonunda sensitivitenin %88'den % 94'e çıktığını bildirmektedirler.⁴¹ White ve ark. ise serebral anevrizmaların BTA ile saptanmasında nöroradyologların radyologlara göre daha yüksek sensitiviteye sahip olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadığını bildirmektedirler.⁴²

Sonuç

ÇKBTA intrakranial anevrizmaların saptanmasında ve tedavi planlamasında değerli bir görüntüleme yöntemidir. Bununla birlikte değerlendirmede tecrübe önemlidir ve bir öğrenme eğrisi mevcuttur. Bu nedenle gözden kaçabilecek bir anevrizmanın sonuçları hasta ve hekim açısından yıkıcı olabilir. Radyologların uygulanan inceleme tekniğine, rekonstrüksiyon tekniklerine ve intrakranial vasküler anatomiye hakim olması ÇKBTA'nın anevrizma saptamadaki doğruluğunu ve güvenilirliğini artıracaktır.

Kaynaklar

1. Cloft HJ, Joseph GJ, Dion JE. Risk of cerebral angiography in patients with subarachnoid hemorrhage, cerebral aneurysm, and arteriovenous malformation: a meta-analysis. *Stroke* 1999 Feb;30(2):317-20.
2. Willinsky RA, Taylor SM, TerBrugge K, Farb RI, Tomlinson G, Montanera W. Neurologic complications of cerebral angiography: prospective analysis of 2,899 procedures and review of the literature. *Radiology*. 2003 May;227(2):522-8.
3. Strayle-Batra M, Skalej M, Wakhloo AK, Ernemann U, Klier R, Voigt K. Three-dimensional spiral CT angiography in the detection of cerebral aneurysm. *Acta Radiol*. 1998 May;39(3):233-8.
4. Young N, Dorsch NW, Kingston RJ, Markson G, McMahon J. Intracranial aneurysms: evaluation in 200 patients with spiral CT angiography. *Eur Radiol*. 2001;11(1):123-30.
5. Papke K, Kuhl CK, Fruth M, Haupt C, Schlunz-Hendann M, Sauner D, Fiebich M, Bani A, Brassel F. Intracranial aneurysms: role of multidetector CT angiography in diagnosis and endovascular therapy planning. *Radiology*. 2007 Aug;244(2):532-40.
6. Uysal E, Oztora F, Ozel A, Erturk SM, Yildirim H, Basak M. Detection and evaluation of intracranial aneurysms with 16-row multislice CT angiography: comparison with conventional angiography. *Emerg Radiol*. 2008 Sep;15(5):311-6.
7. Li Q, Lv F, Li Y, Luo T, Li K, Xie P. Evaluation of 64-section CT angiography for detection and treatment planning of intracranial aneurysms by using DSA and surgical findings. *Radiology*. 2009 Sep;252(3):808-15.
8. Wintermark M, Uske A, Chalaron M, Regli L, Maeder P, Meuli R, Schnyder P, Binaghi. Multislice computerized tomography angiography in the evaluation of intracranial aneurysms: a comparison with intraarterial digital subtraction angiography. *J Neurosurg*. 2003 Apr;98(4):828-36.
9. Kopp AF, Klingenberg-Regn K, Heuschmid M, et al. Multislice computed tomography: Basic principles and clinical applications. *Electromedica* 2000;68:94-104.
10. Cademartiri F, Luccichenti G, van Der Lugt A, Pavone P, Pattynama PM, de Feyter PJ, Krestin GP. Sixteen-row multislice computed tomography: basic concepts, protocols, and enhanced clinical applications. *Semin Ultrasound CT MR*. 2004 Feb;25(1):2-16.
11. Prokop M. *J Comput Assist Tomogr*. 1999 Nov;23 Suppl 1:S101-10. Protocols and future directions in imaging of renal artery stenosis: CT angiography.
12. Amstutz DR, Pitt AM, Partovi S, Fiorella D, Blackburn JC. Utility of power injector for intracranial computed tomography angiography. *Indianola, Medrad Inc.*;2003
13. van Hoe L, Marchal G, Baert AL, Gyspeerd S, Mertens L. Determination of scan delay time in spiral CT-angiography: utility of a test bolus injection. *J Comput Assist Tomogr*. 1995 Mar-Apr;19(2):216-20.
14. Rubin GD. Three-dimensional helical CT angiography. *Radiographics*. 1994 Jul;14(4):905-12.
15. Tomandl BF, Kv̇stner NC, Schempershofe M, Huk WJ, Strauss C, Anker L, Hastreiter. CT angiography of intracranial aneurysms: a focus on postprocessing. *Radiographics*. 2004 May-Jun;24(3):637-55.
16. Prokop M, Shin HO, Schanz A, Schaefer-Prokop CM. Use of maximum intensity projections in CT angiography: a basic review. *Radiographics*. 1997 Mar-Apr;17(2):433-51.
17. Johnson PT, Heath DG, Kuszyk BS, Fishman EK. CT angiography with volume rendering: advantages and applications in splanchnic vascular imaging. *Radiology*. 1996 Aug;200(2):564-8.
18. Calhoun PS, Kuszyk BS, Heath DG, Carley JC, Fishman EK. Three-dimensional volume rendering of spiral CT data: theory and method. *Radiographics*. 1999 May-Jun;19(3):745-64.
19. Napel S, Marks MP, Rubin GD, Dake MD, McDonnell CH, Song SM, Enzmann DR, Jeffrey. CT angiography with spiral CT and maximum intensity projection. *Radiology*. 1992 Nov;185(2):607-10.
20. Liang EY, Chan M, Hsiang JH, Walkden SB, Poon WS, Lam WW, Metreweli C. Detection and assessment of intracranial aneurysms: value of CT angiography with shaded-surface display. *Am J Roentgenol*. 1995 Dec;165(6):1497-502.
21. Addis KA, Hopper KD, Iyriboz TA, Kasales CJ, Liu Y, Wise SW. Optimization of shaded surface display for CT angiography. *Acad Radiol*. 2001 Oct;8(10):976-81.
22. Calhoun PS, Kuszyk BS, Heath DG, Carley JC, Fishman EK. Three-dimensional volume rendering of spiral CT data: theory and method. *Radiographics*. 1999 May-Jun;19(3):745-64.
23. Tomandl BF, Hastreiter P, Rezk-Salama C, et al. *Radiographics*. Local and remote visualization techniques for interactive direct volume rendering in neuroradiology. 2001 Nov-Dec;21(6):1561-72.
24. Li Q, Lv F, Li Y, Li K, Luo T, Xie P. Subtraction CT angiography for evaluation of intracranial aneurysms: comparison with conventional CT angiography. *Eur Radiol*. 2009 Sep;19(9):2261-7.
25. Korogi Y, Takahashi M, Katada K, et al. Intracranial aneurysms: detection with three-dimensional CT angiography with volume rendering--comparison with conventional angiographic and surgical findings. *Radiology*. 1999 May;211(2):497-506.
26. Villablanca JP, Martin N, Jahan R, et al. Volume-rendered helical computerized tomography angiography in the detection and characterization of intracranial aneurysms. *J Neurosurg*. 2000 Aug;93(2):254-64.
27. Teksam M, McKinney A, Casey S, Asis M, Kieffer S, Truwit CL. Multi-section CT angiography for detection of cerebral aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2004 Oct;25(9):1485-92.
28. Tipper G, U-King-Im JM, Price SJ, et al. Detection and evaluation of intracranial aneurysms with 16-row multislice CT angiography. *Clin Radiol*. 2005 May;60(5):565-72.
29. Yoon DY, Lim KJ, Choi CS, et al. Detection and characterization of intracranial aneurysms with 16-channel multidetector row CT angiography: a prospective comparison of volume-rendered images and digital subtraction angiography. *Am J Neuroradiol*. 2007 Jan;28(1):60-7.
30. Chen W, Wang J, Xing W, Xu Q, Qiu J, et al. Accuracy of 16-row multislice computerized tomography angiography for assessment of intracranial aneurysms. *Surg Neurol*. 2009 Jan;71(1):32-42.
31. Lubicz B, Levivier M, François O, Thoma P, Sadeghi N, et al. Sixty-four-row multisection CT angiography for detection and evaluation of ruptured intracranial aneurysms: interobserver and intertechnique reproducibility. *Am J Neuroradiol*. 2007 Nov-Dec;28(10):1949-55.
32. Uysal E, Ozel A, Erturk SM, Kirdar O, Basak M. Comparison of multislice computed tomography angiography and digital subtraction angiography in the detection of residual or recurrent aneurysm after surgical clipping with titanium clips. *Acta Neurochir (Wien)*. 2009 Feb;151(2):131-5.

