

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
İZZET BAYSAL TIP FAKÜLTESİ
RADYODİAGNOSTİK ANABİLİM DALI

KRONİK SİGARA İÇİCİSİ 20-40 YAŞ ARASI SAĞLIKLI
POPULASYONDA SİGARANIN TOPLAM BEYİN KAN AKIM
HACMİNE ETKİSİNİN DOPPLER ULTRASONOGRAFİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

UZMANLIK TEZİ

DR. MELİKE ELİF KALFAOĞLU

BOLU-2009

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
İZZET BAYSAL TIP FAKÜLTESİ
RADYODİAGNOSTİK ANABİLİM DALI

**KRONİK SİGARA İÇİCİSİ 20-40 YAŞ ARASI SAĞLIKLI
POPULASYONDA SİGARANIN TOPLAM BEYİN KAN AKIM
HACMİNE ETKİSİNİN DOPPLER ULTRASONOGRAFİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

UZMANLIK TEZİ

DR. MELİKE ELİF KALFAOĞLU

DANIŞMAN ÖĞRETİM ÜYESİ

Yrd. Doç. Dr. Kamil GÜREL

BOLU-2009

TEŞEKKÜR

Radyodiagnostik uzmanlık eğitimim süresince, bilgi ve tecrübeleriyle eğitimimde büyük katkı ve emekleri olan, her konuda destek ve yardımlarını gördüğüm değerli hocalarıma; Anabilim Dalı başkanımız Doç. Dr. Safiye GÜREL, tez danışmanım Yrd. Doç.Dr. Kamil GÜREL'e ve Anabilim Dalı Öğretim üyemiz Yrd. Doç. Dr. Öcal SIRMATEL'e,

Bu tezin hazırlanması aşamasında katkı ve önerileriyle yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam Halk Sağlığı Anabilim Dalı öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Aysu KIYAN'a, şekil ve tablolardaki katkılarından dolayı kardeşim Ahmet Akif KALFAOĞLU'na

Kendileriyle çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum, bu süreçte yaşanan zorlukları birlikte göğüslediğimiz ve hayatımın önemli bir dönemini birlikte geçirdiğim başta Dr. Özlem YILMAZ olmak üzere tüm asistan arkadaşlarıma,

Asistanlığım süresince birlikte çalıştığım teknisyen, hemşire ve tüm personel arkadaşlarıma,

Büyük fedakârlıklarla yetişmemde emeği olan, hakkını ödeyemeyeceğim anneme, babama, üyesi olmaktan gurur duyduğum aileme ve tüm dostlarıma,

Sonsuz Teşekkürlerimi Sunarım.

Dr. Melike Elif KALFAOĞLU, Bolu–2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
İNGİLİZCE ÖZET (ABSTRACT)	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. ULTRASONOGRAFİ FİZİĞİ	3
2.1.1. Ultrasonografinin Tanımı ve Ultrasesin Teknik Özellikleri	3
2.1.2. Ses İle Madde Arasındaki Etkileşimler	5
2.1.3. Transdüser	6
2.1.4. Ultrasonografik Gösterim Metodları	8
2.1.5. Artefaktlar	9
2.1.6. Doppler Ultrasonografi	13
2.1.7. Doppler Ultrasonografide Gösterim Yöntemleri	15
2.1.8. Doppler Ultrasonografide Görülen Artefaktlar	18
2.1.9. Harmonik Görüntüleme	19
2.1.10. Ultrasonografik Kontrast Maddeler	20
2.1.11. Ultrasonografide Üç Boyutlu Görüntüleme	21
2.1.12. Ultrasonografinin Biyolojik Etkileri	21
2.2. EKSTRAKRANİYAL VASKÜLER DEĞERLENDİRME	22
2.2.1. Anatomi	22
2.2.2. Kan Akışı ve Kontrol Eden Fizyolojik Faktörler	25
2.2.3. Karotid Vertebral sistemin Doppler Ultrasonografik Değerlendirmesi	29
2.2.4. Karotid ve Vertebral Sistemin Dupleks Görüntülenmesinde İzlenen Patolojiler	33
2.2.5. Transkranyal Doppler Ultrasonografi	44
2.3. BEYİN KAN AKIMI	45
2.3.1. Beyin Kan Akımı Fizyolojisi	45
2.3.2. Sigara ve Etkileri	47
2.3.3. Beyin Kan Akımı Ölçüm Yöntemleri	50
2.3.4. Beyin Kan Akımını Etkileyen Faktörler	51
3. GEREÇ VE YÖNTEM	54
4. BULGULAR	57
5. TARTIŞMA	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
7. KAYNAKLAR	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

ASL: Arterial spin labelling	MRG: Manyetik rezonans görüntüleme
BOS: Beyin omurilik sıvısı	MTT: Ortalama geçiş zamanı
CBF: Beyin kan akımı	NKR: Nikotinik kolinerjik reseptör
CBFV: Beyin kan akım hacmi	OH⁻: Hidroksil anyonu
CCA: Ana karotid arter	PCT: Perfüzyon bilgisayarlı tomografi
DNA: Deoksiribonükleik asit	PET: Pozitron emisyon tomografisi
DSC: Dinamik suseptibilite kontrast	PI: Pulsatilite indeksi
ECA: Eksternal karotid arter	PRF: Puls tekraralama frekansı
EDV: End diastolik hız	PSV: Pik sistolik hız
FMD: Fibromüsküler displazi	rCBF: Bölgesel beyin kan akımı
FOV: Görüntüleme alanı genişliği	R: Rezistans
H: Hidrojen iyonu	RI: Rezistivite indeksi
Hz: Hertz	SPECT: Tek foton emisyon tomografisi
ICA: İnternal karotid arter	TAV: Ortalama kan akım hızı
İMK: İntima-media kalınlığı	TI: Termal indeks
KHz: Kilohertz	TİA: Transient iskemik atak
KOAH: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı	TTP: Maksimum konsantrasyon piki zamanı
MHz: Megahertz	US: Ultrasonografi
MI: Mekanik indeks	VA: Vertebral arter
MR: Manyetik rezonans	XeCT: Xenon bilgisayarlı tomografi
MRA: Manyetik rezonans anjiyografi	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil Sıra No		Sayfa No
Şekil 2.1:	Ultrasonografik bir kesitin görünümü ve uzaysal çözümleme	5
Şekil 2.2	Ses yansıma sistemleri	8
Şekil 2.3	Reverberasyon artefaktı	10
Şekil 2.4	Ayna artefaktı	11
Şekil 2.5	Hız ötelemesi artefaktı	12
Şekil 2.6	Akımın yarı kantitatif değerlendirilmesinde indeksler	18
Şekil 2.7	Ekstrakranial vasküler anatomi	23
Şekil 3.1A/B	İnternal karotid arterde Gri skala US'de damar çapı ölçülüp (A) sisteme kaydı yapıldıktan sonra spektral incelemede en az üç düzgün siklus spektral örneği kaydedilmektedir (B). Çap ve spektral parametrelerin otomatik değerlendirilmesi ile akım hacmi debi olarak cihaz tarafından otomatik verilmektedir.	56
Şekil 3.2A/B	Vertebral arterde Gri skala US'de damar çapı ölçülüp (A) sisteme kaydı yapıldıktan sonra akım hacmi debi olarak (B) cihaz tarafından otomatik verilmektedir.	56

TABLULAR DİZİNİ

Tablo Sıra No		Sayfa No
Tablo 2.1:	ICA stenozu gri skala ve Doppler US tanı kriterleri	37
Tablo 3.1:	Olguların sigara kullanım oranlarına göre dağılımı (paket/yıl)	54
Tablo 4.1:	Olguların yaş, cinsiyet, VKİ özellikleri	57
Tablo 4.2:	Kadın ve erkeklerde sigara kullanma oranları (paket/yıl)	57
Tablo 4.3:	Sigara kullanan ve kullanmayan gruptaki toplam kan akım hacimleri	58
Tablo 4.4:	ICA ve VA'da damar lümen çapları	58
Tablo 4.5:	Sigara kullanan ve kullanmayan grubun kan basıncı değerleri	58
Tablo 4.6:	Sigara kullanan ve kullanmayan grupta PSV, EDV, RI ve PI değerleri	59
Tablo 4.7:	ICA ve VA'da ortalama kan akım hızları	59

ÖZET

Melike Elif Kalfaoğlu, Kronik sigara içicisi 20-40 yaş arası sağlıklı popülasyonda sigaranın toplam beyin kan akım hacmine etkisinin Doppler ultrasonografi ile değerlendirilmesi, Tıpta Uzmanlık Tezi, Bolu, 2009

Bu çalışmanın amacı genç ve sağlıklı bireylerde 5 yıldan uzun süre sigara kullanımının toplam beyin kan akım hacmine etkisinin olup olmadığının Doppler ultrasonografi ile değerlendirilmesidir.

Çalışmaya 20-40 yaş arası 5-20 paket/yıl sigara kullanan 50 kişi ile kontrol grubu olarak sigara kullanmayan 50 kişi olmak üzere, toplam 100 olgu (45’i erkek 55’i kadın) dahil edildi. Olguların hepsinde pik sistolik hız, diyastol sonu hız, ortalama kan akım hızı, pulsatilite indeksi, resistivite indeksi, her iki internal karotid arter ve vertebral arterlerde kan akım hacimleri ve toplam beyin kan akım hacmi hesaplandı. İstatistiksel değerlendirmeler ortalama, standart sapma, lineer regresyon analizi, “Student’s t testi”, “Mann-Whitney U” testi ve “Pearson korelasyon testi” kullanılarak yapıldı. p değerinin 0.05’ten küçük olması anlamlı kabul edildi.

Her iki grup arasında pik sistolik hız değerlerinde anlamlı farklılık yoktu ($p > 0.05$). Sigara kullanan grupta diastol sonu hız ve ortalama kan akım hızı değerleri daha düşük; pulsatilite ve resistivite indeks değerleri daha yüksek bulundu ($p < 0.001$). Toplam beyin kan akım hacmi her iki grupta da fizyolojik sınırlarda olmakla birlikte, sigara kullananlarda ($661,1 \pm 21,2$ ml/dk), kullanmayan olgulardan ($728,1 \pm 26,8$ ml/dk) ortalama %9.2 oranında daha düşüktü ($p < 0.001$). Regresyon analizinde paket/yıl sayısında artmanın toplam beyin kan akım hacmini anlamlı derecede azalttığı saptandı ($p < 0.001$), güven aralığı $[-7,698] - [-5,607]$.

Kronik sigara kullanımı toplam beyin kan akım hacminde azalmaya neden olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Serebrovasküler dolaşım; sigara kullanımı; Ultrasonografi; Doppler; karotid arterler; vertebral arter.

ABSTRACT

Melike Elif Kalfaoğlu, Evaluation of the Effect of Chronic Cigarette Smoking on Total Cerebral Blood Flow Volume by Doppler Ultrasonography in 20-40 years old Healty Volunteers, Medical Speciality Thesis, Bolu, 2009

The aim of this study is to evaluate the effect of chronic cigarette smoking on total cerebral blood flow by Doppler ultrasonography.

A total of 100 healthy volunteers (n=45 men and n=55 women) consisting of five to twenty pack-years smokers (n=50) and non-smokers (n=50) were included in this study. Angle corrected peak systolic velocity, end-diastolic velocity, time-averaged mean blood flow velocity values, and the resistivity and pulsatility indexes of both carotid and vertebral arteries were measured. The blood flow volume in the extracranial internal carotid artery, vertebral artery and total cerebral blood flow volume were calculated with 'spectral Doppler imaging' method. Statistical analysis was performed with "Student's t", "Mann-Whitney U" and "Pearson" correlation tests. "p" value of < 0.05 were considered statistically significant.

There was no difference between smoker and non-smokers in peak systolic velocity ($p > 0.05$). In the smoker group, end diastolic velocity and time-averaged mean blood velocity values were significantly lower, while resistivity and pulsatility indexes were significantly higher than the non-smokers ($p < 0.001$). Although total cerebral blood flow volume was within normal limits in both group, it was approximately 9,2% lower in smokers (661.1 ± 21.2 ml/min) compared to non-smokers (728.1 ± 26.8 ml/min) ($p < 0.001$). Increase in the number of pack-year smoking was shown to decrease the total cerebral blood flow [$(p < 0.001)$, confidence interval (-7,698) – (-5,607)].

In conclusion, chronic cigarette smoking decreases total cerebral blood flow volume.

Keywords: Cerebrovascular Circulation; Smoking; Ultrasonography; Doppler; Carotid Arteries; Vertebral Artery

1.GİRİŞ

Karotid ve vertebral arter sistemleri beynin kanlanmasını sağlar ve bu damarları etkileyen çeşitli patolojiler santral sinir sistemine giden kan akımında azalmaya neden olur (1). Beyin kan akım hacminin değerlendirilmesi özellikle serebrovasküler hastalık, geçirilmiş kafa travması ve artmış intrakranial basınç artışı durumlarında klinik olarak önemlidir (2). Doppler ultrasonografi (US) internal karotid ve vertebral arter kan akım hacimlerinin ölçülmesi ve beyin kan akım hacimlerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biridir (3). Doppler US acil serviste ve yoğun bakım ünitelerinde hasta yatağı başında uygulama ve stabil olmayan hastalarda beyin hemodinamisini değerlendirme olanağı sağlar. Ekstrakranial serebral damarlarda kan akım hacmi ölçümü; internal karotid oklüzyonuna bağlı oluşan hemodinamik değişikliklerin, travmatik beyin zedelenmesi ve subaraknoid kanama olan hastalarda artmış intrakranial basınç ya da vazospazma bağlı beyin kan akımındaki azalmanın değerlendirilmesini sağlar. Ayrıca anestezipler, mannitol, antihipertansif ilaçların etkilerinin ya da tedaviye yanıtın değerlendirilmesinde Doppler US gibi yöntemlerle, kısa aralıklarla beyin kan akım hacmi ölçümlerinin yapılması önemlidir (4).

Tüm dünyada önlenebilir erken ölüm risk faktörleri arasında sigara en başta gelmektedir (5) . Sigara kullananların üçte ikisi 15 yıl daha erken ölmektedir. Sigara dünyada her on ölümden birinin nedenidir ve yılda 5 milyondan fazla kişi sigaraya bağlı hastalıklar nedeniyle ölmektedir (6,7). Sigara kullanımı özellikle gelişmekte olan ülkelerde giderek artmaktadır (8). Dünya sağlık örgütü 2030 yılında sigaraya bağlı hastalıklar yüzünden ölümlerin 8 milyondan fazla olacağını hesaplamaktadır (9). Sigara yakın ilişkili olduğu bilinen kanser riskinde artışa neden olması dışında, koroner arter hastalığı, periferik vasküler tıkalıcı hastalıklar ve inme için büyük bir risk faktörüdür (10,11,12). İnme ile içilen sigara sayısı arasında doz-cevap ilişkisi vardır. Sigarayla ilgili patofizyolojik mekanizmalar kesinlik kazanmamakla birlikte; hemostatik faktörler, endotelial fonksiyon ve kan lipidlerindeki değişiklikler yanında arter duvarlarının dinamik özelliklerinin de önemli rol oynayabileceği bildirilmiştir (7). Sigara içiminden hemen sonra büyük ve orta çaplı arterlerin kompliyansında azalma (13,14) ve

transkranial Doppler US'de serebral kan akım hızlarında artışla birlikte vazomotor reaktivitede azalma (15) olduğu bildirilmiştir.

Birçok çalışmada nikotinin bölgesel beyin kan akımlarına olan akut etkisi (15,16, 17) ve uzun süre sigara kullanımının değişik vasküler yapı ve sistemlere, bölgesel beyin kan akımlarına olan etkileri araştırılmış olmakla birlikte (18,19,20) bilgilerimize göre literatürde uzun süre sigara kullanımının toplam beyin kan akım hacimine etkisini Doppler ultrasonografi ile inceleyen bir araştırma mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı, kronik sigara içicisi sağlıklı bireylerde, 5 yıldan uzun süre sigara kullanımının internal karotid arter ve vertebral arter çapı, kan akım hızları ve kan akım hacimlerine etkisi olup olmadığının Doppler ultrasonografi ile değerlendirilmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ultrasonografi Fiziği

2.1.1 Ultrasonografinin Tanımı ve Ultrasesin Teknik Özellikleri

Ses, iletken bir ortamda sıkışma ve gevşemeye neden olan sinüzoidal dalga formunda ilerleyen mekanik bir enerjidir (21). Diğer bir deyişle ses iletken ortamda mekanik titreşimlere neden olur. Sesin frekans birimi Hertz'dir (Hz). Hertz saniyedeki dalga sayısıdır; saniyede 1 dalga 1 Hz, 1000 dalga 1 kiloHertz (KHz), 1 milyon dalga ise 1 megaHertz'dir (MHz). Bir ortam içinde oluşan mekanik titreşimlerin birim zaman (sn) içindeki tekrarlaması sayısı 16–20.000 arasında olduğu zaman insan kulağı bu titreşimleri algılayabilir ve buna “ses” adı verilir. Titreşimlerin tekrarlaması sayısı saniyede 20'den az olduğunda infrases, 20.000'den fazla olduğunda ultrases adını alır. İnfra ve ultrases insan kulağı tarafından duyulamaz. Ultrasonografi (US); 2–15 MHz frekanslı ses dalgaları (ultrases) kullanılarak gerçekleştirilen, kullanımı kolay, radyasyon riski taşımayan bir görüntüleme yöntemidir. Tanısal US'de yüksek frekanslı ses dalgası elde edebilmek için Mekanik, Piezoelektrik ve magnetostriktif metodlar kullanılır. Piezo elektrik yöntemle 500 MHz, magnetostriktif yöntemle 300 KHz'e kadar frekansta ultrases elde etmek mümkündür. Mekanik yöntem, özel olarak hazırlanmış membranların titreştirilmesidir. Günümüzde en çok, yüksek frekanslı ses elde etmek için Pierre Curie'nin 1880'de tanımladığı piezoelektrik olaydan yararlanır (22,23).

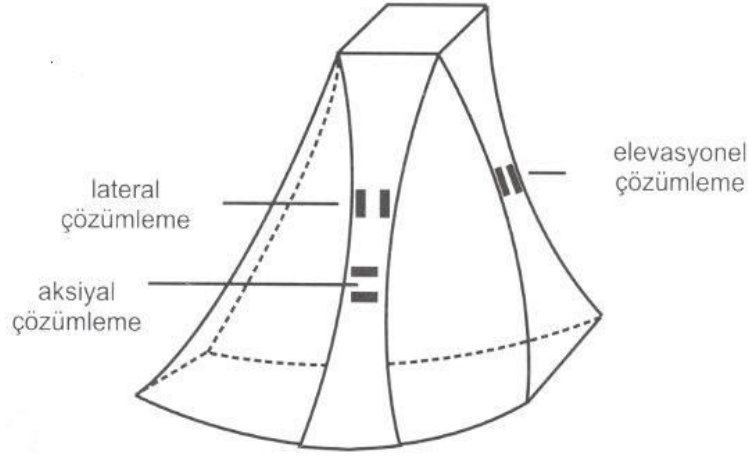
Ultrases arka arkaya gelen kompresyonel longitudinal bir dalga olup biyolojik dokularda dokunun elastisitesi ve dansitesi ile ilişkili bir hızla yayılır. Elastisite, hücre ve moleküller arasındaki ilişki ve bağlanma şekilleri ile belirlenen bir doku karakteristiğidir. Sesin yayılım hızı üzerinde oldukça etkili olup, doku elastisitesi arttıkça sesin yayılım hızı azalır. Örneğin yağ dokusu komprese edilebilen (elastik) bir doku olup yağlı dokularda sesin iletim hızı düşüktür. Dansite ise dokunun atom numarası ile ilişkilidir. Sesin yayılma hızı yüksek dansitede daha fazladır. Ancak dansite artımı empedans (direnç) artışına da neden olur [$z = d \times v$; z:empedans, d:dansite, v:dokudaki ses hızı]. Biyolojik dokularda sesin yayılım hızı ortalama 1540 m/sn'dir. Ses ilerlerken farklı akustik yapıya (empedansa) sahip dokuyla karşılaştığında doku yüzeyinden yansır ve yansıyan sesin miktarı, iki doku arasındaki akustik empedans

farklılığının derecesine bağlıdır. Hava ile yumuşak doku arasındaki akustik empedans farkı çok fazla olduğundan, ses tamamen yansımaktadır. Bu nedenle US incelemelerinde prob, cilde sürülen jel üzerine tatbik edilmektedir (23).

Sesin şiddeti cm^2 başına düşen güç olarak tanımlanmaktadır. Birimi $\text{Watt/cm}^2/\text{sn}$ 'dir. Diagnostik ultrasonografi cihazlarında sesin şiddeti 1- 40 miliWatt arasındadır.

Atenüasyon (tutulum), ultrases demetinin doku içindeki ilerleyişi sırasındaki abzorpsiyonuna bağlı zayıflamasıdır ve bu ilerleyiş sırasında çok az da olsa biyolojik dokuların absorbe ettiği enerji nedeniyle ısı artımı olur. Diagnostik incelemelerde bu değer $1^\circ - 2^\circ \text{C}$ olabilir. En çok yumuşak doku-kemik sınırındaki kemikte ısı artımı görülür (24).

US'de iki tip rezolüsyon (çözünürlük) vardır: uzaysal ve kontrast. Uzaysal rezolüsyonun üç komponenti vardır: (a) Aksiyal rezolüsyon, (b) ses demetine dik olan plandaki lateral rezolüsyon ve (c) kesit kalınlığı ile ifade edilen elevasyon (Şekil 2.1). Dokuya gönderilen ses dalgasına paralel düzlemdeki, yani farklı derinlikteki iki farklı yapının ayırdedilebildiği en küçük mesafe aksiyal rezolüsyon ile ifade edilir. Frekans artıp, dalga boyu azaldıkça aksiyal rezolüsyon artar. Lateral rezolüsyon dokuya gönderilen ses demetine dik doğrultuda, komşu iki obje arasındaki en küçük mesafedir ve efektif ses demeti genişliği ile doğru orantılıdır. Transdüser boyutu küçüldükçe ve sesin frekansı arttıkça efektif ses demeti daralacağından lateral rezolüsyon artacaktır. Yanısıra transdüser frekansı arttıkça aksiyal ve lateral rezolüsyon artar, ancak penetrasyon azalır. Elevasyonel rezolüsyon kesit kalınlığı yönündeki çözümlemeyi tanımlar. Bu boyut görüntüleme düzlemine diktir ve transdüser elementlerinin yüksekliğince belirlenir. Kullanıcı tarafından kontrol edilemez. Elevasyon mekanik lenslerle yapılan odaklama sayesinde iyileştirilir. Ayrıca elevasyon planında uzaysal rezolüsyonun arttırılması çok boyutlu dizimlilerle (1.5 veya 2 boyutlu) de mümkün olmaktadır (22,23,24).



Şekil 2.1: Ultrasonografik bir kesitin görünümü ve uzaysal çözümleme. Tuncel E. (24)'den alınmıştır.

Kontrast rezolüsyon, dokular arası akustik empedans farklılıklarını ayırdedebilme yeteneğidir. Ekonun amplitüdü ve dokunun atenuasyon değeri tarafından belirlenir. Yüksek kontrast çözümü için, gürültü düşük olmalıdır. Sinyal-gürültü oranını artıran tüm teknikler uzaysal rezolüsyonu, penetrasyonu ve kontrast rezolüsyonunu artırır (24).

2.1.2 Ses İle Madde Arasındaki Etkileşimler

Yansıma (refleksiyon): Sesin yansıma özelliği dört önemli faktöre bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bunlardan birincisi akustik empedanstır. İncelenen dokular arası akustik empedans farkı arttıkça yansıma da artmaktadır. İkinci faktör insonasyon (geliş) açısıdır. Sesin yansıtıcı yüzey ile yaptığı açı olup 90 dereceye yaklaştıkça yansıma azalmaktadır. Ses dalgaları incelenecek olan yüzeye öyle bir açı ile çarpar ki dalgaların tümü kırılmaya uğramaksızın yansır, bu etkiye neden olan açı kritik açıdır. Kritik açı her ortamda ses hızı ile ilişkili olarak değişiklik göstermektedir. Üçüncü faktör yansıtıcı yüzey ile sesin dalga boyu arasındaki ilişkidir. Sesin dalga boyu yansıtıcı yüzeyden büyükse saçılma, küçükse yansıma, eşit ise kırılma gerçekleşir. Dördüncü faktör ise incelenecek dokunun yüzeyidir. Ses dalgalarının karşılaştığı doku yüzeyi düzgün ise yansıma, düzensiz ise saçılma gerçekleşir (23).

Kırılma (refraksiyon): Ses dalgalarının bir ortamdan diğerine geçerken gösterdiği yön değişikliğidir. Kırılma rezolüsyon kaybına, uzaysal distorsiyona ve artefaktlara neden olması nedeniyle istenmeyen bir etkidir (23).

Soğrulma (absorpsiyon): Sesin bir ortamda ilerlemesi sırasında ortaya çıkan kayıpların tümü şeklinde tanımlanır. Ses demetinin frekansı ortamın vizkositesi ve relaksasyon zamanı ile ilişkili olarak değişmektedir. Frekans ile abzorpsiyon arasında lineer bir ilişki mevcuttur (23).

2.1.3 Transdüser

Transdüser enerjiyi bir formdan diğer bir forma dönüştüren araçların genel adıdır. Ultrasonografi sisteminde ise iki fonksiyonu bir arada yürüten birimdir. Transmitter tarafından sağlanan elektrik enerjisini hastaya yönlendirilen akustik enerjiye ve hastadan yansıtılarak geriye dönen akustik enerjiyi elektrik enerjisine çevirip işlemciye gönderir. Transdüserlerde piezoelektrik prensibi kullanılır. Piezoelektrik maddelerin, elektrik alan hareketine şekil değiştirerek yanıt verme ve komprese olduklarında da elektrik potansiyeli üretme özellikleri vardır. Kuartz doğal bir piezoelektrik kristaldir ancak pahalı oluşu nedeniyle US cihazlarında yapay olan kristaller kullanılır. Bu amaçla en sık seramik türü olan kurşun zirkonat ve kurşun titanat kullanılmaktadır. Transdüserde uygulanan voltajın polaritesinin değiştirilmesi transdüser kalınlığında değişikliğe yol açar çünkü polarite değişikliğinde transdüser kontrakte ve ekspanse olur. Bunun sonucunda da dokuya gönderilecek mekanik basınç dalgaları oluşur. Bunun tam tersi durum da söz konusudur; dokudan geri yansıyan ekolar transdüserde ulaştıklarında transdüserde küçük potansiyeller oluştururlar. Bu potansiyel değişiklikleri ve eşlik eden voltaj değişiklikleri ultrason görüntüsünü oluşturan bilgi kaynakçıklarıdır. Transdüser bir voltaj farkına maruz bırakıldığında, kendi materyal tipine özgü frekansta vibrasyon gösterir ve bir frekans aralığı ya da bandı oluşur. Buna o transdüserin band genişliği (bandwidth) adı verilir (23,25).

Rutin uygulamalarda transdüserler gerçek zamanlıdır (real time). Gerçek zamanlı inceleme dinamik bir yöntem olup röntgendeki floroskopinin karşılığıdır. US cihazları bir saniye içinde çok sayıda puls gönderip toplayabilme ve görüntü elemanı (frame) oluşturabilme kapasitesine sahiptir. Saniyede onaltı görüntü elemanı ve üzerinde

görüntüleme yapıldığında, gözümüz bu imajları birbirinden ayrı değil, süregelen bir görüntü olarak algılar. Böylelikle kesintili olarak puls gönderilip toplandığı halde oluşan görüntü süreklidir, buna “real time” denir. “Frame” birim zamanda elde olunan görüntü elemanı sayısını ifade eder ve görüntüleme alanı genişliği (FOV), görüntüleme derinliği ve birim zamanda dokuya gönderilen puls sayısı ile ilişkili olarak değişiklik göstermektedir (23).

Real-time transdüserler mekanik ve elektronik olmak üzere iki çeşittir. Mekanik tip transdüserler real-time US araçlarının gelişiminde yer alan ve günümüzde kullanılmayan ilk örnekleri oluşturmaktadırlar. Tek ya da çoğunlukla birkaç transdüserden oluşan, kendi arasında dönen diskli ve osilasyon gösteren kristalli olmak üzere sınıflanırlar. Öncü olan bu tip transdüserler sınırlı frame sayıları, inceleme alanı darlığı ve distorsiyon gibi yetersizliklere sahiptirler.

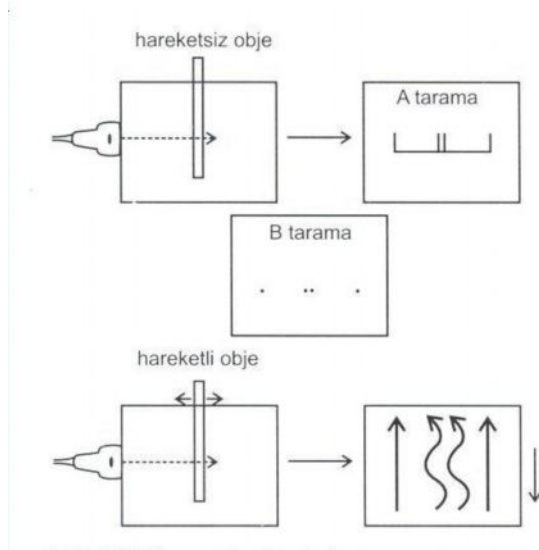
Elektronik tipteki transdüserler lineer ve faz dizilimli olarak 2 başlık altında toplanmaktadırlar. Lineer dizilimli elektronik transdüserlerde bir çizgi üzerinde lineer olarak dizilmiş 64 ile 200 arasında değişen çok sayıda transdüser elemanı bulunmakta ve bunların aynı anda uyarılması ile oluşan ultrases demeti ile görüntü alanı hızla taranmaktadır. Lineer dizilimli transdüserler kendi içinde ardışık lineer ya da segmental lineer uyarımlı olabilmektedirler. Ardışık uyarımlıda her bir transdüser elemanı bir sıra halinde ayrı ayrı uyarılırken, segmental uyarımlı olanda ardışık dört ya da beş transdüser elemanı eş zamanlı olarak aktive edilmektedir. Böyle bir sistemde her bir US pulsunda 4-5 kesit çizgisi oluşturulmakta; 1.puls 1-5’inci, 2.puls 2-6’ncı, 3.puls 3-7’nci transdüser elemanı uyarılarak gerçekleştirilmektedir. Segmental uyarımlı transdüserler eş zamanlı uyarımlı transdüserlere oranla daha fazla görüntü çizgisi sağlamasından dolayı daha kaliteli görüntü oluşturmaktadır. Ayrıca eş zamanlı uyarılan lineer transdüserler rektanguler yayılım formu gösterdiklerinden lateral rezolüsyonları düşüktür. Bu tür araçlarda rezolüsyon yetersizliği akustik odaklama (focusing) ile aşılmaya çalışılmaktadır.

Faz dizilimli elektronik transdüserlerde transdüser elemanları minimal zaman aralıkları ile kademeli olarak uyarılmakta ve görüntüleme alanı süpürülür tarzda taranmaktadır. Ultrasesin yayılımı ve ekoların toplanması diğer elektronik

transdüserlerden farklı olarak sektör şeklindedir. Maksimum sektör açısı ise 90° 'dir. Elektronik transdüserlerde ses demetinin etkin olduğu fokus zonu konkav foküsleyicilerle elektronik olarak odaklandığından ve ayarlanabilir olduğundan farklı derinlikteki oluşumlar, operatöre bağlı değiştirilebilen, bu ayarlamalarla daha net bir şekilde değerlendirilebilmektedir (22,23,25).

2.1.4 Ultrasonografik Gösterim Yöntemleri (MOD)

Diagnostik radyolojide inceleme alanına gönderilen ses dalgalarının dokulardan yansıyan ekoları monitöre üç değişik biçimde yansıtılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Ses yansıma sistemleri. Tuncel E. (24)'den alınmıştır.

A (amplitüde) MOD: Dokulardan yansıyan ses amplitüd şeklinde grafik olarak monitöre aktarılır. Amplitüdüler arası mesafe incelenen yapıların derinliğini, amplitüdülerin yüksekliği ise yapıların yoğunluğunu göstermektedir. En önemli işlevi amplitüdüler arası mesafe ile derinlik ölçümüdür (23).

B (brightness) MOD: İncelenen dokuların yoğunlukları doğrultusunda parlaklık olarak monitöre yansıtılması tekniğidir. Yer ve yön işlemi için B-mod kullanılmaktadır. Burada sınırlayıcı faktör belli değerin altındaki amplitüdülerin gösterilmeyip, bu eşik değerin üstündeki amplitüdülerin de hep aynı parlaklıkta gösterilmesidir. Böylece parlak nokta şeklinde gösterilebilenler beyaz, gösterilemeyenler siyah olarak bir araya gelip ekranda iki tonlu 'bistable' görüntüyü oluşturur. İlk olarak kullanılan 'bistable' gösterim

metodunda sadece parlak ve parlak olmayan şeklinde yorumlanan bilgilerin karmaşası ve eksikliği sözkonusu olduğundan bunu gidermek için “gri skala” denilen yöntem geliştirilmiştir. Gri-skala gösterimde her doku, intensitesiyle uyumlu bir parlaklık derecesinde monitöre yansıtılmakta ve ara yoğunluklar gri rengin tonları şeklinde tanımlanabilmektedir. Rutinde diagnostik radyolojide B-mod, gri skala yöntemiyle ‘real time’ olarak gerçekleştirilmektedir (23,25).

M (motion) MOD: Hareketli yapılardan yansıyan dalgalar zaman/pozisyon grafiği şeklinde monitöre aktarılır. Daha çok ekokardiyografi adı ile kardiyak fonksiyonların izlenmesinde kullanılır (23).

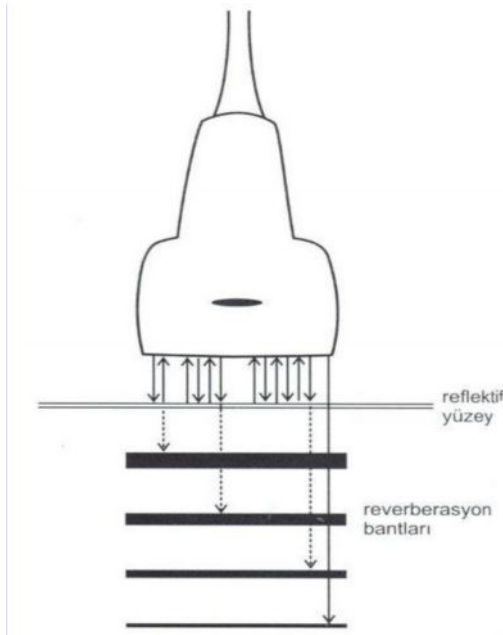
2.1.5 Artefaktlar

Ultrasonografi ile elde edilen bilginin kalitesi, diğer görüntüleme yöntemlerinden belki de daha yüksek oranda, operatörün artefaktları tanıyabilme yeteneğine bağlıdır denebilir. Artefaktların çoğu tarama tekniğindeki ve ultrasonografideki parametreleri yanlış kullanmaktan kaynaklanırlar. Artefaktlar gerçekte varolmayan yapıların izlenimleri şeklinde ortaya çıkarak yanlış tanıya ya da varolan önemli bulguların saklanması neden olurlar (25).

Kırılma (refraksiyon) : Ses demetinin değişik yayılım hızındaki bir dokudan diğerine geçişi sırasında ortaya çıkan bir durumdur. Ses hızla yayıldığı solid ortamdan daha yavaş yayıldığı kistik ortama geçerken konverjans (toplanma), kistik ortamdan solid ortama geçerken diverjans (dağılma) göstererek kırılmaktadır. Oblik mesane duvarından oluşan kırılma gölgesi uterus üzerine süperpoze olarak incelemeyi güçleştirirken, karaciğerdeki kistik bir yapının neden olduğu böbrek konturunun ve diafragmanın kırılmış görünümü, fetusta oksipital kemiğin depresyon fraktürünü andırır görünümü kırılma artefaktının örnekleridir. Kırılmada, sesin farklı dokulardaki yayılım hızının değişik olması yanında reflektif yüzeye çarpma açısı da rol oynamaktadır (23,24).

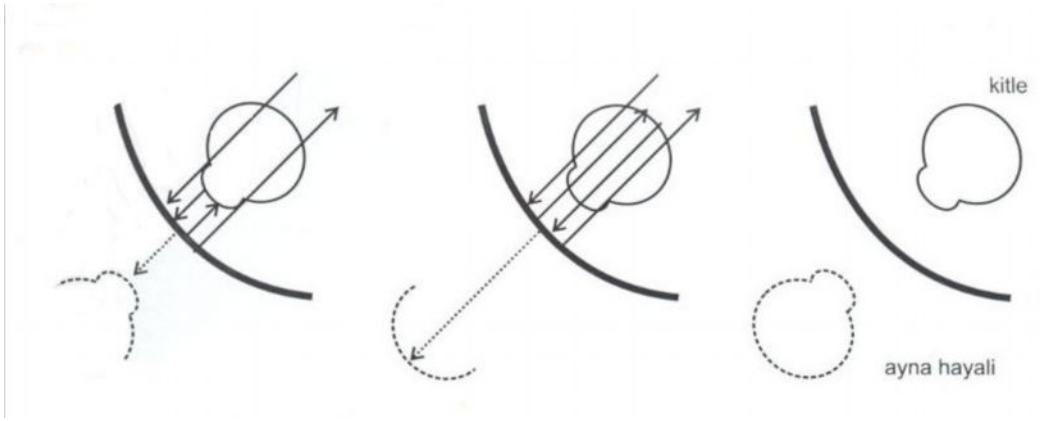
Reverberasyon: Transdüser ile incelenen dokular arasındaki aşırı akustik empedans farkına bağlı olarak ortaya çıkan bir artefaktır. Reflektif yüzeyden gelen ekoların bir bölümünün transdüser yüzeyinden geri dönerek tekrar reflektif yüzeye çarpması sonucunda, yansıtıcı yüzeyin gerisinde eko birikimi görülür. Tekrarlamalar

nedeni ile reflektif yüzeyin distaline doğru giderek azalan ekolar şeklinde görülür. Tanıda en önemli kriter reflektif yüzey ile artefaktın görünümü arasındaki mesafenin, reflektif yüzey ile transdüser arasındaki mesafeye eşit olmasıdır. Pelvis incelemelerinde mesane ön duvarında, üst batın incelemelerinde ise safra kesesi ön duvarında izlenebilir. Pozisyon ile yer değişikliği göstermemesi, yer çekiminden etkilenmeyerek kistik yapının ön duvarında bulunması ve eko şiddetinin distale doğru giderek zayıflaması artefakt olduğunu gösteren bulgulardır (23) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Reverberasyon artefaktı. Tuncel E. (24)'den alınmıştır.

Ayna Artefaktı: Ses demetinin düzgün ve güçlü bir yansıtıcı yüzey ile karşılaşması sonucu oluşur. Gaz sesin neredeyse % 100'ünü yansıttığından vücuttaki en iyi yansıtıcıdır. Bu nedenle ayna artefaktı çoğunlukla akciğere komşu dokuların sonografik incelemelerinde izlenir (Şekil 2.4). Boyun incelemelerinde trakea, abdominal incelemelerde barsaklar ayna artefaktına neden olabilen güçlü yansıtıcılardır (21,24).



Şekil 2.4: Ayna artefaktı. Tuncel E. (24)'den alınmıştır.

Kuyruklu Yıldız Artefaktı: Ses demetinin küçük ama kendisini titreştirecek çok güçlü reflektif özelliği olan bir yüzey ile karşılaşması sonucu oluşur. Ses demetinde oluşan yüksek hızda titreşimler, titreşime devam eden reflektif yüzey vasıtası ile transdüserin ardına ekolar dönmesine ve arkasında sıkışık tarzda, ekojeniteleri giderek azalan kuyruk benzeri görünüme yol açar. Solid organlar içindeki saçma taneleri, Cooper-7 tipinde intrauterin kontraseptif araçlar, safra yollarındaki gaz, safra kesesi duvarındaki kolesterol polipleri kuyruklu yıldız artefaktı oluşturabilmektedir.

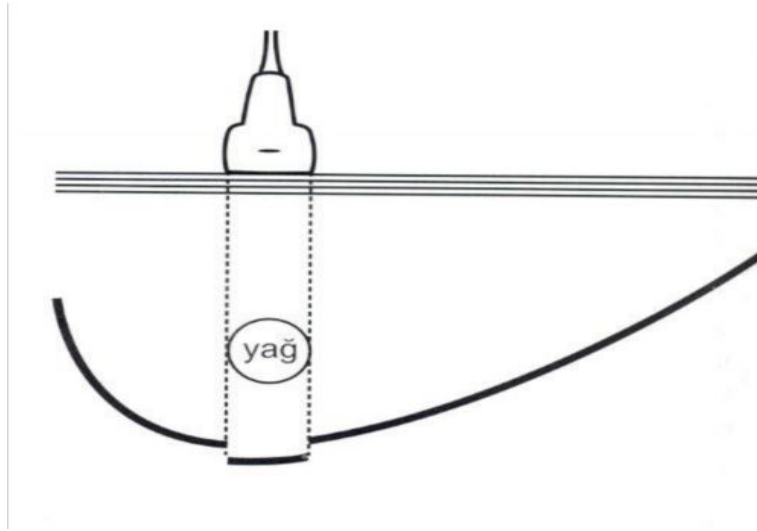
Safra yollarındaki gaz ve sıklıkla adenomiyomatoziste görülen safra kesesi duvarındaki kolesterol kristallerinin artefaktlarında, titreşim veya yansıma kısa sürdüğünden kuyruk daha kısadır ve “Ring Down” artefaktı adını alır (21,24).

Akustik Gölge Artefaktı: Sesin hemen tümünün, yolu üzerindeki bir oluşum tarafından geriye yansıtılması sonucu oluşur. Sesin tamamının geriye yansımından ve ilerleyememesinden dolayı ilgili oluşum hiperekojen, arkasındaki bölge ilgili oluşumun genişliği ile orantılı ekosuz siyah bir bant şeklinde belirlenir. Kemik dokular ve kalsifikasyonlar arkalarında belirgin akustik gölge yaratırlar (23).

Akustik Yankı Birikimi (güçlenme) Artefaktı: Ses demeti içinden geçtiği doku tarafından, komşu dokulara göre daha az zayıflatıldığında ortaya çıkar. Ses demeti, içinden geçtiği yapıda, çevresindeki dokulara göre daha az soğrulduğundan ilgili yapıyı terk ettiğinde komşuluğundan geçen ses demetine kıyasla daha yoğundur ve bu durum terk ettiği oluşumun arkasında eko birikmesi (hiperekojenite) şeklinde kendini belli eder. Akustik güçlenme sıklıkla kistik yapıdaki oluşumların gerisinde ortaya çıkmaktadır (23).

Duplikasyon Artefaktı: Kırılmanın neden olduğu bir diğer artefakt çeşitidir. Aşırı obez hastalarda abdominal incelemelerde, orta hattın yapılan transvers plandaki görüntülemelerde, tübüler yapıların çift görünümü, sesin karın ön duvarındaki yağ dokusu ve rektus kaslarının arka duvarının oluşturduğu yüzey tarafından kırılmasına bağlıdır. Orta hat yapılarından süperior mezenterik arter, orta hatta yer alan gestasyonel kese, pelviste Cooper-7 tipindeki intrauterin kontraseptif cihaz ve foley sondanın çiftmiş gibi görünümü bu şekilde açıklanmaktadır (23).

Hız ötelemesi Artefaktı: Kenarların kırılmış görünümüne neden olan diğer bir artefakttır. Ses hızının farklı olduğu dokuların yanlış yerde görüntülenmesidir. Örneğin yağlı dokuda ses yayılım hızı çevreye göre % 5 daha yavaştır. (Yağda sesin hızı 1450 m/sn, yumuşak dokuda 1540 m/sn'dir.) Yağlı yapı ve arkasındaki yapılar transdüser dalganın dönmesini geciktireceğinden (daha geç dönen dalgaların daha uzaktan döndüğü kabul edilerek) % 6 oranında daha uzağa lokalize edilir (Şekil 2.5). Bu nedenle karaciğerde liposarkom gibi yağlı bir tümörün arkasındaki diyafragma parçası kırılmış şekilde daha distalde görülür (24).



Şekil 2.5: Hız ötelemesi artefaktı. Tuncel E. (24)'den alınmıştır.

Aks Dışı artefaktı: Ses demeti ilerleyişi sırasında merkezden çevreye doğru keskinliği ve intensitesini kaybetmektedir. Ses demetinin yoğunluğu fokus zonunda en yüksektir. Tanıda akustik gölge varlığının önem kazandığı böbrek ve safra taşlarının

incelenmesinde akustik gölgenin iyi bir şekilde ortaya çıkarılması için transdüserin fokus zonu inceleme alanına uygun bir şekilde yönlendirilmelidir. Bunun aksine, incelenecek lezyon fokus zonunun dışında tutulacak olursa ses demetinin yan alan (side lobe) etkisine bağlı olarak distorsiyone görülür ve gerisinde bulunması gereken ve tanısal anlamı olan akustik gölge aks dışında olduğu için oluşmayabilir (23).

Kesit Kalınlığı Artefaktı: Ses demeti kalınlığı, incelenen bölgedeki kistik bir oluşumun genişliğinden fazla olduğunda, ses demetinin bir kısmı kesit planı dışındaki yapılara çarpıp kist içerisine projeksiyon göstermektedir. Bu durumda, incelenen oluşum içinde çevreden gelen yansımaya bağlı çamur-püy benzeri yalancı bir görünüm oluşmaktadır. Kesit kalınlığı fazlalığının ortaya çıkardığı bu yanıltıcı görünümler incelenen bölgenin uygun şekilde odaklanması ile önlenir (23).

2.1.6 Doppler Ultrasonografi

Ortam şartları sabit iken, enerji üreten kaynağın hareket etmesi ve algılayıcı sisteme göre pozisyonunu değiştirmesi sonucu enerjinin yapısında ortaya çıkan değişikliklere Doppler Olayı denir. Sabit frekansta ses üreten bir ses kaynağının sesi dinleyiciye yaklaşırken frekansın artmasına bağlı olarak daha tiz, uzaklaşırken frekansın azalmasına bağlı olarak daha pes işitilir. Ses frekansının harekete bağlı olarak gösterdiği bu değişime Doppler kayması (shift) adı verilmekte ve Doppler US'nin temelini oluşturmaktadır. Bu esasa dayanılarak akan kanın içindeki şekilli elemanlarından yansıyan frekans değişiklikleri saptanarak akım yönü ve hızı incelenebilmektedir. Doppler kayması $(2 \times F_0 \times V \times \cos\theta/c)$ formülü ile ifade edilir. F_0 : transdüser frekansı, V : akım hızı, $\cos\theta$: Doppler açısı, c : sesin dokudaki ortalama hızıdır (1540cm/sn). Doppler sinyallerinin sağlıklı alınabilmesi ve doğru ölçümler yapılabilmesi için Doppler açısının 30–60° arasında olması gerekmektedir. Doppler açısı 90 derece olduğunda $\cos 90^\circ$ 'nin sıfır olması nedeni ile incelenen kesimden Doppler sinyali elde edilemeyecektir.

Eritrositler yaklaşık yedi mikron ortalama çapları ile Doppler sonografide kullanılan 300 mikron ve 5 MHz'lik dalga boyundan çok küçüktürler. Tek bir sonografik dalga yaklaşık 105 eritrositi aynı anda sayabilmektedir. Eritrositlerin gelişigüzel dağıldığı ve kanın bu nedenle non-homojen bir yapıya sahip olduğu düşünüldüğünde sonografik inceleme sırasında düzensiz fazlı ve zayıf amplitüdü çok fazla sayıda ekonun

transdüserine ulaşması kaçınılmaz bir sonuçtur. Doppler US'de, gönderilen ultrases dalgaları, vasküler yapılar içindeki eritrositlerin yüzeyinden Rayleigh-Tyndall adı verilen bu tür bir saçılma gösterir. Bu saçılma ses frekansının 4. kuvvetten üssü ile doğru orantılıdır. Frekansa bağımlı saçılma ve dokuda oluşan atenüasyon gibi faktörler Doppler incelemesi yapılacak damarın ciltten uzaklığı ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle kullanılan transdüserin frekans seçimi önemlidir (22,23).

Doppler US'deki inceleme parametreleri, kan akımının hızını belirleyen frekans kayması ve transdüserine dönen akımın yönünü belirleyen faz değişikliğidir. Faz değişikliğine (akım yönüne) göre kırmızı ya da mavi renk kodlaması gerçekleştirilirken, renklerin koyu ya da açık tonda görülmesi frekans kaymasının (akım hızının) sonucudur. Açık renkler ayrıca akım hızının yüksek, koyu renkler akım hızının yavaş oluşunu simgeler. Yavaş akımlar için yüksek, hızlı akımlar için ise düşük frekanslı transdüserler kullanılmalıdır.

Örnekleme hızı (Pulse Repetition Frequency): Transdüserlerde bulunan piezoelektrik kristalin arka arkaya uyarılması sonucunda pulslar ortaya çıkmaktadır. Doppler incelemelerinde bu pulsların tekrarlanma frekanslarına puls tekrarlanma frekansı (PRF) ya da örnekleme hızı adı verilir. PRF için transdüserden birim sürede gönderilen puls sayısı da denebilir. PRF kontrolü manuel olabildiği gibi bazı cihazlarda mevcut kontrol mekanizması ile örnek volümün derinliğine göre otomatik olarak da ayarlanabilmektedir. Doppler kayması PRF ile örneklenecek oluşturulduğundan, dokuya gönderilen US pulsuna geri alınmadan yeni bir puls gönderilmemelidir. Doppler pulsunun inceleme alanına ulaşması ve bir o kadar da transdüserine geri dönme süresine ihtiyaç duymasından dolayı PRF, ölçülecek Doppler kaymasının en az iki katı değerde tutulmalıdır. Doppler frekansını artırmak için PRF ve/veya Doppler açısı yüksek değerde tutulmalıdır (23).

Geliş açısı: Doppler eşitliğinde geliş (insonasyon) açısı Doppler kaymasını etkileyen parametrelerden biridir. Doppler incelemelerinde en uygun insonasyon açısı değerleri 30°-60° arasında değişmektedir (23).

Örnek volüm: Örnek volüm olarak ifade edilen parametre akım açısından kontrol edilecek doku hacmidir (23).

Duvar filtreleri: Yüksek frekansları geçiren, düşük frekansları ise zayıflatan ayarlanabilir bir devre olan duvar filtreleri kapiller bölge dışındaki damarsal yapıların sesi kuvvetle yansıtmasını önlemek için kullanılırlar. Yaklaşık olarak 50-1600 Hz'lik filtrasyon sağlarlar (23).

Çerçeve hızı (frame rate): Görüntü oluşturma ve tekrarlama hızıdır (23).

2.1.7 Doppler Ultrasonografide Gösterim Yöntemleri

Konvansiyonel US'de görüntü elde edebilmek için puls-eko sistemi ve kısa pulslar kullanılmaktadır. Pulsun boyu kısaldıkça dalga boyu spektrumu yani frekans bandı genişlemekte, görüntü rezolüsyonu artmaktadır. Doppler US'de yapılacak ölçümlerin daha duyarlı olması için dar frekans bandı tercih edilmekte ve bu da rezolüsyonda kayıplara neden olmaktadır. Doppler US'de puls-eko sistemi kural olmayıp farklı yöntemler sözkonusudur.

Sürekli Dalga Doppler: Bu inceleme yönteminde prob birbirine küçük bir açı ile bakacak şekilde komşu yerleştirilmiş iki kristalden yapılmıştır. Bu kristallerden biri sürekli olarak ses dalgası üretirken, diğeri sürekli olarak dönen ekoları kaydeder. Ultrases kesintisiz ve sürekli tekrarlandığından ve eko dinleme zamanı bulunmadığından aksiyel rezolüsyonu yoktur. Sadece inceleme alanında akım olup olmadığı hakkında bilgi verir. Obstetrikte fötal kalp seslerinin, kalp damar cerrahisinde ise periferik kanlanmanın varlığının araştırılmasında kullanılır (22,23).

Puls Doppler: Burada puls-eko sisteminde olduğu gibi hem verici hem de alıcı olarak çalışan bir transduser vardır. B Mod görüntü üzerinde Doppler incelemesi yapılacak alan işaretlenir. Bu alana 'örnekleme alanı' denir. Bir ses patlaması yapıldıktan sonra cihazın bütün verici ve alıcı devreleri susturulur. İlgilenilen örnekleme alanından yansıyan sesin transdüserine ulaşmasına kadar suskun kalan cihaz bu anda tekrar açılır ve sinyali aldıktan sonra tekrar kapanır. Aksiyel çözümü düşüktür, fakat frekans kaymasını saptamada doğruluk oranı yüksektir.

Gönderilen pulslar inceleme süresinin çok az bir kesimini kapsar, sürenin büyük bölümü ekoları saptamaya ayrılmıştır. Dolayısıyla yapılan iş örneklemedir. Bu örneklemenin doğru olabilmesi için örnekleme hızı (PRF) ölçülecek akım hızının en az iki katı olmalıdır. PRF Doppler sinyalinin maksimum frekansının iki katından küçük

olursa Aliasing artefaktı ortaya çıkar. Doppler uygulamalarında sinyali örnekleyebilen ve PRF'nin yarısına eşit, mümkün olabilen en yüksek frekansa "Nyquist Frekansı" denir (22).

Spektral Doppler: B mod görüntüleme ile Doppler analizi yapılacak bölge saptandıktan sonra örnekleme alanı işaretlenerek bu alandan dönen ekoların hız/zaman veya frekans/zaman grafiği şeklinde yazdırılmasına spektral inceleme denir. Spektral Doppler pratikte B-mod görüntüleme ile birleştirilerek kullanılır ve "Dupleks Doppler" yöntemi adını alır.

Kan akımının Doppler analizi için incelenecek damarın B-mod görüntüsü üzerinde önce bir örnekleme alanı işaretlenir. Bu alanın boyutu belirli sınırlar içinde değiştirilebilir. Daha sonra bu alana gönderilecek ses demetinin açısı belirlenerek incelemeye başlanır. Dönen ekolardan çıkarılan frekans farkı, monitörde B-mod görüntünün yanında frekans/zaman grafiği şeklinde canlı olarak yazdırılır. Uygulamada frekans değerleri ses demetinin açısına göre otomatik olarak hıza çevrilir ve spektrum genellikle hız/zaman grafiği şeklindedir. Monitörde ayrıca pik sistolik hız, diastol sonu hız, ortalama hız gibi akıma ait birçok sayısal değer de gösterilebilir.

Doppler grafik spektrumlarında zaman, saniyelere bölünmüş horizontal çizgi (x eksen) üzerinde, frekans veya hız ise kHz veya cm/sn olarak dikey çizgi (y eksen) üzerinde gösterilir. Kan akım yönü horizontal çizginin alt ve üst tarafları ile belirlenir. Genellikle ses demetine yaklaşan akım çizginin üstünde, uzaklaşan akım altında yazdırılır.

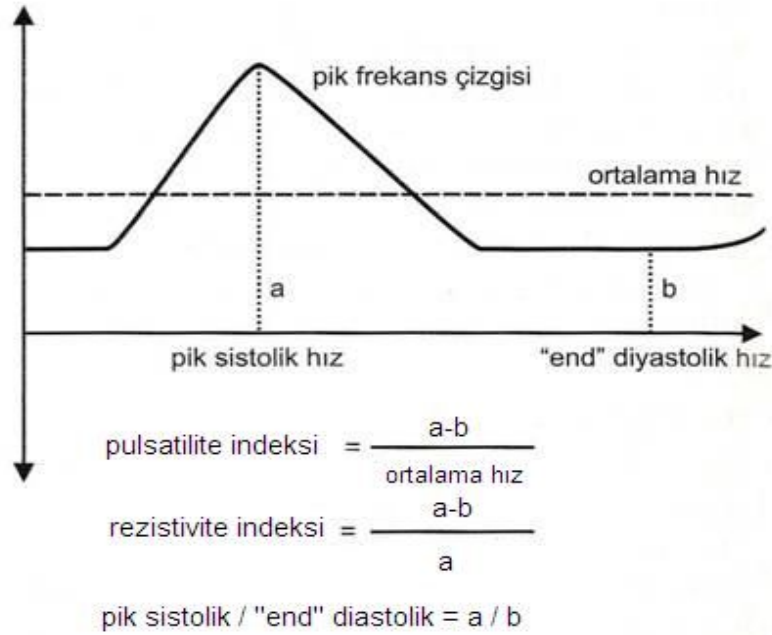
Akım içindeki hız dağılımı grafik bandının genişliğini belirler, hız çeşitlendikçe bant genişler. Akım bandı ile horizontal çizgi arasında kalan boşluğa spektral pencere adı verilir. Örnekleme hacmindeki akım hızı çeşitlendikçe bant genişleyerek bu pencereyi küçültür veya doldurur. Akım uniform oldukça tersine bant genişliği daralır ve pencere genişler.

Spektral Doppler uygulamalarında monitör üzerinde spektral analiz yanında inceleme alanının B-mod görüntüsü de bulunduğundan kan damarlarında daralma, trombüs, aterosklerotik-ülser plaklar, plak içine kanama gibi değişiklikler de değerlendirilebilmektedir (23,24,26)

Renkli Doppler: Aynı anda aynı görüntüde anatomi (yumuşak doku) ve fizyolojinin (kan akım hızı ve yönü) birlikte görüntülenmesini sağlar. Renkli Doppler incelemede akım hızı ve yönüne ait Doppler bilgisi renklerle gösterilmektedir. Vasküler yapı içinde görülen renkler faz şiftinin, renklerin tonu ise frekans şiftinin sonucudur. B-moddan farklı olarak renkli Dopplerde uzun pulslar kullanılmaktadır. Akım hakkında kalitatif bilgiler verir. Bu nedenle pratikte çoğunlukla hız-zaman spektrumu ile birlikte kullanılır ve renkli dupleks Doppler veya tripleks Doppler yöntemi adını alır (24).

Power Doppler: İlk kez 1994 yılında bildirilen bu tekniğe konvansiyonel anjiyografi özelliklerine benzemesinden ötürü US anjiyografi, renkli anjiyografi adları da verilmiştir. Renkli Doppler US'de görüntüyü oluşturan temel prensip Doppler şiftiyken, power Doppler'de Doppler sinyallerinin gücüdür. Power Dopplerde eko sinyallerinin gücü örnekleme hacmi, örnekleme hacmindeki eritrosit yoğunluğu ve inceleme alanıyla transdüser arasında kalan dokuların atenuasyonuna bağlıdır. Kodlama genellikle tek bir renk kullanılarak yapılır. Sinyallerin gücü bu renkte parlak ve sönük tonlar şeklindedir. Power Doppler, dupleks ve renkli Doppler incelemelerinden farklı olarak akım yönü ve hız bilgisi sağlamaz. Doppler açısına bağlı olmadığından aliasing ortadan kalkmış, gürültü azalmıştır; ancak Doppler bilgileri daha uzun sürede toplandığından hareketlere karşı daha hassas hale gelmiştir. Yapılan çalışmalar vasküler yapıların kontur keskinliğinin ve özellikle küçük ve derin yerleşimli vasküler yapılarda akım devamlılığının tanımlanmasında power Dopplerin renkli Dopplere üstün olduğu yönündedir. Ayrıca bu yöntemle doku perfüzyonu değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir (23).

Akımın Değerlendirilmesi: Doppler US ile elde edilen akım bilgileri kalitatif veya kantitatifdir. Akımdaki değişiklikleri göreceli olarak değerlendirmek amacıyla yapılan ölçümler ise yarı kantitatif akım bilgileri verir. Doppler US ile elde edilen kalitatif akım bilgileri akımın varlığı, yönü ve şeklidir. Akımın hızı ve hacmi ise kantitatif akım bilgileridir. Pik sistolik/diyastol sonu hız indeksi, rezistivite indeksi (RI) ve pulsatilite indeksi de yarı kantitatif akım bilgileridir (24) (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Akımın yarı kantitatif değerlendirilmesinde indeksler.Tuncel E. (24)'den alınmıştır.

2.1.8 Doppler Ultrasonografide Görülen Artefaktlar

Aliasing: Örnekleme hızının ölçülecek Doppler kaymasının iki katından az olduğu durumlarda oluşur. Aliasing şiddetli ve hafif olmak üzere iki formda görülebilir. Şiddetli aliasingde renk mozaiği izlenirken, hafif aliasingde her iki yönde akım varmış gibi renk karmaşası vardır. Şiddetli aliasing'i saptamak kolaydır. Hafif aliasing ters akımla karışır. Ayırım ters akım varlığında, akımı çevreleyen siyah çizginin aliasingde görülmemesiyle yapılır.

Doppler açısı artırılarak (Doppler kaymasını azaltır), hız skalası artırılarak (PRF'yi artırır), baz çizgisi ayarlanarak veya daha düşük frekanslı prob kullanılarak aliasing giderilebilir (23,27).

Uygulama açısına bağlı artefaktlar: Yüksek uygulama açılarında, düşük sinyal oranlarında ve yüksek "receiver gain" kullanıldığında Doppler spektrumunda sıfır çizgisinin her iki tarafında birbirinin ayna görüntüsü şeklinde hız eğrileri oluşabilir. Buna ayna artefaktı denir. Uygulama açısının neden olduğu diğer bir görünüm ise sektör tip transdüserlerde vasküler yapının her iki uçta farklı renklerde kodlanmasıdır. Bu

görünüm sektör transdüserlerde ses demeti ile cilt yüzeyi arasındaki açının merkezde yüksek olması, uçlara doğru ise giderek azalması ile açıklanmaktadır (23).

Derinlik ikilemi artefaktı: PRF'nin gereğinden daha yüksek seçildiği durumlarda veya düşük frekanslı transdüserlerde, derin dokulardan gelen sinyaller bir sonraki pulsun gönderilişinden sonra transdüserine geri dönebilmekte ve gönderilen ikinci pulsun dönen sinyaliymiş gibi algılanabilmektedir. Bu durumda algılanan sinyal, görüntünün yanıltıcı olarak daha yüzeysel konumda lokalize edilmesine ve yüzeysel dokularda akım varmış gibi görünmesine neden olmaktadır. Bu artefaktı önleyebilmek için yüksek frekanslı transdüserler kullanılmalı ve PRF normalden fazla artırılmamalıdır (23).

B-mod benzeri ayna görüntüsü artefaktı: İki güçlü yansıtıcı yüzey arasında sesin yansımaları sonucunda ekoların transdüserine ulaşma sürelerinin değişmesine bağlı olarak ortaya çıkar. Bu durumda incelenen yansıtıcı gücü yüksek objenin, diğer yansıtıcı yüzeyin arkasında ayna hayali şeklinde görüntüsü oluşmaktadır. Bu tür artefaktlarla daha çok subklavian, brakial ve karotis arter incelemelerinde karşılaşmaktadır. Bu artefaktlardan power ya da color gain azaltılarak, insonasyon açısı değiştirilerek ya da bunların ikisi kombine edilerek kaçınılabılır (23).

“Color-overwrite” artefaktı: Akıma duyarlılığın arttırıldığı şartlarda ortaya çıkan bir artefaktır. Hipo ya da anekoik bir alanda akım varmışçasına renklenme olduğu görülür. Hastanın hareketi ya da solunum hareketlerinin dokuda oluşturduğu frekans kayması, çok yavaş olan akımların frekans kaymasına yakın değerlerde olabilir. Yumuşak dokudan dönen ekoların amplitüdü akımdan dönenlerden çok yüksektir. Yüksek amplitüdü ekolar gri ölçek ile hipoekoik ya da anekoik alanlardan gelen düşük amplitüdü ekolar ise renkli olarak kodlanırlar. Bu durumda da, kist ve benzeri düşük ekojeniteli oluşumlar yanlışlıkla akım izlenen alanlarmış gibi renklenebilir (23,24).

Tanımlanan artefaktları tecrübe edindikten sonra tanımak çok zor olmamakla birlikte ayırmda emin olunmayan durumlarda spektral Doppler'den yararlanılabilir.

2.1.9 Harmonik Görüntüleme

Doku içerisinde yayılan ses demeti, yayılma devam ettikçe artan bir şekilde doku ile etkileşim göstermektedir. Ses dalgası doku içinden geçerken dalga özelliğinin de

etkisi ile dokuyu komprese ve ekspanse ederek yayılır. Komprese edildiği durumda doku sesi daha hızlı iletirken, ekspanse olduğu durumda daha yavaş ileterek sesin yayılım şeklini lineer olmaktan çıkarır. Bu non-lineer yayılımın ortaya çıkarılması ile kontrast rezolüsyonunu bozan ve artefaktların oluşmasına neden olan bazı düşük basınç alanlarının filtre edilebileceği düşünülmüştür.

Bir sinüs eğrisi ile gösterilebilen ses dalgası, doku içinde yayılırken bir süre sonra sesin yüksek basınçlı komponenti alçak basınçlı komponentine göre farklı bir konum kazanmaya ve sinüs eğrisi bozulmaya başlar. Bu bozulma dalgaının frekansında bazı değişiklikler ortaya çıkarır. Yeni frekans, başlangıç frekansının katları şeklindedir. Bu yeni frekansa “doku harmonikleri” adı verilir. Transduser dokuda oluşacak bu harmoniklerin frekansına göre ayarlanırsa, birçok artefaktan ve gürültüden arındırılmış görüntüler oluşturmak mümkün olur. Böylece harmonik oluşturmaya enerjisi yetmeyen ancak normalde artefaktları meydana getiren ses komponentleri filtre edilir. Harmonik demetler probdan çıkan ses demetinden daha dar olduğu için harmonik görüntüleme gürültü ve saçılma azalmıştır. Bu da uzaysal çözümlemenin artmasını sağlar (22,24).

Cilde yakın bölgelerde harmonik oluşturabilecek kadar etkileşim olmadığından, çok derin bölgelerde de sesin enerjisi dokular tarafından absorbe edilerek azaltılıp harmonik oluşturabilecek eşik enerji değerinin altına düşürüldüğünden bu iki bölgede harmonikler oluşmaz. Bu nedenle harmonik görüntüleme yüzeysel dokuların ve çok derin dokuların incelenmesinde kullanılamaz. Harmonik görüntüleme karın duvarındaki yağın etkisini en aza indirir ve obez hastaların değerlendirilmesinde uygun bir yöntemdir (23,25).

2.1.10 Ultrasonografik Kontrast Maddeler

Ultrasonografik kontrast maddeler kana veya bir kaviteye verilen ve ultrasonografik sinyalleri arttıran ekzojen maddelerdir.

Günümüzde stabilize edilmiş mikrobaloncuklar güvenli ve etkin ultrasonografik kontrastlar olarak kullanılmaktadır. İntravenöz olarak verilebilirler ve eritrositlerden çok daha küçük olduklarından pulmoner kapiller yataktan geçebilirler. İntravenöz enjeksiyon veya infüzyon sonrası sağladıkları kontrastlanma dakikalarca sürer ve inceleme için

yeterli süre sağlar. Ultrasonografik kontrast maddelerin kapsüle olan ve kapsüle olmayan mikrobaloncuklar olmak üzere iki temel tipi vardır.

Ultrasonografik kontrast maddeler tüm modalitelerde Doppler incelemeyi kolaylaştırır ve harmonik veya faz silme görüntüleme de gri skalada kontrastlanma oluştururlar. Yüksek mekanik indeks değerlerinde mikro baloncuklar parçalanıp yüksek miktarda harmonik içerikten zengin akustik enerji oluşturur. Mikrobaloncuklar düşük mekanik indekslerde parçalanmayıp rezonans oluşturarak böbrek ve miyokard gibi birçok organda perfüzyonu görüntülemeye izin verirler. Mikro baloncuklar gri skala ve Doppler sinyalinde 300 kata kadar artışa neden olurlar (22).

2.1.11 Ultrasonografide Üç Boyutlu (3B) Görüntüleme

3B görüntüleme bir seri iki boyutlu görüntüden elde edilir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için artefaktlar tarafından engellenmeyen iyi nitelikli iki boyutlu görüntüler alınabilmesi gerekir. Veriler elde edildikten sonra multiplanar (çok planda) görüntü reformasyonu (yeniden oluşturulması), yüzey görüntüleme ve sanal endoskopi gibi yöntemlerle 3B rekonstrüksiyonlar (yeniden yapılandırılması) yapılır. Bu yöntem özellikle obstetrik US’de kullanılmaktadır.

Elektronik ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler 3B rekonstrüksiyonu hızlandırmıştır. Bu şekilde hızlı 3B rekonstrüksiyonlarla incelemenin “canlı 3B” görüntüler şeklinde oluşturulmasına dört boyutlu (4B) görüntüleme adı verilmiştir (22,24). Yani real time 3B görüntüleme; 4B görüntülemedir.

2.1.12 Ultrasonografinin Biyolojik Etkileri

Ultrasonografi iyonizan radyasyon içermeyen, ucuz, taşınabilir, gerçek zamanlı değerlendirme sağlayan bir yöntemdir. Bu nedenle günlük pratikte sık kullanılan bir görüntüleme yöntemidir.

Ultrasenin oluşturduğu etkiler güç ve intensite ile ilişkilidir. Güç (power), enerjinin oluşum, soğurulma ya da akış hızıdır. Birimi watt (W)’dır ve 1 joule/sn olarak tanımlanır. İntensite, birim alandan geçen enerji akımıdır ve birimi W/cm^2 veya mW/cm^2 ’dir. $100 mW/cm^2$ ’nin altındaki güçlerde hiçbir etki görülmez. Bununla birlikte iki indeks vardır:

Termal indeks (TI): Biyolojik dokuların absorbe ettiği enerji ısı artımına neden olur. Diagnostik incelemelerde bu değer 1° - 2° C olabilir. En çok yumuşak doku-kemik sınırındaki kemikte ısı artımı görülür.

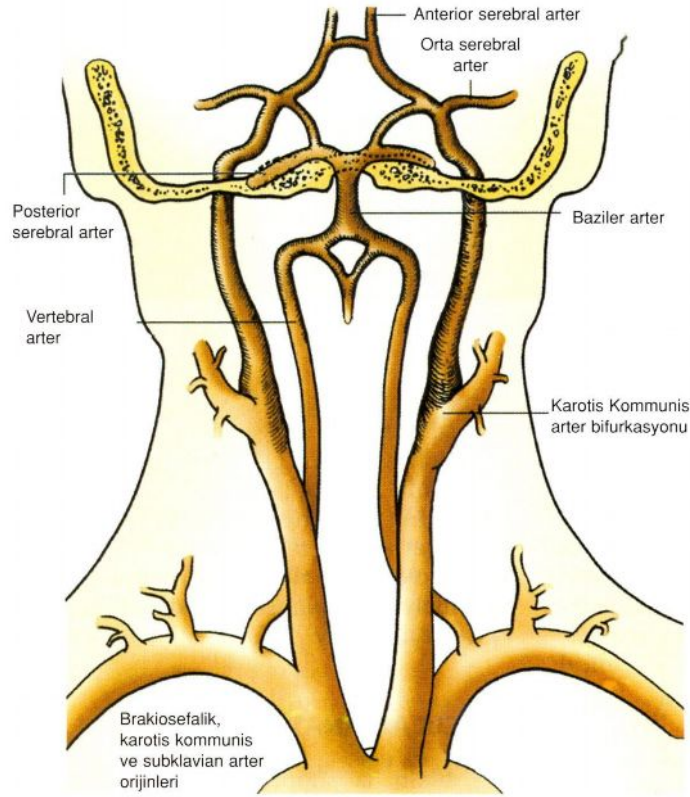
Mekanik İndeks (MI): Ses dalgasının negatif kesiminin dokuda oluşturduğu kavitasyondur. H ve OH⁻ gibi serbest kökler oluşturarak DNA'yı etkileyebilir. Diagnostik amaçlı kullanım, yumuşak dokudaki bu MI etkileşim seviyesinin (1 kW/cm^2) çok altındadır (24,25).

Günümüzde kullanılan diagnostik yoğunluk düzeyleri ve inceleme süreleriyle insanlar üzerinde herhangi bir biyolojik etki izlenmemiştir. Amerika tıpta ultrason enstitüsünün biyolojik etki komitesi (The Bioeffects Committee of the American Institute of Ultrasound in Medicine) bu konudaki verileri inceleyip, yoğunluk değerlerini içeren bir rehber hazırlamıştır (28).

2.2. Ekstrakranial Serebrovasküler Değerlendirme

2.2.1 Anatomi

Çıkan aorta, kalbin sol ventrikülünden köken alır. Transvers aortik ark, süperior mediastinumda uzanır ve aortanın çıkışının sol ana bronş üzerinde sağdan sola, posteroinferiora dönüşü ile oluşur. Arkusun süperior konveksitesinden üç ana arter çıkar. Brakiyosefalik trunkus ilk dal, sol ana karotid arter ikinci dal ve sol subklavyan arter üçüncü daldır (29). Brakiyosefalik turunkus, sağ sternoklaviküler eklem düzeyinde sağ ana karotid arter ve sağ subklavyan arter şeklinde dallanır ve sağ vertebral arter sağ subklavyan arterden köken alır. Sol ana karotid arter brakiyosefalik arterin arkustan çıkımının hafif solundan köken alır, sol vertebral arteri veren sol subklavyan arter çıkımı tarafından takip edilir. Her iki karotid arter de boyunda iki ayrı karotis kılıfı içinde yükselirler (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Ekstrakranial vasküler anatomi. Zwiebel ve ark (27)'den alınmıştır.

Ana arkus damarlarının anatomik varyasyonları sıklıdır. En sık karşılaşılan varyasyon (yaklaşık %10) sol ana karotid arterin brakioyosefalik arter ile ortak orijininin olması veya doğrudan brakioyosefalik arterden köken almasıdır. Daha az sıklıkla sol vertebral arterin doğrudan arkustan köken alması, sağ subklavyan arterin, sol subklavyan arter distalinde arkustan köken alması (paradoksal sağ subklavyan arter), sağ ana karotid arterin doğrudan arkustan köken alması ve sol ana karotid, sol subklavyan arterin köken aldığı sol brakioyosefalik arter varyasyonları olabilmektedir (29,30,31).

Ana Karotid Arter: Her iki ana karotid arter, süperior mediasten boyunca, anterolateralde, yukarı doğru seyrederek ve boyunda juguler ven medialinde uzanırlar. Sol ana karotid arter, arkus aortadan köken alması nedeniyle genellikle sağdan daha uzundur (31,32). Boyunda karotid arter, juguler ven ve vagus siniri, karotid kılıfı denilen bağ doku ile sarılıdır. Vagus siniri, arter ve venin arasında ve dorsalde uzanır. Ana karotid arter genellikle dal vermez ancak bazen süperior tiroid arter ana karotid arter orijinli

olabilir. Ana karotid arterin sonlanması, internal ve eksternal karotid arterin başlangıcı olan karotid bifurkasyonundadır. Ana karotid arter (CCA), tiroid kıkırdağın süperior kenarı yakınında (yaklaşık C4) ikiye ayrılır ve ana karotid arter bifurkasyon seviyeleri asimetrik olabilir. Ana karotid arterin iki uç dalına ayrıldığı noktada bulunan dilatasyona “sinus karotikus” denir. Sinus karotikus internal karotid arterin başlangıç kısmında da devam eder. Burası bir basınç reseptörüdür ve refleks olarak, basınç değişikliklerine göre, beyine giden kan miktarını ayarlar (30). Ana karotid arter bifurkasyonu T2 seviyesine kadar düşük veya C1 seviyesine kadar yüksek lokalizasyonda olabilir (30,31).

İnternal Karotid Arter: İnternal karotid arter (ICA), CCA'nın uç dallarından genellikle büyük olanıdır. ICA dört ana segmente ayrılır: Servikal, petröz, kavernöz ve supraklinoid.

ICA'nın servikal kısmı CCA bifurkasyonu düzeyinde başlar ve kafa kaidesine dek uzanır. ICA karotid kılıf içerisinde ve sternokleidomastoid kasın derininde seyredir. Bireylerin çoğunda ICA, eksternal karotid arterin (ECA) posterolateralinde uzanır. Servikal ICA orijininde, normal olarak bulbus diye adlandırılan hafif bir dilatasyon gösterir. Karotid bulbus, distal CCA, proksimal ICA ve proksimal ECA'yı içerebilir. Servikal ICA genellikle dal vermez. Yaş ve ilerleyen ateroskleroz nedeni ile servikal ICA kıvrıntılı veya katlantı (kink) yapmış şekilde izlenebilir. Petröz segment kafa tabanından petröz kemik apeksine uzanır. Yaklaşık 1cm'lik vertikal ve 3-4 cm'lik horizontal parçalardan oluşur. Kavernöz segment, petröz apeksten karotid kanala kadar olan prekavernöz ve dorsum sella alt kenarından ön klinoid medialine kadar uzanan intrakavernöz parçalardan oluşur. Supraklinoid segment durayı geçtikten sonraki ön ve orta serebral arter dallanmasına kadar olan kesimdir (29,30).

Eksternal Karotid Arter: Eksternal karotid arter (ECA) orta servikal düzeyde başlar ve genellikle CCA'nın iki uç dalından küçük olanıdır. Başlangıçta ICA'nın anteromedialinde uzanır ancak yukarı çıktıkça posterolateralde seyredir. Populasyonun yaklaşık %15'inde ECA, ICA lateralinden köken alır. Bu anatomik varyasyon sağda daha sıklıkla meydana gelir.

ECA'nın sekiz dalı: a.tiroidea süperior, a.faringea assendens, a.lingualis, a.fasialis, a.oksipitalis, a.aurikularis posterior ve uç dalları; a.temporalis süperfisialis ve a.maksillaristir (29,30).

ECA dalları ve intrakranial dolaşım arasındaki sayısız anastomoz, özellikle ICA'da ağır darlık durumunda ECA'nın serebral perfüzyon için kollateral yol olarak görev yapmasını sağlayarak klinik önem taşır. Bu ICA ile ECA arasında anastomozlardan en önemlileri; maksiler arter–oftalmik arter, fasiyal arter–oftalmik arter, dural kollaterallerdir (oksipital, asendan faringeal, orta meningeal) (32,33).

Vertebral Arter: Vertebral arterler subklavyan arterlerin ilk dalıdır (%95). Sol vertebral arter %5 direk olarak arkus aortadan orijin alır (sol subklavyan ile ana karotid arasından). %50 soldaki arter dominanttır, %25 vertebral arterler kodominant ve %25 sağ arter dominanttır.

Vertebral arter (VA) dört segmente ayrılır: Ekstravertebral, intervertebral, horizontal ve intrakranial. Vertebral arterlerin subklavyan arterden çıkışları ile C6 forameni arasında kalan serbest segmenti V₁ (ekstravertebral), C2 ve C6 transvers foramenleri arasında kemik kanal içinde seyreden segmenti V₂ (intervertebral), distalde C2 transvers forameninden çıkıp, atlas kemiği çevresinden dolaşarak, derine foramen magnuma uzanan segmenti V₃ (horizontal) ve kranium içinde kalıp karşı taraf VA ile birleşerek, baziler arteri oluşturan son segmenti V₄ (intrakranial) adını alır (31,34).

2.2.2 Kan Akışı ve Kontrol Eden Fizyolojik Faktörler

Kan damarları fizyolojik ihtiyaçlarına uyumlu olarak yapılıdır. Bu yüzden karotid arterler gibi sistemik arterlerin (yüksek basınçlı sistem) duvarları, pulmoner arterlerin (düşük basınçlı sistem) duvarlarına nazaran daha kalındır. Karotid arterlerde de diğer arterlerin yapısal özelliklerine benzer şekilde endotel ve seyrek düz kas hücreleri içeren gevşek bağ dokusunun oluşturduğu tunika intima, düz kas hücrelerinin konsantrik tabakalarından oluşan tunika media, media ile intimayı ayıran internal elastik lamina, en dışta ise kollajen ve elastik liflerden oluşan tunika adventisya bulunur (35).

Kan akışı damar duvarının elastisitesi (komplians), damar düz kas tonusu, damarların çapları, dallanma paternleri, bağlantıları ve kardiyak fonksiyon gibi bir çok faktörden etkilenmektedir.

Dolaşım sisteminde herhangi iki nokta arasında kan akışının gerçekleşmesi için bu iki noktanın basınç düzeyleri arasında fark olmalıdır. Dolaşım sistemi yüksek basınçlı arteriyel havuz ile düşük basınçlı venöz havuzdan oluşur.

Akış sırasında, kanda tabakalar ve parçacıklar arasında oluşan sürtünme nedeniyle sürekli enerji kaybı olur. Bu yüzden arteriyel taraftan venöz tarafa ilerledikçe hem enerji hem de basınç düzeyleri düşer. Akan kan içerisindeki mevcut olan ana enerji türü damar duvarında gerilmeye (potansiyel enerji) neden olan ve kalbin pompa fonksiyonu ile oluşturulan basınçtır. Ancak kanın bir kısım enerjisi kinetiktir. Kanın kinetik enerjisi, yoğunluğu ve hızının karesi ile orantılıdır. Bu yüzden, sistemik dolaşımında akış hızlı olduğunda ve lümen daralmasının akış hızında artışa yol açtığı stenotik lezyonlarda kinetik enerjide önemli yükselmeler meydana gelir.

Birçok damarda kan konsantrik tabakalar ya da laminalar (sütunlar) halinde hareket eder; bu nedenle akımın laminar olduğu söylenebilir. Her bağımsız tabaka farklı hızlarda akış göstermektedir. Damarın duvarına yakın tabaka yavaş bir hızla akmakta iken damarın merkezinde yer alan tabaka en yüksek akış hızına sahiptir. Damar boyunca oluşan ortalama hız maksimum hızın yarısına eşittir. Akış hızının değişme oranı duvara yakın kısımlarda daha fazla ve merkeze yakın kısımlarda daha azdır.

Poiseuille's yasasına göre silindirik tüp modelinde, laminar akışın ortalama hızı tüpün uçları arasındaki enerji farklılığı ve çapın karesi ile doğru orantılı, tüpün uzunluğu ve kanın akışkanlığı ile ters orantılıdır. Ancak, dolaşım sisteminde kanın akış hızından daha ziyade akış hacmi önemlidir. Akış hacmi, tüpün kesitsel alanı ve ortalama akış hızının çarpımına eşit olduğu için damar çapının dördüncü kuvveti ile doğru orantılıdır ($Q = \frac{\pi(P_1 - P_2)r^4}{8L\eta}$); Q akış hacmini; P_1 ve P_2 sırasıyla tüpün proksimal ve distal uçlarındaki basıncı; r ve L sırasıyla tüpün çapı ve uzunluğunu; ve η kanın akışkanlığını ifade etmektedir. Kanın akış hacmi çapın dördüncü kuvveti ile doğru orantılı olduğu için, çaptaki ufak değişiklikler akış hacminde büyük oynamalara neden olmaktadır. Örneğin, çaptaki %10'luk azalma tüpün akış hacminde %35'lik azalmaya ve %50'lik azalma akış hacminde %95'lik azalmaya neden olur. Kardiyovasküler sistemde damarların uzunluğu ve kanın akışkanlığı fazla değişmeyeceği için kanın akışındaki

temel değişimler damarların çap ve kan akışı için gerekli basınç enerji düzeylerindeki değişimler sonucunda olmaktadır.

Direnç (rezistans; R) terimi kanın akışkanlık özelliklerine ve damarların çapına bağlıdır. Direnç basınç farklılığının akış hacmine bölünmesiyle elde edildiği için, bir birimlik akış elde etmek için gerekli basınç farklılığı olarak düşünülebilir. Direnç kanın damarlardan geçişindeki zorluğu gösteren bir belirteçtir, damarlar arası çok sayıda bağlantılardan etkilenmektedir. Seri bağlı damarlarda, toplam direnç her bir damarın direncinin toplamına eşittir. Paralel bağlı damarlarda ise toplam direncin tersi her bir damardaki direncin terslerinin toplamına eşittir. Böylece, vasküler yatakta her bir damarın toplam vasküler dirence katkısı, ya da damar çapındaki değişimin etkisi, seri yada paralel bağlı diğer damarların varlığına ve görece çaplarına bağlıdır. Kanın akışkanlığının değişmesi, hematokrit, ısı, damar çapı ve akış oranı vasküler direnci etkilemektedir.

Dolaşımında laminar akışta değişik düzeyde sapmalar meydana gelmektedir. Bu sapmalardan sorumlu faktörler:

- 1- Akış hızı: Kardiyak siklus boyunca sistol sırasında hızlanma ve diyastol sırasında yavaşlama şeklinde dinamik değişim
- 2- Her kalp akımında damar çapında meydana gelen değişim
- 3- Kıvrımlarda, bifurkasyonlarda ve değişik açılardan çıkan dallanmalarda akım yönündeki değişikliklere bağlı ortaya çıkan değişimdir.

Bu ve diğer faktörler nedeniyle laminar akım bozulur ya da türbülans (karışık ve düzensiz) akım gösterebilir. Yoğunluk ve akışkanlık göreceli olarak sabit olduğundan, türbülans gelişimi temel olarak damarların çapına ve akış hızına bağlıdır. Dolaşım sisteminde; vücut hareketleri, kan akışının pulsatil özelliği, damar çapındaki değişim, endotel yüzeyinin pürüzlülüğü ve diğer faktörlere bağlı olarak değişik derecelerde türbülans ve bozulma meydana gelir. Türbülans büyük damarlarda yüksek akış varlığında daha kolay oluşur ve klinik olarak üfürüm ve titreşim bulguları ile tespit edilebilir. Türbülans, yüksek hızda ve kinetik enerjide jet akımın darlık bölgesine göre daha düşük hız ve enerji düzeyindeki normal çaptaki yada çapı artmış (poststenotik dilatasyon nedeniyle) damarla karşılaşması neticesinde oluşur.

Kalbin pompa fonksiyonu dolaşımın arteryel tarafında yüksek hacimde kan bulunmasını sağlar ve arteryel ile venöz yüzler arasında akışın devam etmesi için gerekli basınç farklılığını sağlar. Her bir kalp atımı ile arteryel sisteme arteryel ağaç boyunca bir basınç dalgası oluşturacak şekilde kan boşaltılır. Yayılımın hızı, büyüklüğü (kuvvet) ve basınç dalgasının şekli arteryel sistem boyunca değişir. Kalbin pompa fonksiyonu nedeniyle basınç ve akış pulsatil şekilde değişir. Ventriküler ejeksiyonun hızlı fazında arteryel yüzdeki kan basıncı sistolik pik (tepe, en üst değer) oluşturacak şekilde artar. Sistolün daha sonraki fazlarında, kardiyak ejeksiyon azaldığında periferel damarlardan geçen kan miktarı kalp tarafından sağlanan hacmi aşarak basıncın azalmasına neden olur. Bu düşüş kanın arterlerden mikrosirkülasyona geçtiği diastol boyunca devam eder. Kalbin bir kısım iş gücü akışın ileri doğru olmasını sağlarken, her bir kardiyak kontraksiyon ile sağlanan büyük orandaki enerji ise arterlerin gerilmesine yol açar. Bu depo edilmiş enerji ve kan hacmi diastol süresince dokulara kan akışının sağlanmasına imkân tanır.

Arteryel basınç dalgasının büyüklüğü ve şekli ventrikül ejeksiyonunun atım hacmi ve zaman seyri, periferel direnç ve arter duvarlarının sertliği gibi faktörlerin karmaşık etkileşimlerine bağlıdır. Arteryel basınç dalgasının yayılma hızı, arter duvarları sertleştikçe ve duvar kalınlığının damar çapına olan oranı fazlalaştıkça artar (36,37).

Dolaşımın en temel kurallarından birisi her dokunun kendi kan akımını metabolik ihtiyaçlarına göre yine kendisinin belirlemesidir. Her organa giden kan akımı, o organın minimal ihtiyaçlarını karşılayacak oranda düzenlenir. Lokal kan akımının bu şekilde kontrol edilmesi dokuların beslenme bozukluğu ile karşılaşmasını engellerken kalbin iş yükü de minimumda tutulmuş olur. Kan akımının lokal kontrolü akut ve uzun süreli olmak üzere ikiye ayrılır: Akut kontrol arteriyoller, metarteriyoller ve prekapiller sfinkterlerin lokal konstrüksiyonlarındaki hızlı değişikliklerle gerçekleştirilir ve doku için gerekli kan akımını sağlamak üzere dakikalar veya saniyeler içinde görülür. Lokal kan akımının akut kontrolünde dokudaki metabolizma hızı, dokunun oksijen ihtiyacı, dokuya gelen kandaki glikoz miktarı önemlidir. Uzun süreli kontrol ise günler, haftalar hatta aylar içinde akımda meydana gelen yavaş değişiklikler anlamına gelir. Genel olarak uzun sürede meydana gelen değişiklikler dokuların ihtiyacı olan kan akımının

kontrolünde daha iyi sonuçlar verir. Bu değişiklikler dokuya kanı getiren damarların sayısında veya fiziksel boyutlarında artma ya da azalma şeklinde kendini gösterir (38).

2.2.3 Karotid Vertebral Sistemin Doppler Ultrasonografik Değerlendirmesi

Karotid arterlerin incelenmesinde temel yöntem kateter anjiyografisidir, ancak invaziv olduğu için tarama testi olarak kullanılmaz. Kateter anjiyografisi genellikle stent koyulacak veya operasyon planlanan olgularda uygulanır. Günümüzde karotid arter sisteminin incelenmesinde tarama yöntemi olarak dupleks renkli Doppler yöntemi kullanılır. Tarama testi olarak kullanılabilen diğer yöntem MR anjiyografidir. MR anjiyografi US yerine veya birlikte kullanılabilir. Karotid sonografi noninvaziv ve ucuz bir görüntüleme metodu olduğundan ekstrakranial karotid arterlerin aterosklerotik hastalık şüphesinde büyük oranda anjiyografinin yerini almıştır. Karotid Doppler US endikasyonları şu şekilde özetlenebilir (39,40):

- 1- Transiyent iskemik atak (TIA) veya inme hikâyesi
- 2- Karotid arterlerde üfürüm
- 3- Amorozis fugaks
- 4- Büyük kalp/damar ameliyatları öncesi
- 5- Damardaki lezyonun progresyonunu izlemek
- 6- Endarterektomiden sonra restenozu araştırmak
- 7- Pulsatil boyun kitlelerinin değerlendirilmesi
- 8- Karotid diseksiyon takibi

Karotid Dupleks Görüntüleme Tekniği

Yüksek frekanslı (7-10 MHz) lineer dizilimli prob kullanılır. Renk, proba ilişkili kan akımı yönüne bağlı olarak ayarlanmasına (yaklaşan kırmızı veya uzaklaşan mavi) rağmen kırmızı renk genellikle arterlere ve mavi renk venöz kan akımına verilir. Doppler örnekleme hacmi küçük tutulur. Damar duvarına 60 derece veya daha az açı kullanılır. Renk ve hız skalası (örnekleme hızı [PRF]) değişen hız paternlerini değerlendirmek için tetkik esnasında ayarlanmalıdır. Renk ve Doppler duvar filtreleri düşük tutulur. Renk kutusu genişliği çerçeve hızını (saniyedeki görüntü çerçevelerinin sayısı) etkiler, dolayısıyla renk görüntüsü mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. Renk,

görüntü ve Doppler kazancı tetkik boyunca sinyal-güç değişikliklerine göre ayarlanmalıdır.

Karotid görüntüleme hasta supin pozisyonda yatarken gerçekleştirilir. Hastanın başı yastıkla desteklenip boyun hafif ekstansiyona getirilir ve baş görüntülenecek tarafın karşısına hafifçe döndürülür. Sternokleidomastoid kas kenarı boyunca ultrason jelinin uygulanmasını takiben prob klavikulanın üst kesimine yerleştirilir. Karotid sistem incelemesinde, arterlerin ve ana karotid arter bifurkasyonunun lokalizasyonu, damar tortuozitesi ve aterosklerotik plakların yerlerinin tanımlanması amacıyla ilk olarak gri skalada değerlendirme yapılır. Gri skala değerlendirmesi transvers ve longitudinal olarak her iki planda gerçekleştirilir. Longitudinal görüntülemelerde ana karotid arter (CCA) belirlenip klavikulanın izin verdiği ölçüde proksimale dek izlenir. CCA, internal juguler venden, venin solunumla değişmesi ve probun basıncı ile komprese olması nedeni ile ayırt edilebilir. Brakiyosefalik arterden köken aldığı için sağ CCA orijini lokalize edilebilmekle birlikte, arkustan köken alması nedeni ile sol CCA orijini genellikle lokalize edilemez. Düşük frekanslı prob kullanımı ve küçük sektör proba inferiora açılma ile bazı vakalarda sol CCA orijini lokalize edilebilir. Prob baş yönüne ilerletilip karotid bifurkasyon düzeyine (genellikle tiroid kıkırdak üst düzeyi hizasına denk gelir) dek ana karotid arter takip edilir. Ana karotid arterin dikkatli görüntülenmesi bu damarda plak olabileceği için önemlidir. Ana karotid arter bifurkasyonu aterosklerotik hastalık gelişimi için uygun bir bölgedir. Bifurkasyonda prob eksternal karotid arter ve internal karotid arter orijinlerini görmek için hafifçe anteriora ve posteriora hareket ettirilir. Angulus mandibulaya kadar tek tek internal karotid arter ve eksternal karotid arter distal kesimleri izlenir. Aterosklerotik plak varlığında servikal karotid arterleri tam olarak değerlendirmek için çok sayıda longitudinal görüntü (sternokleidomastoid kas anterior, lateral ve posteriorundan) ve transvers görüntü gereklidir. Lateral yaklaşım karotid sistemin iyi şekilde görüntülenmesini sağlamakla birlikte distal internal karotid arter genellikle posterior yaklaşımla en iyi şekilde görüntülenir. Transvers görüntü, arterin en iyi kesitsel görünümünü sağlar, bu nedenle damar çapı ya da plak ölçümü bu düzlemde yapılmalıdır (41). Longitudinal düzlemde normal karotid arter duvarının tabakaları hipoekoik-anekoik bir bölge ile ayrılmış iki

ekojenik paralel çizgi şeklinde görülür. Damar lümeni sınırındaki birinci ekojenik çizgi lümen-intima ara yüzeyini gösterir. İkinci ekojenik çizgi media-adventisya ara yüzeyini gösterir. İki ekojenik çizgi arasındaki hipoeoik-aneikoik bölge damarın media tabakasıdır. Bu iki ekojenik çizgi arasındaki mesafe intima ve medianın toplam kalınlığını ifade eder ve intima-media kompleksi olarak ifade edilir. İntima-media kompleks kalınlığının 0.8 mm'den fazla olması anormaldir ve aterosklerotik hastalığın en erken bulgusudur (39,42).

Karotid sistemin renkli Doppler ve Doppler incelemesi ultrases demeti ve damar duvarı arasında 60 derecelik açıyla longitüdinale düzlemde gerçekleştirilir. Sabit Doppler açısının kullanımı aynı bireyde tekrarlayan çalışmaların karşılaştırılmasına izin verir. Ölçüm hatalarının artması nedeniyle 60 dereceden fazla ve 30 dereceden az Doppler açıları önerilmemektedir. Örnekleme hacminin boyutu küçük olmalı ve arterin merkezinde yer almalıdır (41,43). Doppler örnekleme hacmi en yüksek hız tespiti için arter boyunca yavaşça hareket ettirilir. Renkli Doppler görünümü, Doppler örnekleme hacminin uygun yerleştirilmesine yardımcı olur ve hastalığı düşündürecek artmış hız (renk karmaşası [aliasing]) bölgelerini lokalize etmede kullanışlıdır. Renkli Doppler görüntüleme; gri skala US ile gösterilemeyen yumuşak ve kalsifiye olmayan plaklar ortaya konur. Daha sonra yapılacak spektral değerlendirme ile CCA ortası, proksimal ICA ve ECA segmentlerinde, doğru açı düzeltme ile akım hızları ölçülür. Bu segmentler dışında plak tespit edildi ise plak düzeylerinde de hız ölçümleri yapılır. Hız ölçümündeki önemli noktalardan biri açı düzeltmesinin, damar duvarına değil, akımın yönüne paralel olması gereğidir.

Sıklıkla bu iki yön paralelse de özellikle asimetric ve ekzantrik konumlu plaklarda gerçek akım yönü, duvara paralel olmayabilir (41,44).

Normal uygulamada CCA spektral dalga formu, düşük rezistans paterni (diastol sonu sıfır çizgisinin üzerinde) gösterir, çünkü kan CCA'dan beyine ICA ile taşınır. CCA'nın normal renk akım paterni, kardiyak döngü boyunca sürekli renk gösterir. Pik sistolik akımda renk, arteri damar duvarına kadar doldurur ve merkez akımda hız artışı daha parlak görünüme neden olur. CCA'nın spektral Doppler dalga formu proksimaldeki hastalığı ya da distaldeki hastalığı işaret edebileceği için önemlidir. ICA'nın CCA'ya pik

sistolik akım hızı oranı hesaplanırken CCA'nın orta kısmından alınan Doppler spektral dalga formu kullanılır. Eğer oranın hesaplanması sırasında proksimal tortuyoze CCA'dan (artmış hız ölçümüne neden olur) ya da bulbusu da içerebilen (azalmış hız ölçümüne neden olur) distal CCA'dan spektral dalga formları alınırsa hatalar oluşacaktır.

Çoğu hastada ICA ve ECA'nın uygun tanımlanması problem olmamaktadır ancak karotid dupleks görüntülemenin doğruluğu için ICA ile ECA'nın birbirinden doğru olarak ayrılması büyük önem taşır. ECA, ICA'ya göre daha anterior ve medial yerleşimlidir, daha küçük çaplıdır. ICA kranyum dışında dal vermezken ECA'nın servikal dalları mevcuttur. Süperior tiroid arter ECA'nın karotid dupleks görüntüleme tetkikinde en sık görülen dalıdır. ICA'yı ECA'dan ayırt etmede en güvenilir metod Doppler sinyalidir. ICA sürekli ve kardiyak döngü boyunca sıfır çizgisinin üzerinde (düşük rezistans paterni) kan akım hızı gösterir. ICA normal renk paterni, kardiyak döngü boyunca devamlılık gösterir çünkü beynin düşük periferel direnci nedeniyle ICA yüksek diastolik kan akımına sahiptir. ECA kafa derisi ve yüzün kas tabakasına kan taşıdığından daha pulsatil (minimal diastolik akım) Doppler sinyali gösterir. ECA genellikle daha sivri pik sistolik eğim, daha yüksek kan akım hızı ve geç diastolde sıfıra oldukça yakın akım gösterir. ECA'nın normal renk akım paterni diastol boyunca azalır ve diastol sonunda kaybolabilir. Ek olarak spektral incelemede kulak anterioruna parmakla hafifçe vurulduğunda ECA'nın dalga formunda değişiklik meydana gelmesi ICA ve ECA'nın ayırt edilmesinde yardımcıdır (41,42,45).

Vertebral arterler (VA) ana karotid arterin görüntülediği longitudinal inceleme pozisyonunda, probun daha arkaya ve laterale açılarak, derinde vertebra korpuslarının lateralinde birbirlerinden eş uzaklıkta yer alan transvers çıkıntılar ve bunların akustik gölgelerinin gösterilmesi ile bulunabilir. Transvers çıkıntıların akustik gölgeleri tarafından periyodik olarak kesintiye uğrayan tubuler anekoik yapılar vertebral arter ve venlerdir. Birbirlerinden ayrımlarında Doppler US ile akım karakterlerinin ortaya konulması yardımcı olur. Hız skalasını düşürmek vertebral arteri lokalize etmede yardımcı olabilir. VA akım deseni, fizyolojik gerekler nedeni ile, ICA gibi yüksek diastol sonu hıza yani düşük akım direncine sahiptir. Vertebral arterde renk akım paterni

kardiyak döngü boyunca süreklilik gösterir. Kan akımı sürekli ve kardiyak döngü boyunca sıfır çizgisinin üzerindedir. Vertebral arter doğru tanımlandıktan sonra mümkün olduğu kadar proksimaline dek izlenmelidir. Renkli Doppler vertebral arter ve kan akımının yönünü değerlendirmede kullanılabilir (41).

2.2.4 Karotid ve Vertebral Sistemin Dupleks Görüntülemesinde İzlenen Patolojiler

Büküntülü Arterler: Karotid dupleks görüntüleme tetkiki sırasında kıvrıntılı arterlerle oldukça sık karşılaşılır. Arterlerdeki bükülmeler nedeniyle kan akım hızlarında genellikle artış şeklinde bozukluklar meydana gelebilir. Bazı arterlerde Doppler örnekleme hacminin doğru yerleştirilmesi ve Doppler açısının ayarlanması oldukça zor olabilir. Arterin kavis yaptığı bir yerde hız ölçümünde artış olabilir, bunun nedeni Doppler açılarının akım yönü ile ilişkisidir ve her zaman artmış kan akım hızı darlığı göstermez. Bu durumda, poststenotik türbülans gibi farklı bulguların, stenozun belirlenmesinde kullanılması önerilir (40,41).

Aterosklerotik Hastalık: İskemik serebrovasküler hastalıkların yaklaşık %80'i ateroskleroza bağlıdır. En sık sorumlu neden ise ana karotid arter bifurkasyonu ve çevresinde gelişmiş olan emboli kaynağı aterosklerotik plaklardır. Aslında süreç uzun yılların birikimi olarak gelişir. Kronik ya da tekrarlayan endotel hasarı sonucunda subendotelyal bölgeye sızan düşük yoğunluklu lipoproteinleri yoketmek için monositler uyarılır, makrofajlara dönüşen monositler lipoproteinleri fagosite eder ancak sindiremez ve köpüksü hücrelere dönüşürler. Köpüksü hücre odakları etrafında vasküler düz kas hücrelerinin çoğalmaları, yağlı çizgileri matür yağlı-fibröz ateroma çevirir (46). Bu değişim ilk olarak arterin intima-media katlarındaki hafif ve düzgün yüzeyle, çizgisel şekilli kalınlaşma olarak başlayıp, bu alana lipoprotein ve makrofaj birikiminin devamıyla kalınlaşır ve heterojen hal alır. Genellikle damar-lümen kesit alanında %75 ve üzerinde azalma ile beraber klinik bulguların ortaya çıktığı kabul edilir. Bu aşamada bile, birçok kompanzatri mekanizma devreye girip, akımdaki azalma karşı taraf ve Willis poligonu aracılığı ile telafi edilebilir. Klinik pratikte genellikle görülen birden çok sayıda serebral ana damardaki yüksek dereceli darlıklara karşın, önemli bir yakınması olmayan hastalar bu mekanizmaların güzel örnekleridir. Ancak, ardışık darlıkların

(tandem lezyonların) devreye girmesi, plak içi kanama ile darlık yüzdesinde ani artış, lokal trombüs oluşumu gibi bu dengeleyici mekanizmaların da yetersizliğine neden olan olayların eklenmesi ile son derece ciddi ve ani klinik tablo ortaya çıkabilir (44).

Karotid arterlerde normal intimal yüzey kesintisiz ve düzgündür. Aterosklerozun erken bulgusu olarak intimal yüzeyde düzensizlik ve intima-media kalınlığında (İMK) artış meydana gelir. İMK değeri, genellikle bulbus proksimalindeki distal CCA segmentinde, tercihen proba uzak taraf duvarda, lümen-duvar arasındaki hiperekojen hat ve bu hat dışındaki hipoekoik tabakayı (media) içine alan, duvar kalınlığı olarak tanımlanmaktadır. Yaşla artış gösteren karotis İMK değeri 0.8 mm'nin altındaki değerlerde normal kabul edilmektedir. 0.8-1.0 mm arasındaki değerler ara değerler, 1.0 mm'den kalın bir İMK ise patolojik olarak değerlendirilmektedir (39,44).

Karotis arter sisteminde aterosklerotik plaklar daha çok, akım düzeninin nispeten bozulduğu bifurkasyonlarda gözlenirse de, tüm segmentlerde görülebilirler. Özellikle klinik önem taşıyan lümendeki daralma oranı yanında, plakların özelliklerinin belirlenmesi de karotis Doppler US tetkikinin bir parçasıdır. Plaklar, Doppler US ile lokalizasyon, uzunluk, yüzey özellikleri (düzgün veya irregüler) ve ekojenitesi açısından değerlendirilmelidir. Ekojenitelerine göre aterosklerotik plaklar homojen veya heterojen görünümde olabilir. Homojen plaklar uniform ekojenitede ve düzgün yüzeylidir. Homojen plaklar yumuşak (fibröz) ya da sert (kalsifiye) olabilmektedir. Kalsifiye bir plak, genellikle derinindeki (prob pozisyonuna göre arkasında kalan alandaki) yapıları örten akustik gölge ile birlikte izlenir. Plakta parçalanma ve bunu takip eden plağın non-trombotik parçalarının arter sulama alanı distaline embolizasyonu; ülserasyon oluşumu ve ülser alan içindeki trombotik materyalin distale embolizasyonu; ya da ülserasyonun intimal yırtığa dönüşerek diseksiyona ilerlemesi gibi komplikasyonları oluşturma açısından daha yüksek risk taşıyan heterojen plaklar ise içlerinde farklı oranlarda kalsiyum, lipit ve kanama odakları taşır. Heterojen plaklar kompleks ekojenitededir ve bir yada daha fazla fokal hipoekoik alanlar içerirler (39,43).

Yüzey yapılarına göre ise plaklar, düzgün yüzeyli, düzensiz yüzeyli (2 mm'den daha az derinlikte yüzey defekti) ve ülser tipler olarak değerlendirilmektedir. 2 mm'den daha derin bir plak yüzey defekti, ülser olarak kabul edilmektedir. Ülser plaklar; plak

içi hemoraji ve hemisferik hasta yakınmaları ile yakın ilişki göstermeleri nedeni ile büyük klinik önem taşır (44). Ülserasyonun gri skala US ile gösterilmesi olasıdır, renkli Doppler US ile de ülser kraterinin içini dolduran akımın gösterilmesi tanıyı destekler. Karotid arter aterosklerozunda Doppler US'nin en önemli tanısal katkısı, aterosklerotik plakların ve bunlara bağlı darlık oranlarının ortaya konmasıdır. %70 ve üstü çap azaltan darlıklarda karotis darlıklarının endarterektomi ya da anjiyoplasti ± stent uygulamaları ile tedavisi tercih edilmektedir. Lümenin tümü ile tıkalı olduğu olgularda ise cerrahi tedavi düşünülmemektedir. %50–69 arası lümen çap azalması yapan darlıklarda cerrahi/girişimsel radyolojik tedavi uygulanabileceği gibi, medikal tedavi altında görüntüleme ile izlem de yapılabilir. Bu nedenlerle karotis arter darlığının tanımlanması ve darlık yüzdesinin doğru olarak belirlenmesi önemlidir.

Stenoz oluşması için lümen çapında en az %20 azalma olması gerekir. Karotid stenozun belirlenmesi için izlenmesi gereken iki yol vardır. Öncelikle gri skala ve renkli/power Doppler görüntüleme ile plak tanımlanır. Daha sonra normal distal segment ile kıyaslanarak rezidü lümen ölçülür. Çoğunlukla plaklar eksantrik yerleşimlidir ve lüminal daralma derecesi değişik düzeylerde. Bu nedenle stenoz derecesi olduğundan fazla ya da az olarak değerlendirilebilir. Karotid damarlarda çap ve alandaki daralmanın ölçümü transvers planda yapılmalıdır. Longitudinal planda yapılacak ölçümler ekzantrik plak varlığında darlığın daha fazla ölçülmesine neden olur. Çaptaki azalma derecesi ile alandaki azalma lineer değildir. Bu nedenle asimetrik daralmalarda stenoz değerlendirilmesinde alandaki daralmanın ölçülmesi daha doğru bilgi sağlar. Plakların uzunluğu longitudinal planda değerlendirilmeli ve ardı ardına dizilmiş plaklar varsa raporda belirtilmelidir (39,42).

Mevcut olan darlığın derecesini belirlemede karotid arteriyel sistemin bütün bir Doppler değerlendirmesi gereklidir. Doppler spektral dalga formu, daralmış segmentte artmış akım hızı göstermelidir. Daralmış segmentte renk karmaşası (aliasing) ve multipl yönde kan akımı içeren benekli görünümde renk paterni bulunmalıdır. Stenozun distalindeki poststenotik bozukluklar, iki yönlü türbülant akım paternleri (spektral genişleme) ile belirlenir (41).

Akım hızları stenozun derecesi ile birlikte progresif olarak artar, bu ilişki nedeniyle akım hızı ölçümleri stenoz derecesini değerlendirmede kullanılır. Daralma oranı %50'den daha az olan plaklarda akım hızlarında minimal artış olur; bu nedenle stenoz derecesinin değerlendirilmesi, gri skala ve renkli Doppler bulguları ile yapılır. Daralma oranı %50'den fazla olan plaklarda ise akım hızlarının belirgin şekilde artması nedeniyle karotid arterlerde spektral Doppler inceleme ile akım analizinin sensitivite ve spesifite oranları %90'ın üzerindedir (42). Stenozun derecesi lümenin daralan kısmından yapılan spektral ölçümlerle değerlendirilir. Bu değerlendirmede kullanılan parametreler pik sistolik hız (PSV), end diastolik hız (EDV), ICA/CCA akım hız oranıdır. Pik sistolik hız karotid stenozun değerlendirilmesinde en güvenilir Doppler parametresidir. Bununla birlikte bazı sınırlamaları da vardır. Stenotik segment uzunsa akım hızı azalacağı için pik sistolik hız artışı stenoz şiddeti ile orantılı olmayacaktır. End diastolik hız %50'den az çap azalmasına neden olan lezyonlarda normaldir. %50'den daha fazla olan stenozlarda diastolik hız lüminal darlığın şiddeti ile orantılı olarak artar. %70'in üzerinde çap azalması olduğunda bu artış daha belirgindir. Bu nedenle EDV, yüksek dereceli karotid stenozlarının tespitinde daha güvenilirdir. Pik sistolik ve end diastolik hızlar kan basıncı, kardiyak output, periferel direnç ve karşı karotid arterdeki tıkanıklık gibi faktörlerden etkilenir. Bu hız değerleri stenoz tanısı için yeterli olmayabilir. Bu durumda internal karotid arter-ana karotid arter akım hız oranı hesaplanır. Sistolik hız oranı; ICA'daki stenotik zondaki PSV'nin, darlığın proksimalindeki normal CCA'daki PSV'ye bölünmesi ile hesaplanır. End diastolik oran; stenotik bölgedeki end diastolik hızın CCA'nın normal bölgesindeki end diastolik hıza bölünmesi ile hesaplanır (45).

Stenoz bölgesinde normal laminar akım paterni bozularak stenoz sonrasında düzensiz akım paterni oluşur. Bu düzensiz akım normalde spektral incelemede görülen siyah pencerenin dolmasına neden olur ve "spektral genişleme" olarak adlandırılan görünümü oluşturur. Spektral genişleme yaklaşık %50 çap azalmasında oluşur. Poststenotik renk karmaşasının derecesi ve spektral genişleme stenozun şiddeti ile artar. Şiddetli akım karmaşası akımın ters dönmesi, spektral sınırların zayıf tanımlanması (spektral genişlemenin en ileri formu) ile karakterizedir. Bu karmaşa %70'in üzerindeki daralmayı gösterir. İleri derecede stenozlarda, aynı taraf CCA'da yüksek dirençli akım

(diastolik akım yokluğu veya tersine diastolik akım) izlenir. Brakiyosefalik arter veya proksimal CCA'nın yüksek dereceli stenozlarında aynı taraf CCA'da seyri boyunca düşük amplitüdü baskılanmış (damped) dalga formu görülür. Bu durumda proksimaldeki bazen Doppler US ile ayırd edilemeyen ancak akım hızında azalma oluşturan stenoz nedeniyle aynı akım yönü üzerinde bulunan ICA'daki stenozun spektral incelenmesinde beklenen hız artış oranının yalancı olarak düşük saptanmasına ve stenoz derecesinin olduğundan az yorumlanmasına neden olabilir. Baskılanmış dalga formu bilateral görülüyorsa etioloji genellikle kardiyaktır. Aort stenozu veya belirgin azalmış miyokard fonksiyonuna eşlik eden düşük ejeksiyon fraksiyonuna bağlı olabilir (45).

Karotid stenozunun derecelendirilmesinde kullanılan Doppler US parametreleri North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET) ve European Carotid Surgery Trial (ESCT) tarafından belirlenmiştir (39). (Tablo 2.1).

Tablo 2.1: ICA stenozu Gri Skala ve Doppler US tanı kriterleri

Stenoz derecesi (%)	ICA/CCA PSV oranı	ICA/CCA EDV oranı	ICA PSV (cm /sn)	ICA EDV (cm /sn)
0-40	< 1.5	< 2.6	< 110	< 40
41-59	< 1.8	< 2.6	> 120	< 40
60-69	> 1.8	> 2.6	> 150	> 40
70-79	> 3	> 3.3	> 210	> 70
80-89	> 3.7	> 5.5	> 280	> 100
Oklüzyon	CCA'da tek taraflı baskılanmış akım, ICA'da oklüzyon proksimalinde akım yokluğu ya da ters akım			

ICA: İnternal karotid arter, CCA: Ana karotid arter, PSV: Pik sistolik hız, EDV: End diastolik hız

Karotid Arter Tıkanması: ICA darlıklarının son aşamasını tıkanmalar (oklüzyon) oluşturur. Lümen, olguya göre değişmekle beraber yumuşak (hipoekoik), kalsifiye (hiperekojen) yada heterojen plak ve trombus kompleksleri tarafından tümü ile doldurulur. Bazen çok hipoeoik (aneikoik) trombus nedeni ile lümen, gri skala US ile açık sanılabilir; tıkanma, ancak Doppler US ile ortaya konabilir. Akut dönemde normal genişlikte olabilirken, eski bir oklüzyonda retraksiyona bağlı olarak ICA çapı azalır (44). ICA'yı oklüde olarak karakterize etmek için arter; renkli Doppler ve power Doppler ile

yavaş akım varlığını ekarte etmek açısından değerlendirilmelidir. ICA'nın oklüde olup olmadığı belirlenirken örnekleme hızı (pulse repetition frequency) azaltılmalı ve renk kazancı (gain) olası bir kan akımını daha belirgin hale getirmek için yükseltilmelidir. ICA, Doppler US ile birden fazla yerden örneklenmelidir. Herhangi bir kan akımının varlığını lokalize etmede örnekleme hacmi boyutunu artırmak faydalı olabilir (41,44). Bütün bu yöntemlere rağmen özellikle ICA gibi proksimal birkaç santimetreden sonrası iyi görüntülenemeyen yapılarda, Doppler US ile stenozun %95 üzerinde olduğu durumlar ile oklüzyonun (lümenin %100 tıkalı olmasının) ayırımı güçtür.

ICA oklüzyonunun sekonder ultrason bulguları lümeni dolduran ekojen materyal, arteryel pulsasyon yokluğu, oklüzyonun proksimal orijinine yakın ters dönmüş kan akımı, aynı taraflı CCA'da diastolik kan akımının kaybı, aynı taraf ECA'da kan akım hızında artış ve karşı taraf ICA'da artmış hızdır. Tıkanmalarda ICA ağzında kısa bir güdüğün bulunması durumunda, akım bu noktada trombüse çarpıp geri döner. Güdük bölgesinde yapılacak spektral incelemede "thud" akımı denilen, düşük hızlı ve birbirini izleyen ileri-geri akım örneği izlenir (43).

Eksternal Karotid Arter Darlığı: İzole ECA darlıkları yüksek dereceli olsalar da nadiren klinik anlam taşırlar. Ancak, bifurkasyon bölgesinde üfürüm oluşturmaları nedeniyle, klinik muayenedeki oskültasyon sırasında, ICA ya da CCA darlığı sanılıp karotis Doppler incelemesi nedeni olabilirler. Bu olgularda, darlığın CCA ya da ICA'da olmayıp, sadece ECA'da olduğunun belirlenmesi ek incelemelere gereksinimi ortadan kaldırır (44).

Ana Karotid Arter Darlığı: CCA darlıkları, ICA proksimal segmentindekilerden daha az görülseler de, nadir değildirler. Yüksek dereceli darlık tanılarında; darlık düzeyindeki pik sistolik hızın, darlığın proksimalindeki normal çaplı lümeninde ölçülen hıza oranının iki ve üstüne çıkması, %50 ve üstünde daralmaya işaret eder. Darlık noktasındaki gerçek çapın bulunmasında gri skala ve Doppler US tekniği yardımcı olur (43).

CCA darlıklarının özel bir tipini Takayasu arteriti oluşturur. Bu hastalıkta CCA duvarı, tipik olarak diffüz ve ileri derecelere ulaşabilen kalınlaşma gösterir. Kalınlaşmanın yaygın, iç yüzeyin düzenli oluşu, kalsifikasyonların eşlik etmemesi ve

nispeten genç hastalarda görülmesi ile ateromatöz darlıklardan kolaylıkla ayrılır. Lümen, şiddetli olgularda ip şeklinde izlenebilir (44).

Ana Karotid Arter Tıkanması: Ana karotid arterlerde gözlenen tıkanmalarda görünüm, internal karotid arterlerdekine benzerdir. Kronik olaylarda damar diffüz olarak incilir, trombüs ekojenleşir. Doppler US ile lümen içinde akım bulunmadığından emin olunmalıdır. CCA tıkanmasının özel bir tipi, CCA'nın bifurkasyonu proksimalinde kalan, en distal bölümünün yani bifurkasyonunun açık kaldığı olgulardır. Bu olgularda açık olan ECA ve ICA lümenleri açık kalmış CCA bifurkasyonu aracılığıyla ile ilişkidir. ECA'nın dallarının karşı taraftan taşıdığı kollateral kan akımı, önce ters akım gösteren proksimal ECA ile bifurkasyona, oradan da normal akım yönü gösteren ICA'ya aktarılır. "Eksternal-internal karotid çalma fenomeni" denilen, bu kollateralizasyon örneğinde, ICA akımı antegrad, ancak düşük hız, pulsallite ve ivme değerleri taşır (44).

Karotid Arter Diseksiyonu: Karotid arterlerde diseksiyon, vaskülopati ya da aterosklerotik hastalığa ikincil spontan olarak veya geçirilmiş servikal travmaya bağlı oluşabilir. Karotid arter diseksiyonları, sonografik görüntülemenin yapılabileceği bölgede gerçekleştiğinde, doğrudan ve dolaylı Doppler bulguları ile ortaya konabilir. İntimal flebin, gerçek zamanlı görüntüleme ile hareketli olarak gözlenmesi, bir flep tarafından ikiye bölünmüş lümenin iki bölümünde iki farklı karakterde akımın ortaya konulması ve diseksiyona bağlı olarak oluşabilen ikincil darlıklar doğrudan bulgular arasında yer alır. Sonografik görüntülemenin yapılamayacağı kadar distalde yer alan diseksiyonlarda ise, ortaya çıkabilecek anlamlı darlığın, proksimalde neden olduğu akım-direnç artışına ait bulgular diseksiyon şüphesi uyandırabilir (39,44).

Karotid Arter Anevrizmaları: Servikal karotid sistemin anevrizmaları nispeten nadir görülür. Çoğu hastada boyunda pulsatil kitle mevcuttur ve sıklıkla üfürüm belirlenir. Gri skala US'de damar çapı belirgin olarak artmıştır. Renkli Doppler ve spektral Doppler ile anormal akım paterni görülmesi anevrizmanın büyüklüğüne bağlıdır (41).

Fibromüsküler Displazi (FMD): FMD arteriyel duvarın genellikle media tabakasını etkileyen, aterosklerotik olmayan bir hastalıktır. Çoğunlukla ICA'nın orta kısmında oluşur, vakaların yaklaşık %65'inde bilateraldir ve kadınlarda görülme sıklığı

daha fazladır. FMD, konsantrik darlıklarla ayrılan çoklu arteriyel dilatasyonlar nedeniyle anjiyografide inci ya da tesbih dizisi görünümüne neden olur. Gri-skalada benzer tesbihisi patern ve renkli Doppler görüntülemeye, ICA'nın proksimal ve distal segmentlerinde aterosklerotik plak olmaksızın, arteriyel duvara yakın kesimlerde türbülant kan akım paternleri görülebilir (41,49).

Karotid Cisim Tümörleri: Karotid cisim tümörleri, yavaş büyüyen neoplazilerdir. Karotid cisim, karotid bifurkasyonunun posterior yüzünde, adventisya tabakası içinde uzanan küçük (3-5 mm) bir kemoreseptördür. Karotid cisim kalp hızı, kan basıncı ve solunumun düzenlenmesine yardımcı olur. Karotid cisim tümörü genellikle ICA ve ECA arasında uzanan, nadir hipervasküler bir tümördür. Çoğu karotid cisim kanlanması ECA dalları yoluyla olur. Ultrasonografide karotid cisim tümörü ICA ve ECA dalları arasında (tipik olarak bifurkasyon üzerinde) izlenebilir, arterlerin yerini değiştirebilir, hipervaskülaritesi renkli Doppler görüntüleme ile kolaylıkla tespit edilebilir (41). İnceleme sırasında dikkatsiz prob manipülasyonu ile tümörde oluşturulabilecek basınç değişimi vazovagal senkopa neden olabileceğinden dikkatli olunmalıdır.

Karotis Doppler Ultrasonografisinde Sınırlamalar

Karotis Doppler US'nin tanısal performansını etkileyen bazı sınırlamalar mevcuttur. Bunların arasında yüksek bifurkasyon, kıvrıntılı damar seyri, kalsifiye plaklar, bölgesel suture ya da pansuman malzemeleri, kalın kas ve/veya yağ dokusuna bağlı derin damar yerleşimi, kısa boyun yapısı, hatta nadiren cilt altı amfizemi sayılabilir. Anatomik bir varyasyon olarak beklenenden kranialde bulunan yüksek karotis bifurkasyonlarında, arzu edilenden daha kısa bir ICA segmentinin değerlendirilmesi mümkün olur. Ateroskleroz ve hipertansiyonun bir sonucu olarak gelişen kıvrıntılı damar seyirleri de bazı durumlarda arter incelemelerini oldukça zorlaştırabilir. Bu durumda öncelikle transvers ekseninde yapılacak görüntüleme ile damarların uzaysal konumlarının belirlenmesi, buna göre daha dikkatli inceleme yapılmasına yardımcı olur. Hemodinamik olarak kıvrımların (kink) akım hızını arttırıcı etkilerinin olması da bir diğer önemli sorundur. Saptanan hızın, plak ve oluşturduğu

darlığa değil de, kıvrıntılı seyre bağlı geliştiğini belirleyebilmek için, hızlanmanın olduğu segment dikkatle incelenip, plak bulunmadığından emin olunmalıdır (44).

Kalsifiye plaklar, akustik gölgeleri nedeni ile damar lümenin görüntülenmesini, akımın değerlendirilmesini engellerler. Duvarın kalsifiye olmayan bölümünden görüntüleme yapılması en uygun yaklaşımdır. Ancak, çepeçevre kalsifiye lümen segmentlerinde olabilecek anlamlı bir darlık, hemen distaldeki segmentte yapılacak spektral akım analizi ile araştırılabilir (43). Bir cm ya da daha kısa bir segmentin hemen distalinde normal hız ve hemodinamik akım deseninin bulunması, içi görülemeyen bu segmentte %50 ve üstünde çap daralması olasılığını büyük ölçüde dışlar. Aksine distalde yüksek hız ve düzensiz akım desenlerinin saptanması durumunda artmış akım hızlarına göre darlık kriterleri kullanılarak darlık derecesi saptanabilir. Ancak 2 cm'den uzun ve çepeçevre kalsifiye segmentlerde bu yaklaşım gerçekçi olmayabilir. Bu durumda diğer görüntüleme yöntemleri ile inceleme önerilir (44).

Aritmiler, ardışık kardiyak pulsasyonlardaki hız değerlerini değiştirerek, incelemeyi güçleştirirler. Erken vurularda sistolik hız normale göre daha düşük, normalden uzun bir aralıktan sonra gelen hız ise daha yüksektir. Her 2-3 vuru da bir saptanan (bigemine-trigemine) düzenli erken vurularda, aynı periyottaki vuruların piksistolik hızları, ICA ve CCA arasında karşılaştırılarak tanıya gidilebilir. Tümü ile düzensiz aritmilerde ise, hız kriterleri kullanılarak, darlık derecesinin saptanması güvenilir değildir (44).

Vertebral Arter Patolojileri

Vertebral arterlerin 2-6'ncı servikal vertebra transvers foramenleri içinden geçen V2 segmentleri, görüntülenmeleri en kolay bölümlerini oluşturur. Normalde ortalama 3.5 mm çaplı olarak bildirilen vertebral arterler, toplumun %73'ünde iki taraf arasında asimetri gösterirler (34). Genellikle vertebral arter (VA) sol tarafta daha geniş çaplıdır. Ancak bazı olgularda bu asimetri daha ileri boyuta ulaşır, VA çapı 3 mm'nin altına inebilir (hipoplazi). Hipoplazik VA'lerde akım hızında azalma pulsallikte artma sık gözlenen, patolojik kabul edilmeyen bir hemodinamik özelliktir. İleri derecede hipoplazik ya da aplazik VA'lerin, tıkalı olanlardan ayırımı tanısal zorluk oluşturabilir (44).

Darlık ve Tıkanmalar: VA darlıkları en sık olarak subklavyan arter çıkışlarında görülür. Sıklıkla aterosklerotik olan VA darlıkları, daha seyrek olarak VA gövdesinde de yer alabilir. Darlığın anatomik olarak görüntülenmesi yanında, 100 cm/sn’yi aşan lokal hız artışlarının görülmesi tanıda yardımcı olur (49). VA’lerde %70 ve üstü çap azaltan darlık tanısında Doppler US sensitivitesi %71, spesifitesi ise %99’dur (50). VA’nın en sık daraldığı yer olan orijinleri sağda daha fazla olmak üzere olguların ancak %65-85’inde görüntülenebilmektedir (34). Dolayısı ile orifis darlıkları, önemli sayıda olguda, distalde yaratabileceği hemodinamik değişikliklerle saptanabilir. Transvers foramenler boyunca uzanan V2 segmentinde, darlıkların görüntülenmesinin, kemik yapılar tarafından engellenme riski mevcuttur. Servikal ankilozlu hastalarda ise V2 segmentinde arter ve darlıkları hiç görülemeyebilir. İntrakranial segmentteki darlıklar ise ancak proksimal segmentlerde oluşacak dolaylı hemodinamik bulgularla kuşku uyandırabilir. Benzer şekilde VA disseksiyonları ancak net görüntülenebildikleri orta segmentlerde tanınabilmektedir. VA disseksiyon tanısında Doppler US yeterli tanısal doğruluğa sahip değildir. VA tıkanma durumlarında ise, sonografik olarak VA görüntülenebilir, ancak içinde düşük akım parametreleri ile bile akım ortaya konamaz (44).

Proksimal Vasküler Patolojilerde Vertebral Arter Doppler Ultrasonografi

Doppler US, proksimaldeki subklavyan/brakiyosefalik arter segmentinin patolojilerinin yarattığı hemodinamik değişiklikleri ortaya koymada, patolojinin direkt gösterilebilmesine göre daha başarılıdır. Prevertebral (vertebral arter orijini proksimalindeki) subklavyan arter segmentinin düşük dereceli daralmalarında bile, aynı taraf VA’de bazı hemodinamik bulgular ortaya çıkabilmektedir. İntrakranial kesimde VA’ler arasında bağlantı vardır. Bu bağlantı nedeniyle VA’deki darlıklar ile oluşan basınç farkından kaynaklanan spektral inceleme bulguları; sistol sonrası geçici hız azalmasından (“pre-bunny” dalga formu; sistol ortası hız azalmasının, diastol sonu hız kadar düşük olduğu akım desenine, tavşan kulağına benzerliği nedeniyle, “bunny” dalga formu denilmektedir) başlayıp, akımın tümü ile ters döndüğü “subklavyan çalma sendromu”na kadar uzanan değişik dalga formu örnekleri gösterebilir (44).

Tam ters akımdan bir önceki aşamada ise akım bir siklus boyunca hem antegrad, hemde retrograd yönde, yani ileri-geri desende olabilir. Kısmi ters akım denebilecek bu

tip VA akım desenleri, provakasyon testi ile geçici sürede olsa, tam ters akıma ya da ters komponenti daha uzun süren forma dönüştürülebilir. Bunun için aynı taraf kol tansiyon aleti manşonu ile sistolik basıncın 30 mm Hg üstündeki bir değerde 3 dakika iskemik bırakılır, ardından manşonun birden boşaltılmasıyla distalde oluşan post iskemik vazodilatasyon sonucu VA akımı bir süre için tümü ile retrograt özellik kazanır. Bu bulgu, prevertebral subklavyan arter segmentinde ya da brakiosefalik arterde düşük dereceli de olsa, bir darlığın bulunduğu göstergesidir. Kendiliğinden ve sürekli olarak ters yöndeki VA akımı ise prevertebral subklavyan arter segmenti ya da brakiosefalik arterdeki yüksek dereceli darlık veya tıkanmanın önemli bir bulgusudur. Bazı olgularda normal bir VA akım deseninden tek farkı yönü olup buna dikkat edilmediğinde kolayca gözden kaçabilmesidir. Bu nedenle VA akım yönü karotid arterle kıyaslanıp aynı yönde olup olmadığına dikkat edilmelidir. Daha önceleri nörolojik etkisi olduğu düşünülen subklavyan çalma fenomeninin, artık anlamlı nörolojik etkisi olmayan basit bir kollateralizasyon mekanizması olduğu düşünülmektedir. Ancak ters VA akımlı olguların yaklaşık yarısında, kola arteryel kanın VA yanında, yine ters akım gösteren internal mammarian (torasik) arter tarafından sağlanması önemli bazı sonuçlara yol açabilir (51). Özellikle sol tarafta olmak üzere, internal mammarian arterin kaudaldeki ucunun serbestleştirilip, koroner arter sistemine anastomoze edildiği “in situ internal mammarian arter greft” tekniği ile koroner revaskülarizasyon yapılmış olgularda, eğer prevertebral subklavyan/brakiosefalik arterde varolan darlık cerrahiden önce fark edilmemişse ya da cerrahiden sonra darlık gelişirse tehlikeli bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu hastalarda, aynı taraf kolda gelişecek bir iskemi halinde, greft ile koroner revaskülarizasyonla amaçlananın tam tersine, internal mammarian arter aracılığıyla kalp dolaşım sisteminden kan kola çalınmakta, bu da yaşamsal sonuçlar doğurabilmektedir (“koroner-subklavyan çalma sendromu”). Dolayısı ile koroner revaskülarizasyon planlanan olgularda, karotis Doppler tetkiki sırasında, mutlaka vertebral arterlerin ve akım yönlerinin değerlendirilmesi, doğru cerrahi planlama için büyük önem taşımaktadır (44).

VA anevrizmaları oldukça nadir patolojilerdir. Normal olarak üst sınırı 5.0–5.5 mm olarak bildirilen VA çapının, lokal olarak daha geniş olması halinde anevrizma

tanısı konabilir. Çok nadiren travmatik ya da iyatrojenik VA psödoanevrizmaları da görülebilmektedir (34,52).

VA Doppler US tetkiki istenen hastaların çoğunluğunu, vertebrobaziler yetmezlik ön tanılı hastalar oluşturur. Önceleri her iki vertebral arterin kan akım hacmi toplamının 200 mL'nin altında kalması ile vertebrobaziler yetmezlik arasında ilişki bulunduğu öne sürülürken daha sonraki normal olgularda gerçekleştirilen çalışmalarla bu sınırın 100 ml'ye çekilmesi önerilmiştir (53,54).

Genel olarak, VA Doppler US tetkiki, özellikle daha proksimaldeki brakiyosefalik ve subklavyan arterlerin patolojilerinde yüksek tanısal duyarlılık taşımaktadır. Vertebral arter orijinleri de gösterilebiliyorsa, buradaki stenozlar da tanınabilmektedir. Ancak daha distaldeki stenozlar ve diseksiyonların tanısında, Doppler US'nin tanısal başarısı istenen düzeyde değildir. Karotis arter dolaşımının aksine, VA dolaşımı ile nörolojik olaylar ve bulgular arasındaki ilişki net ortaya konamadığı için, VA'lerin hemodinamilerinin değerlendirilmesi, karotislere kıyasla çok daha az gereksinim duyulan bir görüntüleme konusunu oluşturmaktadır (34).

2.2.5 Transkraniyal Doppler Ultrasonografi

Transkraniyal Doppler US, diğer noninvaziv yöntemlerle teşhis edilemeyen intrakraniyal stenozun tanımlanması, ekstrakraniyal oklüziv hastalıkların hemodinamik etkisinin değerlendirilmesi, kardiyovasküler cerrahi sırasında ve yoğun bakım ünitesinde bulunan hastaların serebral kan akımının monitörizasyonunun (özellikle arteriyel spazmın) izlemi için, beyin ölümlerinin teşhisi, arteryovenöz malformasyon ve arteryovenöz fistüllerin tespiti, serebral venöz tromboz ve intraserebral kanamanın saptanması, mikroembolik sinyallerin tespiti ve sonotromboliz uygulaması için kullanılabilir. Bununla birlikte transkraniyal Doppler US için kanıtlanmış tek endikasyon vazospazmın takibi ve teşhisidir. Bu işlem için 2 MHz, puls Doppler cihazları kullanılır. Bazal serebral arterlerin transkraniyal Doppler incelemesi dört akustik pencereden yapılır.

Transtemporal pencere en önemli ve en sık kullanılan penceredir. Bu pencereden orta serebral arterin M₁ ve M₂ segmentleri, karotid sifon, anterior serebral arterin A₁ segmenti, anterior komünikan arter, posterior serebral arterin P₁ ve P₂ segmentleri,

baziler arterin tepesi ve posterior komminikan arter görülebilir. Transorbital pencereden oftalmik arter, internal karotid arterin C₁, C₂, C₃, C₄ segmentleri değerlendirilebilir. Suboksipital yaklaşım, vertebral arterler ve baziler arterlerin traseleri boyunca değerlendirilmesinde temel tekniktir. Submandibular yaklaşım, internal karotid arterin retromandibular ve daha distal ekstradural kısımlarının görüntülenmesini sağlar. Transkranyal Doppler US, ICA disseksiyonunu ve oklüzyonunu tespit edebildiği için ekstrakranial incelemeleri tamamlayıcı niteliktedir.

İntrakranial arter stenozlarında etkilenen damarda akım hızı artışı ve poststenotik renk karmaşası görülür. Stenotik lezyonların tanısında aynı damarın başka bölgesinde veya etkilenen arterle ilişkili diğer damarlarda akımın ters dönmesi, distal sinyallerde azalma gibi akım değişikliklerinin saptanması anlamlıdır. Bazal arteryel oklüzyon tanısı damarın incelenen bölgesinde akım yokluğu, oklüde arter ile bağlantılı damarlarda akım varlığı ve kollateralizasyon varlığı ile konulur. Transkranyal Doppler US'nin sınırlamaları; yetersiz temporal pencere nedeniyle akım alınmaması, hiperdinamik kollaterallerin veya arteryovenöz besleyici damarlarının stenoz sanılması, yer kaplayan lezyon nedeniyle arterin deplase olması, Willis poligonundaki fizyolojik varyasyonların yanlış değerlendirilmesi, spazmın stenoz sanılması, rekanalizasyon sonrası reaktif hipereminin stenoz olarak değerlendirilmesidir (45,55). Bu inceleme yönteminin başarısı için, bu alanda yeterli tecrübeye sahip olunması çok önemli ve gereklidir.

Ultrasonografik kontrast maddeler renkli Doppler ve spektral Doppler sinyallerini kuvvetlendirdiklerinden transkranyal Doppler uygulamalarında kullanılmaktadır. Derinde yer alan ve normal Doppler uygulamalarıyla yeterli düzeyde incelenemeyen damarlar ultrasonografik kontrast maddelerin kullanımıyla daha rahat incelenebilirler. Transkranyal Doppler uygulamalarında kontrast kullanılmadığında kafa kemikleri nedeniyle genellikle yüksek başarısızlık oranı mevcuttur (22).

2.3 Beyin Kan Akımı

2.3.1 Beyin Kan Akımı Fizyolojisi

Yetişkin bir insanın beyin dokusunda, normal kan akımı her 100 gram beyin dokusu için ortalama 50–65 mililitredir. Tüm beyin için bu miktar 750 ml/dakika veya istirahatteki toplam kalp debisinin %15'idir.

Beyin kan akımının düzenlenmesinde üç metabolik faktör önemlidir. Bunlar karbondioksit konsantrasyonu, oksijen ve hidrojen iyon konsantrasyonudur. Beyine gelen arteriyel kandaki karbondioksit konsantrasyonundaki artış, karbonik aside dönüşmesi ve daha sonra hidrojen iyonlarına ayrışması nedeniyle beyin kan akımını arttırır. Hidrojen iyonları beyin damarlarında vazodilatasyona neden olur. Beyin dokusunun oksijen kullanımı dakikada her 100 gram beyin dokusu için 3.5 ml'dir. Eğer beyin kan akımı yetersiz olur ve gerekli miktarda oksijen sağlanamazsa, oksijen eksikliği hızla vazodilatasyon yaparak kan akımını ve beyin dokularına oksijen taşımını normal sınırlara yaklaştırır. Bölgesel nöral aktivitedeki değişimlere bağlı olarak da beyin her segmentindeki kan akımı saniyeler içinde değişebilir (56).

Arteriyel kan basıncı 60–160 mmHg olduğu zaman beyin kan akımı sabit kalır. 60 mmHg'nın altındaki ortalama basınç azalmış beyin kan akımı ve takip eden senkop ile sonuçlanırken 160 mmHg'nın üzerindeki basınçlar kan-beyin bariyerinde geçirgenlik artışına ve sonuçta beyin ödemeine yol açabilir (57).

Ana karotid arter büyük elastik arterlerden olup iki temel özelliği vardır. Birincisi kalpten gelen yüksek basınçlı kanı taşır, ikinci olarak da sistol sırasında genişleyip diyastol sırasında geri çekilerek kalbin aralıklı olarak pompalama yapmasına rağmen kesintisiz olarak kan akışını sürdürebilir. Bu sayede düşük rezistanslı akım paterni oluşur ve beyin gibi hayati bir organda diyastol sırasında bile kan akımı belli bir düzeyde tutulur (39,58).

Beyin dolaşım sistemi, beyin arterleri ile birlikte süperior servikal sempatik gangliyonun yukarı doğru çıkan güçlü bir sempatik innervasyona sahiptir. Bu innervasyon hem büyük yüzeyel arterlerin hem de beyin cevherinin içine giren küçük arterlerin kontrolünü sağlar. İntrakranial kan akımı otonom mekanizması, sempatik sinirsel etkilerden daha baskın olduğu için; sempatik innervasyondaki değişiklikler beyin kan akımında genellikle anlamlı bir değişime neden olmaz ve göreceli olarak düşük bir öneme sahiptir. Ancak arteriyel basınç, aşırı egzersiz gibi aktiviteler sırasında yükseldiğinde sempatik sinir sistemi daha küçük damarlara yüksek basıncın ulaşmasını önlemek için büyük ve orta boy arterleri daraltır. Bu mekanizma

beyin içine arteriyel kaynaklı kanamayı dolayısıyla, inme oluşumunu önlemede önem taşır (56,59).

2.3.2 Sigara ve Etkileri

Sigara tiryakiliği birçok ülkede en yaygın ve en öldürücü toksikolojik olaydır. Ölüm uzun bir süre sonra ve indirekt bir şekilde olduğu için sigaranın zararı yeterince önemsenmez. Kronik sigara kullanımına bağlı hastalıklar, yıllık mortaliteyi artıran ancak doğal hastalık gruplarına göre önlenilmesi çok daha kolay olan hastalıklar olarak kabul edilirler. Sigara içme, her yaştaki kişide onun beklenen ömrünü içilen günlük sigara sayısı ile orantılı olarak az veya çok belirgin bir şekilde azaltır.

Sigara dumanının bileşimi tütünün bileşiminden oldukça farklıdır. Bu farkın nedeni tütünün yanması sonucu tütün içindeki kimyasal bileşiklerin kısmen veya tamamen yeni bileşiklere dönüşmesidir. Sigara dumanı bir aerosoldür. Çapları genellikle 0.1 ile 1 µm arasında değişen katı ve sıvı partiküllerle gazlardan oluşur. Dumanın bileşimi tütünün türüne, sigaranın gevşek veya sıkı yapılmasına, nem derecesine, kalınlığına-kâğıdına göre ve sigaranın filtreli olup olmamasına göre değişir. Sigara dumanında tütünün yanması sonucu oluşan yaklaşık 4 bin ile 6 bin çeşit kimyasal madde bulunur. Sigara dumanında nikotin, nem ve karbonmonoksit çıktıktan sonra geri kalan maddelerin tümü dumanın katran fazı olarak tanımlanır. Katran fazı içinde çeşitli aromatik nitrozaminler, aromatik aminler ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi karsinojenik etkinliği yüksek olan maddeler bulunur. Sigara dumanının katran fazında ayrıca hidrosiyamik asid, furfural, akrolein, nitrik oksit, nitrojen dioksit ve çeşitli fenol bileşikleri gibi tahriş edici ve toksik organik bileşikler de bulunur. Dumandaki siyanür nedeniyle sigara içenlerin kanında onun metaboliti olan tiyosiyanat vardır. Duman içinde nikel, radyoaktif polonyum gibi metaller ve arsenik oksit de bulunur. Bu maddeler de karsinojeniktir. Tütün tarımı için kullanılan intektisid maddeler ve bunların yanma ürünleri de dumanın içinde bulunabilir (60).

Nikotin kafeinden sonra en çok kullanılan santral sinir sistemi stimulanı olduğu ve alkolden sonra en çok suistimal edilen madde olduğundan önemlidir. Alışkanlık davranışından sorumlu olan madde de nikotindir. Nikotin tüm doku ve organlar üzerindeki etkilerini hücre zarında bulunan nikotinik kolinerjik reseptörler (NKR)

üzerinden gösterir. Nikotinik reseptörler kolinerjik reseptörlerden olup hem sempatik hem parasempatik ganglion hücrelerinde ve nöromüsküler son plakta bulunur (60). Nikotin ufak molekülü ve lipofilik bir madde olduğundan yağda çözünürlüğü çok iyidir ve kan beyin bariyerini kolaylıkla geçer. Santral sinir sisteminde doza bağımlı olarak ve kişinin duyarlılığına göre değişen etkiler gösterir. Nikotin reseptörleri santral sinir sisteminde hipokampus, ventral striatal alan, amigdala gibi limbik kortikal bölgelerle, nükleus akumbens, substansiya nigra, ventral tegmental bölge, pedinküloparapontin nükleus, dorsal raphe nükleusu, lokus sereleus ve serebellar kortekste ağırlıklı olarak bulunmaktadır. Belirtilen bu bölgeler dikkat, bellek, motivasyon, emosyonel algı ve ifade, uykunun düzenlenmesi ve motor davranışların koordinasyonu gibi temel kognitif ve davranışsal işlevleri yürüten nöral devrelerin istasyonlarıdır. NKR bu bölgelerin nöral hücrelerinin presinaptik uçlarında yerleşmiştir. NKR'in nikotin ile uyarılması presinaptik nöronda asetilkolin, dopamin, serotonin, noradrenalin ve glutamin salınımını arttırır. Bunun sonucunda dikkatlilik-konsantrasyon artar, emosyonel denge öfori-keyif lehine kayar, iştah azalabilir, uyku süresi kısalmır, bellekle ilgili işlevler daha da etkinleşir, motor davranışlar daha koordine hale gelir, herhangi bir bilginin işleme süresi kısalmır, dolayısıyla “uyarana yanıt verme hızı” artar, kişi kendini daha enerjik hissedebilir (61). Nikotin mezanssefalonda, ventral tegmental alanı stimüle ederek mezolimbik dopaminerjik nöronları aktive etmesine bağlı olarak psikomotor stimulan ve pozitif pekiştirici bir maddedir ve kişide psikik bağımlılık yapar; zayıf derecede fiziksel bağımlılık oluşturabilir. Bulbustaki kemoreseptör trigger zonu uyararak bulantı ve kusmaya neden olabilir. Hipotalamusu uyararak arka hipofizden vazopressin salınımını arttırır. Nikotinin yarı ömrü yaklaşık 30 dakikadır. Nikotinin beyin kan akımına akut etkisi nikotinik reseptörlerin bulunduğu bölgelerde kanlanma artışı şeklindedir (60).

Nikotin düşük dozlarda sempatik ganglionların ve adrenal medullanın uyarılmasıyla kan basıncını ve kalp atım hızını arttırır, yüksek dozlarda ise kan basıncında düşmeye neden olur (60,62). Sigara içimi, akut dönemde kalp hızı ile sistolik kan basıncını arttırır; kas, cilt, karaciğer, gastrointestinal sistemde kan akımını azaltır (63,64). Sigara kullanmayan sağlıklı bireylerde sigara içiminin ön kol arteriyel

hemodinamikleri araştırılmış, kalp atımı ve kan basıncı ile kan akım hızında artış saptanmıştır (65). Sigara içiminden hemen sonra büyük ve orta çaplı arterlerin kompliyansında azalma (13,14) olduğu bilinmektedir. Nikotinin yüksek dozları tremor, insomni, sinirlilik gibi santral sinir sisteminin aşırı uyarılma bulgularına, santral etkiyle solunum felcine ve medüller paraliziye bağlı ağır hipotansiyona yol açar (60).

Sigara dumanının neden olduğu patolojilerden en başta gelen üç tanesi kanser, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), ateroskleroz ve buna bağlı koroner kalp hastalığıdır. Kanser oluşmasında dumanın katran fazındaki karsinojenik bileşikler, KOAH oluşumunda nikotin, ateroskleroz oluşmasında ise dumandaki karbonmonoksit ve nikotin başrolü oynarlar. Sigara içenlerde hastalığın türüne göre değişik derecelerde olmak üzere aşağıdaki hastalıkların içmeyenlere göre daha fazla olduğu saptanmıştır: akciğer, özefagus, baş ve boyun kanserleri (larenks, farenks, dudak, burun ve ağız boşluğu skuamöz hücreli kanserleri), pankreas, böbrek, mesane ve uterus serviks kanserleri, kronik obstrüktif akciğer hastalıkları, hipertansiyona bağlı olmayan koroner kalp hastalığı, serebrovasküler hastalık, subaraknoid kanama, akciğer tüberkülozu, tromboanjitis obliterans, abdominal aorta anevrizması gelişmesi ve yırtılması. Sigara kullanımına eşlik ettiği yukarıda belirtilen patolojik durumlardan, fazla sigara içenlerde içmeyenlere kıyasla görülme oranı en yüksek olan iki durum kronik obstrüktif akciğer hastalığı ve akciğer kanseridir (60).

Sigara içimi ile ekstrakranial karotid arter morfolojik değişiklikleri arasında güçlü bir birliktelik olduğu bilinmektedir (66,67). Sigara içmenin beyin damar hastalıklarında her iki cinsiyet için yaş ve hipertansiyondan bağımsız bir risk faktörü olduğu ortaya konmuştur. Sigara içimi ile inme arasındaki göreceli riskin artması doza bağımlıdır, günlük içilen sigara sayısı ile inme riski arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Sigaranın bırakılması ile hemorajik ya da trombotik inme riski önemli derecede azalmaktadır. Epidemiyolojik çalışmalar, sigarayı bırakanlarda inme riskinin beş yılda sigara içmeyenlerin düzeyine indiğini göstermiştir. Sigaranın her türlü inme riskini artırdığı çok iyi bilinmesine karşın bunu hangi mekanizma ya da mekanizmalarla yaptığı açık değildir. Sigara ateroskleroz riskini artırmaktadır ve böylelikle iskemik/hemorajik inmelere zemin hazırlaması olasıdır. Ancak, sigaranın kesilmesinden

sonra sigaraya bađlı inme riskinin tamamen ortadan kalkması, tek mekanizmanın ateroskleroz olmadıđını dűşündürmektedir. Sigara dumanı içindeki karbonmonoksit kanın oksijen tařıma kapasitesini bozar, vizkositesini arttırır ve trombosit agregasyonuna yol açabilir. Sigara prostosiklin oluřumunu inhibe eder ve kan fibrinojen dűzeylerini arttırır. Sigaranın inme űzerine etkilerinde belirtilen bűtűn bu mekanizmaların rolű olduđu kabul edilmektedir (61).

2.3.3 Beyin Kan Akımı lűm Yűntemleri

Gűnűműze kadar beyin kan akım hacimlerinin deđerlendirilmesinde çeřitli yűntemler kullanılmıřtır. Beyin kan akım hacmi lűm yűntemleri; pozitron emisyon tomografisi (PET), tek foton emisyon tomografisi (SPECT), Xenon kontrastlı bilgisayarlı tomografi (XeCT), dinamik perfűzyon bilgisayarlı tomografi (PCT), Manyetik Rezonans Gűrűntűleme (MRG) ve Doppler ultrasonografidir (4).

PET ve SPECT, PCT intravenűz kontrast kullanımı gerektirken XeCT’de inhalasyon ya da enjeksiyon yoluyla Xenon kullanılır. Dűrt yűntem de iyonizan radyasyon içerir. SPECT ve XeCT ile beynin yalnız bűlgesel kan akımı deđerlendirilebilirken, PET ile bűlgesel kan akımının (rCBF) yanısıra kan akım hacmi (CBV), bűlgesel oksijen ve glukoz metabolizması da deđerlendirilebilir. PCT ile ortalama geçiř zamanı (MTT) ve maksimum konsantrasyon piki için geçen zaman (TTP) da deđerlendirilebilmektedir. PET ve SPECT kronik serebrovaskűler hastalıklar, demans ve psikiyatrik hastalıklar, epilepside beyin hemodinamiklerini deđerlendirmede ve beyin aktivasyon çalıřmalarında kullanılır. XeCT ve PCT travma hastalarında, vazospazm deđerlendirmesinde kullanılır (4).

Perfűzyon Manyetik Rezonans Gűrűntűleme intravenűz gadolinyum kullanılan dinamik suseptibilite kontrast (DSC) ve arteryal kanın manyetik alan olarak kullanılması (endojen kontrast) esasına dayanan ‘arterial spin labelling’ (ASL) yűntemleriyle yapılır. Her iki yűntemle de beyin kan akımı (CBF) deđerlendirilebilirken DSC yűntemiyle ayrıca MTT ve maksimum konsantrasyon TTP da deđerlendirilebilir. DSC ve ASL serebrovaskűler hastalıklar ve beyin tűműrlerinin deđerlendirilmesinde kullanılırken, ASL yűntemiyle nűrodejeneratif hastalıkların deđerlendirilmesi ve beyin aktivasyon çalıřmaları yapılabilir. Perfűzyon MRG tetkiki iyonizan radyasyon içermez (4).

Doppler ultrasonografi internal karotid ve vertebral arter kan akım hacimlerinin ölçülmesi ve beyin kan akım hacimlerinin hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir (3). Bu nedenle karotid vertebral arteriyal sistemin ultrasonografik incelemesi daha Doppler US yaygınlaşmadan önce bile, ultrasonografik inceleme konularından birini oluşturmuştur. Daha sonra gelişen Doppler US teknikleri ile karotid vertebral sistemin incelenmesi klinik pratikte en çok başvurulan ve en çok değer verilen Doppler uygulamalarından biri haline gelmiştir. Serebral kanlanmanın değerlendirilmesinde kan akım hızlarının yanında, kan akım hacminin araştırılması da günümüzde gelişmiş Doppler yazılımları ile güvenle yapılmaktadır. Son yıllarda beyin kan akımının ve perfüzyonun değerlendirilmesinde Manyetik Rezonans Anjiyografi (MRA) ve Manyetik Rezonans perfüzyon çalışmaları üzerine yoğunlaşmakla birlikte Doppler US halen görüntüleme algoritmasının ilk basamağını oluşturmaktadır. Bu tercihin nedenleri arasında diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha ucuz olması, iyonizan radyasyon içermemesi, kolay erişilebilirliği, hasta başında uygulanabilirliği ve non-invaziv oluşu sayılabilir. Ayrıca Doppler US dışındaki beyin kan akım hacmini gösteren diğer yöntemler hasta başında ve acil koşullarda uygulanamazlar, bilgi toplanması ve işlenmesi için ortalama 10-25 dakikalık süreç gerektirirler (4).

2.3.4 Beyin Kan Akımını Etkileyen Faktörler

1- Kronik kalp yetmezliğinde kalbin pompa fonksiyonundaki yetersizlik ve ortalama kan basıncındaki değişikliklere bağlı olarak beyin kan akımında azalma ve buna bağlı nörolojik semptomlar olabilmektedir. Transplantasyonu takiben beyin kan akımının normalize olduğu ve nörolojik semptomların düzeldiği bildirilmiştir (68).

2- Ateroskleroz, vaskülit, disekan anevrizma gibi damarsal yapı lümeninde daralmaya neden olan hastalıklar beyin kan akımında azalmaya neden olabilir (69).

3- Şiddetli kafa travması geçiren hastalarda özellikle ilk 24 saatte beyin kan akımında belirgin azalma olduğu, ilerleyen dönemde beyin kan akımının nisbeten stabil olduğu hastalarda prognozun daha iyi olduğu bildirilmiştir (70).

4- Subaraknoid kanama sonrası vazospazma bağı beyin iskemisi gelişmesi önemli bir komplikasyondur. Vazospazma bağı beyin perfüzyon değişiklikleri ve enfarkt gelişimi sonrasında beyin kan hacminde azalma olduğu bildirilmiştir (69).

5- Hidrosefali, intrakranial kitleler de intrakranial basınç artışına ve beyin kan akımında azalmaya neden olur. Dört temel intrakranial bileşenin (beyin, BOS, venöz, arteriyel kan) hacim toplamı sabittir ve bir bileşendeki hacim artışı diğer bileşende buna uyan ölçüde azalmaya neden olur. Benzer mekanizma ile arteryo-venöz fistüllerde venöz konjesyona bağı beyin kan akımında azalma meydana gelir. Arteryo-venöz malformasyonların da beyin kan akımında azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (71,72,73).

6- Alzheimer hastalarında temporoparyetal ve sensorimotor kortekslerde bölgesel kan akımlarında azalma olduğu gösterilmiştir (74).

7- Polistemide kanın oksijen taşıma kapasitesi arttığı için beyin kan akımında azalma meydana gelir (75).

8- Hipotansiyonda beyin kan akımında azalma meydana gelirken, kronik hipertansiyonda serebral otonöregülasyonda adaptif değişiklikler meydana gelir. Bu değişikliklerle kompanse edilemeyecek düzeylerdeki hipertansiyonda intrakranial basınç artışı olur. Hipertansiyon tedavisinde kullanılan alfa1 ve beta1 blokörler arteriyel kan basıncını düşürürken intrakranial basınç otonöregülasyon mekanizmalarına etkileri azdır. Anjiyotensin konverting enzim blokörleri intrakranial basınç artışını daha da ilerletebilirken, kalsiyum kanal blokörlerinin etkileri sınırlıdır. Barbitüratlar ise kan basıncını ve beyin kan akımını azaltırlar (56,76).

9- Hipoglisemide kompanzasyon mekanizmaları ile beyin kan akımında artış meydana gelirken, hiperglisemi hiperosmolarite ve beyin ödemeine neden olur (77,78).

10- Kardiyak ya da büyük damarlara yapılan cerrahi girişimler sırasında çeşitli teknikler kullanılarak beyin perfüzyon basıncı belli düzeylerde tutularak

beyin hasarı ve cerrahi sonrası buna bağlı gelişebilecek morbitite ve mortalite oranları azaltılmaya çalışılır (79).

11- Obstrüktif sleep apne uykusu sırasında tekrarlayan üst solunum yolu obstrüksiyonu epizodları ile karakterizedir. Gün boyu devam eden uykusu hali, azalmış iş performansı, artmış trafik kazası riski ve hayat kalitesinde azalmaya neden olabilir. Transkranyal Doppler US ile yapılan incelemelerde beyin kan akımında değişiklikler olduğu saptanmıştır. Apneye ikincil hipoksemi sonucunda bölgesel beyin kan akımında azalma ve bunun sonucunda da noktörsal serebral iskemiye yatkınlık olduğu bildirilmiştir (80).

12- Epilepsi tanısında nöbet sonrasında yapılan incelemelerde epileptik foküse neden olan serebral kortekste bölgesel beyin kan akım hacmi ve bölgesel kan akımında artış olduğu gösterilmiştir. Bu artış takipte zaman içerisinde normale dönmektedir (81).

13- Kronik obstrüktif akciğer hastalığı olanlarda internal karotid arter kan akım hacimlerinin ve toplam beyin kan akım hacminin sağlıklı olgulara kıyasla belirgin yüksek olduğu bildirilmiştir (82).

14- Egzersiz sırasında da beyin kan akımında artış olduğu bildirilmiştir (83).

15- Kronik alkol kullanımı, sedatifler, antianksiyete ilaçları, inhalan ve solventler, kronik marihuana kullanımının beyin kan akımında azalmaya neden olduğu belirtilmiştir (84).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Abant İzzet Baysal Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu'nun onayı alındıktan sonra (Etik kurul no: 2007/100-30), Temmuz 2007- Ocak 2008 tarihleri arasında Radyoloji Anabilim Dalında gerçekleştirildi. Hipertansiyon, diyabet, gut, serebrovasküler hastalık, hiperkolesterolemi, renal-kardiyak patoloji, geçirilmiş kafa travması, beyin operasyonu, kronik ilaç kullanımı (psikiyatrik, oral kontraseptif), alkol kullanımı öyküsü olan, gri skala incelemede ICA'da kıvrıntılı seyir ve vertebral arter çapı 3 mm altında olan olgular da çalışma dışı bırakıldı.

Çalışmaya vücut kitle indeksi 20–25 kg/m² olan 20-40 yaş arası, yaş ortalamaları 29,7 ± 4,8 olan 5-20 paket/yıl sigara kullanan 50 kişi ile, yaş ortalamaları 28,2 ± 4,5 olan sigara kullanmayan 50 kişi olmak üzere, 45'i erkek 55'i kadın toplam 100 olgu dahil edildi. Tüm olguların çalışma için bilgilendirilmiş onam formlarını okumaları ve anlayıp imzalamaları sağlandı.

Sigara kullanan 50 olgudan 23'ü kadın, 27'si erkek, sigara kullanmayan 50 olgudan 32'si kadın 18'i erkekti. Sigara kullanan olgularda içilen sigara sayısı paket/yıl olarak hesaplandı.

Sigara kullanan olgulardan 5-10 paket/yıl kullananlar 34 , 11-15 paket/yıl kullananlar 13 , 16-20 paket kullananlar 3 kişiydi (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Olguların sigara kullanım oranlarına göre dağılımı (paket/yıl)

Sigara (paket / yıl)	Olgu Sayısı (n=50)
5-10	34
11-15	13
16-20	3

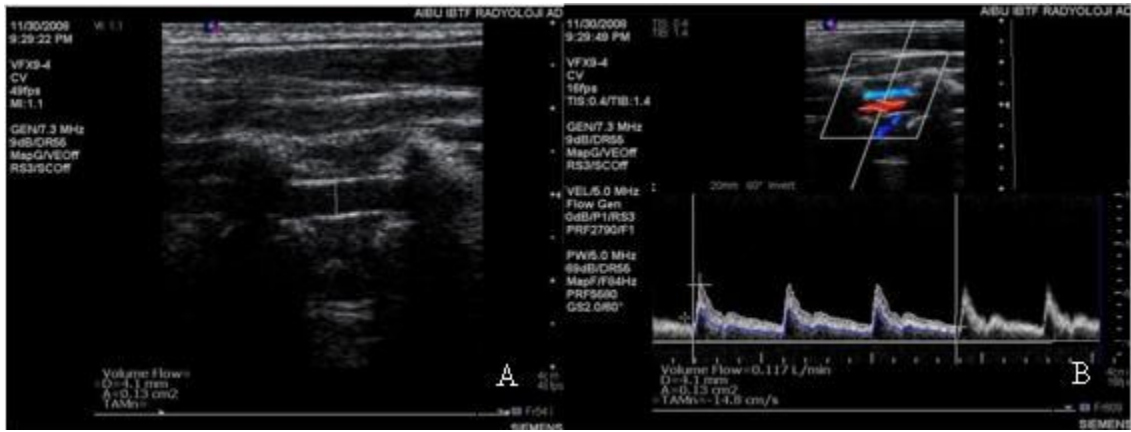
Tüm incelemeler olguların sigara kullanıp kullanmadığını bilmeyen, aynı radyolog tarafından yapıldı. Olgulardan sigara ve kafein içeren içeceklerin alımının incelemeden en az 4 saat önce bırakılması istendi. İncelemeler olgular uygun sıcaklıktaki bir odada 15 dakika dinlendirildikten sonra, supin pozisyonda yatırılarak, başları hafif ekstansiyonda ve incelenecek tarafın 25–40° karşısına çevrilerek yapıldı.

Ultrasonografik incelemeler Sonoline Antares (Siemens, CA, USA) ultrasonografi cihazı ve VFX 9-4 MHz lineer prob kullanılarak yapıldı. Tüm olgularda karotid ve vertebral sistem gri-skala US ile çap ve stenotik lezyon yönünden değerlendirildikten sonra, renkli ve spektral Doppler US incelemesi yapıldı. Aliasing artefaktını engellemek için en düşük puls tekraralama frekansı seçildi. Böylece Doppler spektrumu boyutunda artış ve ölçümlerde ortaya çıkabilecek hata yüzdesinde düşme de sağlanmış oldu. Ölçümler ICA'da karotid bifurkasyonun 1.5 cm distalinden, VA'de C5-6 transvers prosesleri arasından longitudinal planda siklusun sistol fazında yapıldı. Her iki tarafta Doppler ultrasonografi ile birbirini tekrar eder nitelikte ardışık üç spektral dalga formunu içeren, pik sistolik hız (PSV), diyastol sonu hız (EDV), ortalama kan akım hızı (TAV), rezistivite (RI) ve pulsatilite (PI) indeksleri, damar lümen çapı, kan akım hacmi ölçümleri yapıldı. Akım hızları Doppler açısı standart 60°'de tutularak elde edildi. Örnekleme hacmi lümenin tamamını içine alacak şekilde ayarlandı. Karotid ve vertebral arterler için cihazda belirlenmiş renk ve hız skalası değerleriyle tetkike başlandı. Gerekliğinde damarın tam renk kodlama ile doluluğu ve iyi spektral örneklem için manuel manipülasyonlar yapıldı. Her iki internal karotid arterin lümen çapı doku harmonik görüntüleme ile B modda görüntü alınarak iki ekojen intima arasındaki mesafenin lümene dik olarak ölçülmesi ile elde edildi (Şekil 3.1.A). Sonrasında Spektral Doppler Görüntüleme metodu kullanılarak akım hacimleri hesaplandı (Şekil 3.1.B). Aynı ölçümler her iki vertebral arter içinde tekrarlandı (Şekil 3.2.A ve Şekil 3.2.B)

Sağ ve soldaki ICA ve VA kan akım hacimleri toplanarak toplam beyin kan akım hacmi hesaplandı.



Şekil 3.1: İnternal karotid arterde Gri skala US’de damar çapı ölçülüp (A) sisteme kaydı yapıldıktan sonra spektral incelemede en az üç düzgün siklus spektral örneği kaydedilmektedir (B). Çap ve spektral parametrelerin otomatik değerlendirilmesi ile akım hacmi debi olarak cihaz tarafından otomatik verilmektedir.



Şekil 3.2: Vertebral arterde Gri skala US’de damar çapı ölçülüp (A) sisteme kaydı yapıldıktan sonra akım hacmi debi olarak (B) cihaz tarafından otomatik verilmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için “SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows 13.0” programı kullanıldı. Değerlendirmeler, ortalama, standart sapma, lineer regresyon analizi, “Student’s t” testi, “Mann-Whitney U” testi ve “Pearson korelasyon” testi kullanılarak yapıldı. p değerinin 0.05’ten küçük olması anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

Sigara kullanan ve kullanmayan grup arasında yaş ve cinsiyet dağılımı, vücut kitle indeksleri açısından anlamlı farklılık saptanmamıştır ($p > 0.05$) (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: Olguların yaş, cinsiyet, VKİ özellikleri

Değişken		Sigara(+)	Sigara(-)
Cinsiyet	K	23	32
	E	27	18
Yaş		29.7 ± 4.8	28.2 ± 4.5
VKİ		22.1 ± 1.6	22.0 ± 1.6

K: kadın, E: erkek, VKİ: vücut kitle indeksi, Sigara(+): sigara kullanan, Sigara(-): sigara kullanmayan

Sigara içme miktarları 5 ile 20 paket/yıl arasında olup ortalama kadınlarda ($n=23$); 8.0 ± 3.0 , erkeklerde ($n=27$); 9.3 ± 4.0 paket/yıl idi. Kadın ve erkekler arasında sigara kullanma oranları açısından anlamlı farklılık saptanmamıştır ($p > 0.05$) (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Kadın ve erkeklerde sigara kullanma oranları (paket/yıl)

Sigara	Paket / yıl	p
Kadın (n=23)	8.0 ± 3.0	> 0.05
Erkek (n=27)	9.3 ± 4.0	

Her iki internal karotid arter kan akım hacimleri sigara kullananlarda 439.5 ± 18.4 , kullanmayanlarda 492.5 ± 26.9 , her iki vertebral arter kan akım hacimleri sigara kullananlarda 221.7 ± 12.0 , kullanmayanlarda 235.6 ± 12.0 ml/ dk, toplam beyin kan akım hacmi sigara kullananlarda 661.1 ± 21.2 ml/dk, kullanmayanlarda 728.1 ± 26.8 ml/dk bulunmuş olup, sigara kullanan olgularda beyin kan akım hacimleri daha düşük bulunmuştur ($p < 0.001$) (Tablo 4.3). Kan akım hacimleri sigara kullanan olgularda kullanmayanlara kıyasla internal karotid arterlerde % 10.8, vertebral arterlerde % 6, toplam beyin kan akım hacmi ise % 9.2 oranında düşük bulunmuştur. Yapılan regresyon analizinde sigara içme miktarının (paket/yıl) artmasının toplam beyin kan akım hacmini anlamlı derecede azalttığı görülmüştür ($p < 0.001$), güven aralığı ($[-7,698] - [-5,607]$).

Tablo 4.3 : Sigara kullanan ve kullanmayan gruptaki toplam kan akım hacimleri

Değişken	Sigara (+)	Sigara (-)	p
t BFV ICA	439.5 ± 18.4	492.5 ± 26.9	< 0.001
t BFV VA	221.7 ± 12.0	235.6 ± 12.0	< 0.001
t CBFV	661.1 ± 21.2	728.1 ± 26.8	< 0.001

t BFV: Total blood flow volume; toplam kan akım hacmi, ICA: İnternal karotid arter, VA: vertebral arter, t CBFV: total cerebral blood flow volume; toplam beyin kan akım hacmi, sigara (+): sigara kullanan, sigara (-): sigara kullanmayan.

Sigara kullanmayan grupta sol vertebral arter çapları, kullananlara kıyasla daha düşük ($p=0.029$) saptanmış, sigara kullanan ve kullanmayan grupta her iki tarafta internal karotid arter çapları ve sağ vertebral arter çapları arasında farklılık saptanmamıştır ($p > 0.05$) (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 : ICA ve VA'da damar lümen çapları

R ICA Çap	4.87 ± 0.12	4.84 ± 0.11	> 0.05
R VA Çap	3.65 ± 0.20	3.63 ± 0.21	> 0.05
L ICA Çap	4.87 ± 0.10	4.87 ± 0.10	> 0.05
L VA Çap	3.77 ± 0.20	3.68 ± 0.21	0.029

ICA: internal karotid arter, VA: vertebral arter, R: sağ; L: sol

Sigara kullanan ve kullanmayan olguların sistolik ve diastolik kan basınçları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p > 0.05$) (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 : Sigara kullanan ve kullanmayan grubun kan basıncı değerleri

Değişken (kan basıncı)	Sigara (-)	Sigara (+)	p
Sistolik	116,50 ± 5,737	116,00 ± 5,440	> 0.5
Diastolik	76,20 ± 4,690	75,80 ± 4,558	> 0.5

Sigara (+): sigara kullanan, sigara (-): sigara kullanmayan.

Sigara kullanan ve kullanmayan grup arasında ICA ve VA pik sistolik hızlarında (PSV) anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p > 0.05$). ICA ve VA diyastol sonu hızları (EDV) sigara kullanan grupta kullanmayanlara kıyasla daha düşüktür. Rezistivite

indeksi (RI) ve pulsatile indeksi (PI) sigara kullanan grupta daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.001$) (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Sigara kullanan ve kullanmayan grupta PSV, EDV, RI ve PI değerleri

Değişken	Sağ			Sol		
	Sigara (-)	Sigara (+)	p	Sigara (-)	Sigara (+)	p
PSV (ICA)	85.3 ± 11.5	87.6 ± 10.5	> 0.05	86.1 ± 9.1	88.7 ± 8.3	> 0.05
PSV (VA)	49.4 ± 5.7	49.6 ± 5.2	> 0.05	51.3 ± 5.9	51.3 ± 5.8	> 0.05
EDV (ICA)	34.4 ± 5.5	26.5 ± 3.7	< 0.001	34.4 ± 5.0	26.9 ± 2.6	< 0.001
EDV (VA)	19.5 ± 2.4	14.5 ± 1.8	< 0.001	20.4 ± 3.3	15.0 ± 2.5	< 0.001
RI (ICA)	0.5 ± 0.04	0.69 ± 0.02	< 0.001	0.59 ± 0.04	0.69 ± 0.02	< 0.001
RI (VA)	0.60 ± 0.02	0.70 ± 0.02	< 0.001	0.59 ± 0.03	0.70 ± 0.03	< 0.001
PI (ICA)	1.11 ± 0.20	1.51 ± 0.15	< 0.001	1.11 ± 0.19	1.51 ± 0.15	< 0.001
PI (VA)	1.16 ± 0.16	1.51 ± 0.16	< 0.001	1.16 ± 0.15	1.54 ± 0.18	< 0.001

PSV: Pik sistolik hız, EDV: end diastolik hız, ICA: internal karotid arter, VA: vertebral arter, RI: rezistivite indeksi, PI: pulsatile indeksi, sigara (+): sigara kullanan, sigara (-): sigara kullanmayan.

Sigara kullanan grupta her iki tarafta ICA ve VA ortalama kan akım hızları daha düşük bulunmuştur ($p < 0.001$) (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 : ICA ve VA'da ortalama kan akım hızları

Değişken	Sigara(+)	Sigara(-)	p
R TAV (ICA)	19.7 ± 1.3	22.1 ± 1.4	< 0.001
R TAV (VA)	16.8 ± 1.8	18.2 ± 2.1	< 0.001
L TAV (ICA)	19.5 ± 1.0	21.9 ± 1.3	< 0.001
L TAV (VA)	17.0 ± 1.5	19.1 ± 2.0	< 0.001

TAV: Time averaged velocity; ortalama hız, ICA: internal karotid arter, VA: vertebral arter, Sigara(+): sigara kullanan, Sigara(-): sigara kullanmayan, R: sağ, L: sol

5. TARTIŞMA

Beyin kan akım hacmi ölçümü için kullanılan başlıca yöntemler; pozitron emisyon tomografisi (PET), tek foton emisyon tomografisi (SPECT), Xenon kontrastlı bilgisayarlı tomografi (XeCT), dinamik perfüzyon bilgisayarlı tomografi (PCT), Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) ve Doppler ultrasonografidir. PET, SPECT, XeCT, PCT yöntemlerinde iyonizan radyasyon kullanılırken perfüzyon MRG ve Doppler US iyonizan radyasyon içermez. Doppler US dışındaki yöntemler bilgi toplanması ve işlenmesi için ortalama 10-25 dakikalık süreç gerektirdiklerinden hasta başında ve acil koşullarda uygulanamazlar (4). Son yıllarda beyin kan akımının ve perfüzyonun değerlendirilmesinde Manyetik Rezonans Anjiografi (MRA) ve Manyetik Rezonans perfüzyon çalışmaları üzerine yoğunlaşılma ile birlikte Doppler US halen görüntüleme algoritmasının ilk basamağını oluşturmaktadır. Doppler US'nin iyonizan radyasyon içermemesi, kolay erişilebilirliği, hasta başında uygulanabilirlik özelliklerine ek olarak, diğer yöntemlere kıyasla daha ucuz olması, non-invaziv oluşu da tercih edilen bir yöntem olmasına neden olmaktadır. Biz de bu nedenlerle beyin toplam kan akım hacminin değerlendirilmesi için Doppler US yöntemini seçtik.

Beynin fizyolojik ihtiyaçlarının karşılanması, yapısal bütünlüğünün korunması için ihtiyacı olan oksijen ve glukozun sağlanabilmesi için kan akımının belirli bir düzeyde olması gereklidir. Yetişkin bir insanın beyin dokusunda, normal kan akımı her 100 gram beyin dokusu için ortalama 50-65 mililitredir. Bu değer 100 gram beyin dokusu için dakikada 18-20 ml'nin altına düştüğünde nörolojik fonksiyonlarda bozulma başlar. 10 ml'nin altına düştüğünde ise beyin hücreleri bunu tolere edemez ve dakikalar içinde enfarkt oluşur (56,69). Yani beyin kan akımındaki ortalama % 60-64'lük azalma nörolojik fonksiyonlarda bozulma, % 80'lik azalma ise enfarkt oluşumu ve geri dönüşümsüz hasarla sonuçlanır. Beyin kan akımının aniden tamamen kesilmesini sinir dokusunun ölümü ve geri dönüşümsüz beyin hasarı izler. Böyle bir durumda bir dakika sonra nöral fonksiyonların durduğu, dört dakika sonra geri dönüşü olmayan değişikliklerin başladığı tahmin edilmektedir (85). Başta ateroskleroz olmak üzere damar lümeninde daralmaya neden olan patolojiler, travma ya da hemoraji gibi

vazospazm oluşturan nedenler, büyük kalp ve damar cerrahisi operasyonları esnasında beyne giden kan akımında geçici ya da uzun süreli azalma meydana gelebilmektedir (69,70,79). Literatürde sigara içiminin beyin kan akımına etkisi olmadığını, arttırdığını ve azalttığını ileri süren farklı çalışmalar vardır (86,87,18).

Sigara içimini takiben Doppler US ile yapılan değerlendirmede bilateral ICA ve VA'lerde kan akım hızlarında artış olduğu, periferik arterlerde ise kan akım hızlarında azalma olduğu bildirilmiştir (16). Transkranyal Doppler US ile yapılan çalışmalarda sigara içiminden sonraki 10-30 dakikada serebral kan akım hızında artış ve vazomotor reaktivitede azalma olduğu (15), her iki orta serebral arterde bazal serebral arterlerdeki konstrüksiyona ikincil kan akım hacminde artış olduğu (17) gösterilmiştir. PET ile yapılan çalışmalarda sigara kullananlarda sigara içimiyle beyin glukoz metabolizmasında artış olduğu (88), nazal nikotin uygulamasını takiben talamus gibi nikotinik reseptörlerin bulunduğu bölgelerde beyin kan akımında artış olduğu (89) bildirilmiştir. Sigara içimini takiben PET ile bölgesel beyin kan akımları değerlendirilmiş, vizüel korteks, talamus ve serebellumda kan akımının arttığı belirlenmiştir (90). Benzer şekilde PET ve MRG ile yapılan bir çalışmada sigara içimini takiben sol frontal bölgede kan akımında artış, sol amigdalada kan akımında azalma olduğu belirtilmiştir (91). Fonksiyonel MRG ile intravenöz nikotin uygulamasını (92), ve sigara içimini takiben (93) yapılan çalışmalarda beynin farklı anatomik bölgelerinde nöronal aktivitede artış olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmaların çoğunluğu sigara içimine bağlı akut etkileri değerlendirmektedir. Sigara içiminin beyin kan akımına kronik etkilerinin değerlendirilmesi, diğer nedenleri kontrol edebilmedeki zorluk ve olası düşük düzeylerde değişiklik yapması nedenleriyle akut etkilerine kıyasla daha güçtür. Xenon inhalasyon yöntemi ile uzun süre sigara kullananlarda yapılan çalışmalarda bölgesel beyin kan akımlarında azalma olduğu saptanmış ve bunun aterosklerotik değişikliklere bağlı damar daralması ve direnç artışına ikincil olduğu söylenmiştir (18). Kronik sigara kullanıcılarında ateroskleroz dışı mekanizmayla beyin kan akımının azaldığı, ancak sigarayı bırakanlarda bölgesel beyin kan akımlarındaki azalmanın 9 yıl sonra düzeldiği gösterilerek ispat edilebilmiştir (94). Bizim çalışmamız, bilgilerimize göre, literatürde sigara içiminin uzun dönem etkilerinin Doppler US ile araştırıldığı ilk çalışmadır.

Toplam beyin kan akım hacminin, ortalama kan akım hızının, pik sistolik ve diastol sonu hızların artan yaşla birlikte azaldığı bildirilmiştir (95). Bizim çalışmamız nisbeten dar bir yaş aralığında (20-40 yaş) yapılmıştır. Ateroskleroza bağlı kan akımı azalması faktörünü ekarte etmek için akım ölçümü öncesi standart olarak yapılan gri skala US incelemesinde plak saptanan olgular çalışmaya dahil edilmemiştir. Bizim çalışmamızda sigara kullanan ve kullanmayan olguların kan basınçları her iki grupta da normal sınırlarda olup, her iki grubun kan basınçları arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p > 0.05$). Kontrol edemediğimiz kan basıncı dışındaki diğer faktörler de beyin kan akımında azalmaya neden olabilir. Ancak yapılan lineer regresyon analizinde sigara kullanım miktarı arttıkça beyin kan akım hacminde anlamlı derecede azalma olduğu bulunmuştur ($p < 0.001$), güven aralığı ([-7,698] – [-5,607]). Bu nedenle bu azalmanın öncelikli olarak sigaraya bağlı olduğu kabul edilmiştir.

Sağlıklı yetişkinlerde Doppler US ile yapılan bir çalışmada (95). 20-39 yaş grubunda toplam beyin kan akım hacmi 716 ± 75 ml/dk bulunmuştur. Bu çalışmada olguların sigara kullanımı açısından sorgulanıp sorgulanmadığı belirtilmemiştir. Bizim çalışmamızda toplam beyin kan akım hacmi sigara kullanan olgularda 661.1 ± 21.2 , kullanmayan olgularda 728.1 ± 26.8 ml/dk bulunmuştur ve her iki grupta da literatürde erişkin yaş grubu için verilen aralıkta yer almaktadır. Ancak sigara kullanan olgularda, kullanmayanlara kıyasla kan akım hacimlerinin internal karotid arterlerde % 10.2, vertebral arterlerde %6, toplam beyin kan akım hacminin ise % 9.2 oranında düşüktür. Bu oran, Xenon CT ile yapılan bir çalışmada rapor edilen yaklaşık %12.5 oranıyla paraleldir (18). Bizim sonuçlarımıza göre beyin kan akım ölçümü yapılan çalışmalarda sigara kullanımının da bir değişken olarak dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

İnsanlarda vertebrobaziler sistemin toplam beyin kan akım hacminin yaklaşık %24'ünü sağladığı belirtilmiştir (96). Konvansiyonel Dupleks ultrasonografi metoduyla, iki tarafta toplam vertebral arter kan akım hacminin 100 ml/dk olduğu ve bunun altındaki değerlere sahip olanların vertebrobaziler yetmezliğe bağlı semptomatik hasta olmaya eğilimli olduğu gösterilmiştir (54). Bizim çalışmamızda olgular çalışmaya dahil edilmeden önce vertebral arter hipoplazisi yönünden çap ölçümü yapılmış ve 3 mm altındaki olgular çalışmaya dahil edilmemiştir. Vertebral arter kan akım hacimleri sigara

kullanan olgularda 221.7 ± 12.0 ml/dk, kullanmayanlarda 235.6 ± 12.0 olarak saptanmıştır. Beyin kan akım hacminin hesaplanması ortalama kan akım hızıyla damar kesit alanı çarpılarak yapılmaktadır. Damar kesit alanı da damar lümen çapı ile orantılıdır. Çaptaki yaklaşık % 10'luk değişme, kan akım hacminde yaklaşık % 35'lik bir değişmeye neden olur. Bizim çalışmamızda sigara kullanmayan grupta sol vertebral arter çapları, kullananlara kıyasla daha düşük ($p=0.029$) saptanmış olmakla birlikte, vertebral arter toplam kan akım hacimleri sigara kullanan grupta (çapın kan akımı üzerindeki önemli etkisine rağmen) daha düşüktür ($p < 0.001$). Bizim sonuçlarımıza göre vertebrobaziler yetmezlik tanı araştırması yapılan olgularda vertebral arter kan akım hacmini etkilediğinden, semptomatik hastalarda kronik sigara kullanımının varlığı ya da yokluğu da dikkate alınmalı, gerekirse yeni değerler belirlenmelidir.

Çalışmamızda sigara kullanmayan ve kullanan grup arasında ICA ve VA pik sistolik hızlarında (PSV) anlamlı farklılık bulunmamıştır. ICA ve VA diyastol sonu hızları (EDV), ortalama kan akım hızı (TAV), sigara kullanan grupta kullanmayanlara kıyasla daha düşük Rezistivite indeksi (RI) ve daha yüksek Pulsatilite indeksi (PI) bulunmuştur ($p < 0.001$). Ortalama kan akım hızındaki azalmanın diyastol sonu hızdaki azalmaya; RI ve PI değerlerindeki artmanın da, PSV sabitken EDV'deki azalmaya bağlı olduğunu düşünüyoruz. Kan basıncı değişiklikleri de RI, PI değerlerinde değişikliğe neden olabilir. Ancak bizim çalışmamızda sigara kullanan ve kullanmayan grup arasında kan basınçları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır ($p > 0.05$). Çalışmamızda karotid ve vertebral sistem kan akım hacimleri ve toplam beyin kan akım hacimlerinde her iki tarafta (sağ-sol) azalma, benzer oranda olup; bunun sigaranın beyne giden tüm damarları benzer şekilde etkilemesine yani sigara kullanımının sistemik etkisine bağlı olduğu düşünülmüştür.

Plazma nikotin seviyesi ile kan akım değişiklikleri arasında korelasyon olup olmadığının değerlendirilmemesi, kanın parsiyel karbondioksit ve parsiyel oksijen basınçlarının değerlendirilmemesi, ölçümlerin ikinci bir araştırmacı tarafından tekrarlanarak karşılaştırma yapılmamış olması ve farklı bir görüntüleme yöntemiyle beyin kan akımının değerlendirilerek karşılaştırma yapılmamış olması bu çalışmanın

sınırlamaları olmasına rağmen, bunu araştıracak ileri çalışmalar için bir ön çalışma niteliğinde olabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak kronik sigara kullanımı, sağlıklı görünen bireylerde de beyin kan akımını azaltan bir faktör olup diğer faktörler ile bir arada bulunduğunda (ki sigara kullanımı ateroskleroza hızlandırarak diğer faktörlerin de etkisini arttırabilir) ya da semptom oluşturacak sınırın hemen altındaki olgularda; kan akımındaki azalmaya katkısıyla, azalmanın kritik düzeye ulaşmasını sağlayabilir.

Sigarayı bırakanlarda beyin kan akımındaki azalma zamanla düzelebilmekte ancak bu uzun bir süreç gerektirmektedir. Bu nedenle beyin kan akımının değerlendirilmesi çalışmalarında olguların sonuçlarının, kronik sigara içimi faktörünün varlığını da dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca kronik sigara içimi olan olgularda beyin kan akım hacminde yetmezlik ya da enfarkt kliniği tahmin edilen sınırlardan daha önce ortaya çıkabilir. Ancak bu hipotezin bu çalışmanın sınırlamaları nedeniyle yeni ve farklı beyin kan akım hacmi ölçüm yöntemleriyle de araştırılması gerekmektedir.

7.KAYNAKLAR

1. Mysior M, Stefanczyk L, Doppler ultrasound criteria of physiological flow in asymmetrical vertebral arteries. *Med Sci Monit* 2007; 13: 73-77
2. Muizelaar JP, Marmarou A, Desalles AA, ve ark. Cerebral blood flow and metabolism in severely head injured children, part 1: relation with GCS score outcome, ICP and PVI. *J Neurosurg* 1989; 71: 63
3. Oktar SO, Yücel C, Karaosmanoğlu D, ve ark. Blood flow volume quantification in internal carotid and vertebral arteries: comparison of 3 different ultrasound techniques with phase contrast MR imaging. *Ajnr Am J Neuroradiol* 2006; 27: 363-369
4. Wintermark M, Sesay M, Barbier E, ve ark. Comparative overview of brain perfusion imaging techniques. *Stroke* 2005; 36: e83-e99
5. Smoking and health in the America. A 1992 report of the Surgeon of the Colaboration with the Pan American Health Organization, US.
6. Mathers CD, Loncar D. Projections of global mortality and burden of disease from 2002-2030. *PLoS Medicine* 2006; 11: 2011-2030
7. Jacobs DR, Adachi H, Mulder I, ve ark. Cigarette smoking and mortality risk: Twenty-five year follow-up the seven countries study, *Arch Intern Med* 1999; 159: 733-740
8. Murray RP, Anthonisen NR. Interventions for smoking cessation: the outcomes are determined by the questions asked. *Eur Respir J* 1999; 13: 231-232
9. WHO; Report on the tobacco epidemic 2008
10. Vineis P, Alavanja M, Buffler P, ve ark. Tobacco and cancer: Recent epidemiological evidence. *J Natl Cancer Inst* 2004; 96: 99-106
11. Peto R, Lopez AD, Boreham J, Mortality from smoking worldwide . *Br Med Bull* 1996, 52: 12-21
12. Oncken C, McKee S, Krishnan Sarin S, O'Malley S, Mazure CM. Knowledge and perceived risk of smoking related conditions: a survey of cigarette smokers. *Prev Med* 2005; 40: 779-784
13. Kool MJ, Hoeks AP, Struijker Boundier HA, Reneman RS, Van Bortel LM. Short and long term effects of smoking on arterial wall properties in habitual smokers. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22:1881-1886
14. Stefanidis C, Tsiamis E, Vlachopoulos C, ve ark. Unforable effect of smoking on elastic properties of human aorta. *Circulation* 1997; 95: 31-38
15. Silvestrini M, Troisi E, Matteis M, Cupini LM, Bernardi G. Effect of smoking on cerebrovascular reactivity. *J Cereb Blood Flow Metab* 1996; 16: 746-749

16. Morioka C, Kondo H, Akashi K, ve ark. The continuous and smiltaneous blood flow velocity measurement of four cerebral vessels and a peripheral vessel during cigarette smoking. *Psychopharmacology* 1997; 131: 220-229
17. Terborg C, Birkner T, Schack B, Witte OW. Acute effects of cigarette smoking on cerebral oxygenation and hemodynamics: A combined study with near-infrared spectroscopy and transcranial Doppler sonography. *J Neurol Sci* 2002; 205: 71-75
18. Kubota K, Yamaguchi Y, Abe Y, ve ark. Effects of smoking on regional cerebral blood flow in neurologically normal subjects. *Stroke* 1983; 14(5): 720-724
19. Kubota K, Yamaguchi T, Fujiwara T, Matsuzawa T. Effects of smoking on regional cerebral blood flow in cerebral vascular disease patients and normal subjects. *Tohoku J. Exp Med* 1987; 151(3): 261-268
20. Yamashita K, Kobayashi S, