

# Sağlıklı erişkinlerde serebral kan akımının karotid ve vertebral arter Doppler ultrasonografisi yoluyla ölçülmesi

Burhan Yazıcı, Beşir Erdoğan, Ali Tugay

## AMAÇ

Sağlıklı kişilerde ekstrakraniyal karotid ve vertebral arterlerdeki kan akım miktarını Doppler ultrasonografi ile ölçerek normal serebral kan akım miktarını belirlemek.

## GEREÇ VE YÖNTEM

Yaşları 20 ile 80 arasında değişen (48 erkek, 48 kadın; her iki cinsiyette ortalama yaş  $49.8 \pm 17.1$ ) 96 kişilik sağlıklı bir grupta prospektif bir çalışma yapıldı. Ana, internal ve eksternal karotid ve vertebral arterler (sırasıyla AKA, İKA, EKA ve VA) Doppler ultrasonografi ile incelendi. Tüm damarların pik sistolik hız (PSH), diyastol sonu hız (DSH), rezistif indeks (RI) ve lümen çapları ölçüldü, akım miktarları hesaplandı. Yaşın bu parametreler üzerindeki etkisi araştırıldı.

## BULGULAR

Ana karotid arter, İKA ve VA'da akım hızları ve akım volümlerinde yaşla birlikte belirgin azalma vardı. Tüm karotid ve vertebral arter çaplarında yaşla birlikte anlamlı artış vardı. RI'de yaşla birlikte anlamlı değişiklik saptanmadı. Lümen çapları AKA, İKA ve EKA erkeklerde kadınlara göre anlamlı bir şekilde yüksek bulundu. Kadınlarda İKA'da PSH ve DSH, VA'da DSH daha yüksekti. Beyni besleyen arterlerde akım volümlerinde cinsiyetler arasında belirgin farklılık gözlenmezken, EKA'da kan akımı volümleri erkeklerde kadınlara göre anlamlı derecede yüksek bulundu.

## SONUÇ

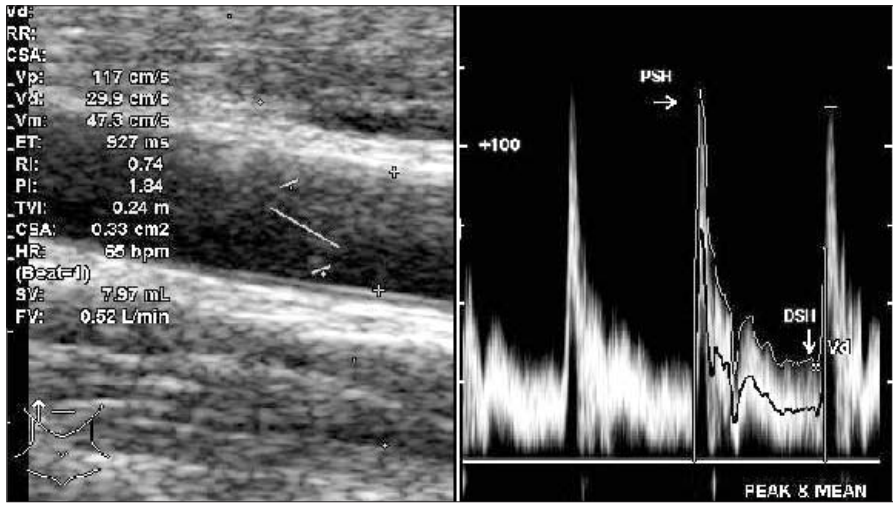
Sağlıklı kişilerde ekstrakraniyal karotid ve vertebral arter kan akım miktarları Doppler ultrasonografi ile ölçülerek normal serebral kan akım miktarı belirlendi. Bu verilerin değişmiş serebral kan akımı ile ilgili serebrovasküler hastalığı olan olguların değerlendirilmesinde faydalı olacağını düşünüyoruz.

Anahtar sözcükler: • ultrasonografi, Doppler • bölgesel kan akımı • karotid arterler

İskemik serebrovasküler hastalıkların tanısında ve takibinde serebral kan akım miktarının ölçümü önemli bir parametredir. Daha önceki çalışmalarda, sağlıklı bireylerde ekstrakraniyal karotid ve vertebral arterlerdeki kan akım miktarı konusunda farklı sonuçlar bildirilmiş olup yaşla birlikte kan akım miktarındaki değişiklik tartışma konusu olmuştur (1-4). Bu nedenle bu çalışmada, pratik, non invazif, ucuz, hasta başında uygulanabilir ve tekrarlanabilir bir görüntüleme yöntemi olan Doppler ultrasonografi ile, sağlıklı bireylerde serebral kan akım miktarını belirlemek ve yaşlanmanın kan akımı üzerindeki etkisini ortaya koymak amaçlanmıştır.

## Gereç ve yöntem

Çalışmaya yaşları 20 ile 80 arasında değişen ( $49.8 \pm 17.1$ , yıl) 48 kadın, 48 erkek olmak üzere toplam 96 kişi katıldı. Yaş ve cinsiyet açısından mümkün olduğu kadar homojen bir dağılım oluşturabilmek için 5'er yaş aralıklarla 12 grup oluşturuldu. Her bir grup 4 kadın ve 4 erkekte oluşmaktaydı. Çalışmaya katılanların hiçbirinde sigara, alkol kullanımı, diyabet ya da hipertansiyon öyküsü yoktu. Sistemik kan basınçları ölçülen katılımcıların hiçbirinde taşikardi yoktu ve sistolik kan basınçları da 135 mmHg üstünde değildi. Gözlemciler arası ölçüm farklılıklarından kaçınmak için tüm ölçümler deneyimli tek radyolog tarafından ve aynı Doppler ultrasonografi cihazı (Hitachi EUB 6500, Japan) ve standart 7-MHz lineer transdüser kullanılarak yapıldı. Her olgunun incelenmesine supin pozisyonda 15 dakikalık dinlenmeden sonra başlandı. Akım ölçümleri çoğunlukla ana karotid arterler (AKA) için bifürkasyonun 2 cm proksimalinden, internal karotid arterler (İKA) ve eksternal karotid arterler (EKA) için bifürkasyonun yaklaşık 1-2 cm distalinden, vertebral arterler (VA) için ise 4-5. servikal vertebra transvers prosesleri arasından sagittal planda, damarların merkezinden bilateral olarak yapıldı. Karotid arter ölçümlerinde baş yaklaşık 10o, VA ölçümlerinde yaklaşık 25-40 o kontrateral tarafa çevirildi. Hatasız bir şekilde ölçüm yapabilmek için, damar çapları diyastol sonunda alınan magnifiye B-mod görüntüler üzerinden iki ekojen intima arasındaki mesafenin lümenine dik olarak ölçülmesi ile elde edildi. Bu ölçümlerden sonra, akım hızları Doppler açısı standart 60o'de tutularak elde edildi. Örnek aralığı (sample volume) lümenin çoğunu içine alacak şekilde geniş tutuldu. Birbirini tekrar eder nitelikte aynı formda üç dalga formu



**Şekil.** Doppler ultrasonografik olarak AKA'da damar çapı, PSH, DSH ve hacim ölçümü görülmektedir. Ölçüm düz bir segmentte, sagittal planda Doppler açısı standart 60°'de tutulacak şekilde, örnekleme alanı lümenin çoğunu içine alacak şekilde geniş tutularak yapılmaktadır. Damar çapı ölçüldükten sonra kan akım hacminin otomatik olarak hesaplanış şekli görülmektedir (AKA: Ana karotid arter, PSH: Pik sistolik akım hızı, DSH: Diyastol sonu akım hızı).

elde edilmesi doğru spektrum örneği olarak kabul edildi. Her bir damarın pik sistolik akım hızı (PSH), diyastol sonu akım hızı (DSH), rezistif indeksi (RI), kan akım hacimi (mL/dk) ve damar çapı otomatik olarak hesaplandı (Şekil). Bilateral IKA ve VA kan akım miktarları toplanarak total serebral kan akım miktarı hesaplandı. Çalışmanın non-invazif karakterde kalması ve katılımcılar için stres yaratmamak için hematokrit, arteriyel kan gazı gibi parametreler bakılmadı.

İstatistiksel analiz için "Statistical Package for Social Sciences Computer Program"ın 10.0 versiyonu (SPSS Inc., Chicago, IL) kullanıldı. Tüm parametreler ortalama  $\pm$  SD şeklinde

gösterildi. Sağ ve sol ekstrakraniyal damarlar ve cinsiyetler arasında akım parametreleri açısından anlamlı farklılık olup olmadığını ortaya koymak için Student's t-testi kullanıldı.  $P \leq 0.05$  anlamlı kabul edildi.

### Bulgular

Tüm katılımcılarda B-mod görüntüleri ve hacim ölçümleri teknik olarak başarılı bir şekilde gerçekleştirildi. İki olgu karotid bifurkasyonunun çok yüksek olması nedeniyle çalışmaya, 3 olgu da tek taraflı vertebral arter kan akım miktarlarının çok düşük olması nedeniyle değerlendirmeye alınmadı. Ortalama incele süresi 15-20 dakika arasında değişmekteydi.

Lümen çapları AKA, IKA ve EKA'da erkeklerde kadınlara göre anlamlı bir şekilde yüksek bulundu. Ortalama AKA çapı erkeklerde  $6.7 \pm 0.8$  mm, kadınlarda  $6.3 \pm 0.7$  mm ( $p=0.012$ ), IKA çapı erkeklerde  $4.7 \pm 0.6$  mm, kadınlarda  $4.4 \pm 0.5$  mm ( $p=0.03$ ), EKA çapı erkeklerde  $4.4 \pm 0.6$  mm, kadınlarda  $3.8 \pm 0.6$  mm ( $p=0.000$ ) olarak bulundu. VA çaplarında her iki cins arasında anlamlı fark yoktu. Erkeklerde VA çapı  $3.6 \pm 0.4$  mm, kadınlarda  $3.5 \pm 0.4$  mm idi ( $p=0.060$ ).

Kadınlarda IKA'da PSH ve DSH, VA'da DSH erkekler için daha yüksekti. Kadınlarda IKA'da PSH  $75.8 \pm 15.6$  cm/sn, erkeklerde  $64.3 \pm 12.3$  cm/sn ( $p=0.000$ ), kadınlarda IKA'da DSH  $30.6 \pm 6.9$  cm/sn, erkeklerde ise  $24.2 \pm 6.3$  cm/sn ( $p=0.000$ ). VA'da DSH kadınlarda  $21.1 \pm 17.5$  cm/sn, erkeklerde  $16.0 \pm 3.6$  cm/sn ( $p=0.045$ ).

Ana karotid, IKA ve VA'da kan akım volümleri sırasıyla  $417.8 \pm 100$  ml/dk,  $231.4 \pm 59$  ml/dk ve  $85.8 \pm 37.3$  ml/dk, total serebral kan akım miktarı ise  $640 \pm 105$  ml/dk olarak bulundu. AKA, IKA ve VA'da akım volümlerinde cinsiyetler arasında belirgin farklılık gözlenmedi. EKA'da kan akımı volümleri erkeklerde kadınlara göre anlamlı derecede yüksekti (erkeklerde  $144.4 \pm 52.5$  ml/dk, kadınlarda  $122.2 \pm 49.1$  ml/dk,  $p=0.035$ ). Ana karotid arter, ICA ve VA'da akım hızları ve akım volümlerinde yaşla birlikte belirgin azalma vardı. Tüm karotid ve vertebral arter çaplarında yaşla birlik-

**Tablo 1.** Çeşitli yaş gruplarında akım hızı, RI, damar çapı, akım miktarı için referans veriler görülmektedir

Damar	n	PSH (cm/sn)	EDH (cm/sn)	RI	Çap (mm)	Volüm (mL/dk)
CCA (21-50)	48	98 $\pm$ 20	26 $\pm$ 6	0.78 $\pm$ 0.06	6.2 $\pm$ 0.6	427 $\pm$ 106
CCA (51-80)	48	74 $\pm$ 15	20 $\pm$ 5	0.80 $\pm$ 0.05	6.8 $\pm$ 0.8	408 $\pm$ 95
ECA (21-50)	48	72 $\pm$ 15	16 $\pm$ 5	0.78 $\pm$ 0.06	4.1 $\pm$ 0.5	128 $\pm$ 45
ECA (51-80)	48	73 $\pm$ 19	14 $\pm$ 5	0.80 $\pm$ 0.05	4.1 $\pm$ 0.7	139 $\pm$ 57
ICA (21-50)	48	76 $\pm$ 14	30 $\pm$ 7	0.60 $\pm$ 0.06	4.5 $\pm$ 0.5	238 $\pm$ 57
ICA (51-80)	48	65 $\pm$ 14	25 $\pm$ 6	0.61 $\pm$ 0.05	4.6 $\pm$ 0.7	225 $\pm$ 60
VA (21-50)	48	53 $\pm$ 10	18 $\pm$ 5	0.65 $\pm$ 0.07	3.5 $\pm$ 0.4	86 $\pm$ 34
VA (51-80)	48	48 $\pm$ 12	15 $\pm$ 17	0.68 $\pm$ 0.05	3.6 $\pm$ 0.5	77 $\pm$ 41

CCA = ana karotid arter, ECA = eksternal karotid arter, ICA = internal karotid arter, VA = vertebral arter, PSH = pik sistolik hız, EDH = diyastol sonu hız, RI = rezistif indeks

te anlamlı artış vardı. RI' de yaşla birlikte anlamlı değişiklik saptanmadı.

Her iki cinsiyette de sağ ve sol ekstrakraniyal damarlarda akım hızı ve diğer akım parametreleri arasında anlamlı farklılık yoktu.

Beşer yaş aralıklarla oluşturulan gruplar kan akım parametreleri yönünden birbiriyle karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı fark görülmezken 20-50 ve 51-80 yaş arası 2 grup oluşturulduğunda ana karotid arter, IKA ve VA'da akım hızları ve akım hacimlerinde yaşla birlikte anlamlı azalma, damar çaplarında yaşla birlikte anlamlı artış olduğu görüldü (Tablo 1).

## Tartışma

Karotid ve vertebral arter hastalıklarının tanısında ultrasonografi en önemli görüntüleme yöntemidir. Karotid ve vertebral arterlerin Doppler ultrasonografi ile değerlendirilmesi non-invazif ve tüm hastalara kolaylıkla uygulanabilen bir yöntem olup vertebral ve karotid arter hastalıklarıyla uğraşan hekimlere önemli tanısal veriler sunar (1). Manyetik rezonans anjiyografi, bilgisayarlı tomografi anjiyografi, digital çıkartma anjiyografisi ve pozitron emisyon tomografi gibi diğer görüntüleme yöntemlerinin serebral kan akımının değerlendirilmesine kullanılabileceği bildirilmiş olmasına rağmen, bazılarının radyasyon riski taşıması, bazılarının invazif olması, bazılarının hasta başı değerlendirme ve

takip ölçümleri yapma bakımından uygun olmaması, bu yöntemlerin en önemli dezavantajlarından (5-7). Doppler ultrasonografi ise, pratik, non invazif ve ucuz olması, hasta başında uygulanabilir ve tekrarlanabilir olması bakımından diğer görüntüleme yöntemlerinden üstündür. En önemli dezavantajı güvenilirliğinin incelemeyi yapanın deneyim ve becerisine bağlı olmasıdır. Ayrıca yüksek karotid arter bifurkasyonu, IKA'da plak ya da stenoz, kinkleşme ya da tortiozite varlığı sonografik olarak serebral kan akımı ölçümünü zorlaştırabilir (8).

İskemik serebrovasküler hastalıkların tanısında ve takibinde serebral kan akım miktarı ölçümü önemli bir parametredir. Bununla birlikte normal akım miktarı konusunda bir standardizasyon yoktur. Ayrıca yaşla birlikte serebral kan akım miktarındaki değişiklik tartışma konusu olmuştur (1-4).

Sağlıklı bireylerde her iki vertebral arterdeki toplam kan akım miktarı (net vertebral arter kan akımı) 200 mL/dk'nın altında olan kişilerde vertebroziler yetmezliğe eğilim olabileceğinin belirtilmesine karşın (9), net vertebral arter kan akımının 100 mL/dk'nın üstünde olmasının normal olduğunu bildiren çalışmalar da vardır (10, 11).

Bazı yayınlarda total serebral kan akım miktarının sağlıklı kişilerde ömür boyu değişmediği rapor edilmekle beraber (12-14), bizim çalışmamızda ise gerek total serebral kan

akım miktarında, gerekse AKA, IKA ve VA'da akım hızları ve akım miktarlarında yaşla birlikte anlamlı azalma vardı. Sağlıklı kişilerde serebral kan akım miktarı ölçümüyle ilgilenen çoğu araştırmacı da bizim çalışmamızın sonuçlarına benzer sonuçlar bildirmiştir (4, 15-17). Yaşlanmayla birlikte serebral kan akım miktarının azaldığı belirtilen çalışmalarda, kan akım miktarındaki azalma, progressif nöron kaybı sonucu gelişen atrofi nedeniyle beyin kanlanması ihtiyacındaki azalmaya bağlanmıştır (15-17).

Çalışmamızda elde edilen  $640 \pm 105$  ml/dk'lık total serebral kan akımı miktarı literatürdeki birçok çalışma ile benzerlik gösteriyordu. Total serebral kan akım miktarını Dorfler ve ark.  $630 \pm 97$  ml/dk (3), Schoning ve ark.  $701 \pm 104$  ml/dk (4), Scheel ve ark.  $644 \pm 123$  ml/dk (16) olarak bildirmişlerdir.

Kadınlarda vertebral (7) ve karotis (18, 19) arter kan akım miktarlarının erkeklerden daha düşük olduğunu bildiren raporlar olmasına karşın, bizim verilerimize göre gerek total serebral kan akımı miktarında, gerekse net IKA ve VA kan akım miktarlarında cinsiyetler arasında anlamlı farklılık yoktu. Bu bulgular sağlıklı bireyler için daha önceden rapor edilen verilerle uyumlu idi (10, 16, 20).

Çalışmamızda IKA'da, kadınlarda PSH ve DSH, erkeklerde ise lümen çapları daha yüksekti. Ancak akım hacimlerinde cinsiyetler arasında belir-

**Tablo 2.** CCA, ECA, ICA ve VA için yayınlanmış kan akım miktarı sonuçları

Yazarlar, yıl	n	Yaş	CCA	ICA	N-ICA	VA	N-VA	Total	YBD
Schoning M ve ark. 1994	48	26-78	470±120	265±26	530±98	85±33	175±56	701±104	↔
Seidel E ve ark. 1999	49	31-84	-	-	-	91±37	182±56	-	-
Scheel P ve ark. 2000	78	20-85	-	-	499±108	-	158±43	644±123	↓
Weskott HP ve ark. 1997	205	20-87	417±87	-	-	-	-	-	-
Dorfler P ve ark. 2000	85	-	-	238±45	-	82±44	-	630±97	↓
Acar ve ark. 2005	20	50-75	-	-	-	-	180±64	-	-
Yazıcı ve ark. 2005	96	20-80	418±100	231±59	476±85	85±37	165±53	640±105	↓

CCA = ana karotid arter, ECA = eksternal karotid arter, ICA = internal karotid arter, VA= vertebral arter, Total = total serebral kan akım miktarı, YBD = kan akım miktarında yaşa bağlı değişiklik, ↓ = kan akım miktarında yaşa bağlı azalma, ↔ = kan akım miktarında yaşa bağlı değişiklik olmaması, - = belirtilmemiş ya da bakılmamış parametreler.

gin farklılık yoktu. Hacim = damar çapı x akım hızı olduğundan, akım hacimlerinde bu eşitliğin korunabilmesi için damar çapının küçük olduğu yerde akım hızlarının yüksek olması gerekmektedir. Kadınlardaki IKA'da PSH ve DSH yüksekliğinin nedeni bu şekilde kolayca anlaşılabilir. Cinsiyetler arasında anlamlı çap farkı olmamakla beraber, erkeklerde VA çaplarının biraz daha yüksek olması, kadınlardaki VA DSH yüksekliğini de aynı mekanizma ile açıklamaktadır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen yaşla birlikte damar çapı artışının, ilerleyen yaşla birlikte ortaya çıkan arteriyosklerotik değişikliklerin damar çapı elastikiyetini azaltmasına bağlı olduğunu düşünüyoruz.

Çalışmamızda her iki cinsiyette beyni besleyen sağ ve sol ekstrakranial damarlarda akım hızı ve akım parametreleri arasında anlamlı farklılık olmasına rağmen EKA akım hızı ve akım miktarları erkeklerde kadınlara göre daha yüksek bulundu. Buna benzer şekilde akım hızlarının erkeklerde sol AKA'da (14, 21) ve sağ AKA'da (22) kadınlara göre daha yüksek olduğunu bildiren çalışmalar da vardır. Bu uyumsuzluğun nedeni şu anda bilinmemektedir. Tablo 2'de literatürde AKA, IKA, EKA ve VA için bildirilmiş kan akım miktarları görülmektedir.

Vertebral arter çapları konusunda da farklı sonuçlar bildirilmiştir. Bazı yazarlar sağ VA'nın (10, 16), bazıları sol VA'nın (23) daha dar kalibrede olduğunu, bazıları ise iki taraf arasında belirgin çap farkı olmadığını belirtmişlerdir (9, 24). Bizim çalışmamızda da sağ ve sol VA arasında anlamlı çap farkı yoktu.

Tek taraflı vertebral arter kan akım miktarının 30-40 mL/dk'nın altında

olmasının vertebral arter hipoplazisine işaret edeceği bildirilmiştir (4). Çalışmamızda asemptomatik olmalarına rağmen 2 olguda sol, 1 olguda sağ VA'da akım miktarının 40 mL/dk'nın altında olması nedeniyle 3 olgu değerlendirilmeye alınmadı. Bu üç olgunun vertebral arter kan akım miktarlarının 40 mL/dk'nın altında olmasına rağmen asemptomatik olmaları ve diğer taraf vertebral arter kan akım miktarlarının da 87-95 mL/dk arasında olması bu durumun varyant olabileceğini düşündürdü.

Ekstakranial karotid ve vertebral arter Doppler incelemenin temel endikasyonları vertebrobaziler yetmezlik (24) arteriyovenöz malformasyon

(25), intrakranial kanama (26), travma ve intrakranial hipertansiyon (27), arteriyosklerotik lezyonlar ve endarterektomi, şant sonrası Doppler incelemesi (28) şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada edilen veriler literatür verilerinin büyük çoğunluğuyla benzerlik göstermektedir (10, 15-17). Bu nedenle bu verilerin vertebrobaziler yetmezlik, arteriyovenöz malformasyon, intrakranial kanama, intrakranial hipertansiyon, serebral hasar, ve endarterektomi gibi serebral hemodinamiyi etkilediği düşünülen her türlü patolojiye sahip hastalarda serebral hemodinaminin değerlendirilmesinde ve takibinde faydalı bilgiler sağlayacağını düşünüyoruz.

#### CEREBRAL BLOOD FLOW MEASUREMENTS OF THE EXTRACRANIAL CAROTID AND VERTEBRAL ARTERIES WITH ULTRASONOGRAPHY IN HEALTHY ADULTS

**PURPOSE:** To establish normal cerebral blood flow volume by measuring flow volume of the extracranial carotid and vertebral arteries using Doppler ultrasonography in healthy adults.

**MATERIALS AND METHODS:** A prospective study was performed with a group of 96 healthy adults aged 20 to 80 years (48 women, 48 men; mean age of all patients, 49.8 ± 17.1). The common, external, and internal carotid arteries and the vertebral arteries (CCA, ECA, ICA, and VA, respectively) were examined using Doppler ultrasonography. Peak systolic velocity (PSV), end diastolic velocity (EDV), resistive index (RI), and luminal diameters of the vessels were measured, and flow volumes were calculated in all the arteries. The influence of age on these parameters was also investigated.

**RESULTS:** In the CCA, ICA, and VA, all flow velocities and flow volumes decreased significantly with an increase in age. The luminal diameters of the carotid and vertebral arteries increased significantly with aging, while there was no significant alteration in the RI. The luminal diameters of the CCA, ICA, and ECA were significantly smaller in women than in men. PSV and EDV in the ICA, and EDV in the VA were significantly higher in men. There was no gender-linked difference in flow volumes of the brain-feeding arteries, however, in the ECA flow volumes were significantly higher in women.

**CONCLUSION:** Normal cerebral blood flow volume was established by measuring the flow volume of the ECA and VA with Doppler ultrasonography in healthy adults. We believe that these data can be useful in evaluating cases with cerebrovascular disease, which are related to altered cerebral blood flow volume.

Key words: • ultrasonography, Doppler • regional blood flow • carotid arteries

Diagn Interv Radiol 2005; 11:195-198

#### Kaynaklar

1. Landwehr P, Schulte O, Voshage G. Ultrasound examination of carotid and vertebral arteries. Eur Radiol 2001; 11:1521-1534.
2. Buijs PC, Krabbe-Hartkamp MJ, Bakker CJ, et al. Effect of age on cerebral blood flow: measurement with ungated two-dimensional phase-contrast MR angiography in 250 adults. Radiology 1998; 209:667-674.
3. Dorfler P, Puls I, Schliesser M, Maurer M,

- Becker G. Measurement of cerebral blood flow volume by extracranial sonography. J Cereb Blood Flow Metab 2000; 20:269-271.
4. Schoning M, Walter J, Scheel P. Estimation of cerebral blood flow through color duplex sonography of the carotid and vertebral arteries in healthy adults. Stroke 1994; 25:17-22.
5. Sakoh M, Rohl L, Gyldensted C, Gjedde A, Ostergaard L. Cerebral blood flow and blo-

- od volume measured by magnetic resonance imaging bolus tracking after acute stroke in pigs: comparison with [(15)O]H(2)O positron emission tomography. Stroke 2000; 31:1958-1964.
6. Esteban JM, Cervera V. Perfusion CT and angio CT in the assessment of acute stroke. Neuroradiology 2004; 46:705-715.
7. Pötin M, Gailloud P, Bidaut L, et al. CT angiography, MR angiography and rotational digital subtraction angiography for vo-

- lumetric assessment of intracranial aneurysms. An experimental study. *Neuroradiology* 2003; 45:404-409.
8. Scheel P, Ruge C, Petruch UR, Schoning M. Color duplex measurement of cerebral blood flow volume in healthy adults. *Stroke* 2000; 31:147-150.
  9. Bendick PJ, Glover JL. Vertebrobasilar insufficiency: evaluation by quantitative duplex flow measurements. A preliminary report. *J Vasc Surg* 1987; 5:594-600.
  10. Schoning M, Hartig B. Age dependence of total cerebral blood flow volume from childhood to adulthood. *J Cereb Blood Flow Metab* 1996; 16:827-833.
  11. Seidel E, Eicke BM, Tettenborn B, Krumpalauer F. Reference values for vertebral artery flow volume by duplex sonography in young and elderly adults. *Stroke* 1999; 30:2692-2696.
  12. Marchal G, Rioux P, Petit-Taboue MC. Regional cerebral oxygen consumption, blood flow, and blood volume in healthy human aging. *Arch Neurol* 1992; 49:1013-1020.
  13. Kashimada A, Machida K, Honda N, et al. Measurement of cerebral blood flow with two-dimensional cine phase-contrast MR imaging: evaluation of normal subjects and patients with vertigo. *Radiat Med* 1995; 13:95-102.
  14. Zbornikova V, Lassvik C. Duplex scanning in presumably normal persons of different ages. *Ultrasound Med Biol* 1986; 12:371-378.
  15. Matsuda H, Maeda T, Yamada M, Gui LX, Tonami N, Hisada K. Age-matched normal values and topographic maps for regional cerebral blood flow measurements by Xe-133 inhalation. *Stroke* 1984; 15:336-342.
  16. Scheel P, Ruge C, Schoning M. Flow velocity and flow volume measurements in the extracranial carotid and vertebral arteries in healthy adults: reference data and the effects of age. *Ultrasound Med Biol* 2000; 26:1261-1266.
  17. Schebesch KM, Simka S, Woertgen C, Brawanski A, Rothoerl RD. Normal values of volume flow in the internal carotid artery measured by a new angle-independent Doppler technique for evaluating cerebral perfusion. *Acta Neurochir (Wien)* 2004; 146:983-986.
  18. Eicke BM, Tegeler CH. Ultrasonic quantitative flow volumetry of the carotid arteries: initial experience with color flow M-mode system. *Cerebrovasc Dis* 1995; 5:145-149.
  19. Weskott HP, Holsing K. US-based evaluation of hemodynamic parameters in the common carotid artery: a nomogram trial. *Radiology* 1997; 205:353-359.
  20. Schoning M, Hartig B. The development of hemodynamics in the extracranial carotid and vertebral arteries. *Ultrasound Med Biol* 1998; 24:655-662.
  21. Donis J, Graf M, Sluga E. Flow measurements in extracranial carotid arteries by means of duplex sonography. Results in normal subjects. *Ultraschall Med* 1988; 9:216-222.
  22. Chu BC, Narita A, Aoki K, Yoshida T, Warabi T, Miyasaka K. Flow volume in the common carotid artery detected by color duplex sonography: an approach to the normal value and predictability of cerebral blood flow. *Radiat Med* 2000; 18:239-244.
  23. Bartels E. Duplex sonography of the vertebral arteries. 2. Clinical application. *Ultraschall Med* 1991; 12:63-69.
  24. Acar M, Degirmenci B, Yuçel A, Albayrak R, Haktanir A. An evaluation of internal carotid artery and cerebral blood flow volume using color duplex sonography in patients with vertebral artery hypoplasia. *Eur J Radiol* 2005; 53:450-453.
  25. Schreiber SJ, Doepp F, Valdueza JM. Multimodal ultrasound assessment of cerebral hemodynamics in a patient with a diffuse cerebral angiomatosis. *Ultrasound Med Biol* 2003; 29:501-505.
  26. Rise IR, Risoe C, Kirkeby OJ. Cerebrovascular effects of high intracranial pressure after moderate hemorrhage. *J Neurosurg Anesthesiol* 1998; 10:224-230.
  27. McQuire JC, Sutcliffe JC, Coats TJ. Early changes in middle cerebral artery blood flow velocity after head injury. *J Neurosurg* 1998; 89:526-532.
  28. Lee EJ, Hung YC, Chang CH, Pai MC, Chen HH. Cerebral blood flow velocity and vasomotor reactivity before and after shunting surgery in patients with normal pressure hydrocephalus. *Acta Neurochir* 1998; 140:599-604.