33. Tomura N, Sakuma I, Otani T, Nisii T, Sugawara M, et al. Evaluation of Postoperative Status after Clipping Surgery in Patients with Cerebral Aneurysm on 3-Dimensional-CT Angiography with Elimination of Clips. *J Neuroimaging*. 2009 Nov 3.
34. Sugahara T, Korogi Y, Nakashima K, Hamatake S, Honda S, Takahashi M. Comparison of 2D and 3D digital subtraction angiography in evaluation of intracranial aneurysms. *Am J Neuroradiol*. 2002 Oct;23(9):1545-52.
35. Hochmuth A, Spetzger U, Schumacher M. Comparison of three-dimensional rotational angiography with digital subtraction angiography in the assessment of ruptured cerebral aneurysms. *Am J Neuroradiol*. 2002 Aug;23(7):1199-205.
36. McKinney AM, Palmer CS, Truwit CL, Karagulle A, Teksam M. Detection of aneurysms by 64-section multidetector CT angiography in patients acutely suspected of having an intracranial aneurysm and comparison with digital subtraction and 3D rotational angiography. *Am J Neuroradiol*. 2008 Mar;29(3):594-602.
37. Goddard AJ, Tan G, Becker. Computed tomography angiography for the detection and characterization of intra-cranial aneurysms: current status. *J Clin Radiol*. 2005 Dec;60(12):1221-36.
38. Dammert S, Krings T, Moller-Hartmann W, Ueffing E, Hans FJ, et al. Detection of intracranial aneurysms with multislice CT: comparison with conventional angiography. *Neuroradiology*. 2004 Jun;46(6):427-34.
39. Ng SH, Wong HF, Ko SF, Lee CM, Yen PS, et al. CT angiography of intracranial aneurysms: advantages and pitfalls. *Eur J Radiol*. 1997 Jul;25(1):14-9.
40. Villablanca JP, Jahan R, Hooshi P, Lim S, Duckwiler G, et al. Detection and characterization of very small cerebral aneurysms by using 2D and 3D helical CT angiography. *Am J Neuroradiol*. 2002 Aug;23(7):1187-98.
41. Pedersen HK, Bakke SJ, Hald JK, Skälpe IO, Anke IM, et al. CTA in patients with acute subarachnoid haemorrhage. A comparative study with selective, digital angiography and blinded, independent review. *Acta Radiol*. 2001 Jan;42(1):43-9.
42. White PM, Wardlaw JM, Lindsay KW, Sloss S, Patel DK, Teasdale EM. The non-invasive detection of intracranial aneurysms: are neuroradiologists any better than other observers? *Radiol*. 2003 Feb;13(2):389-96.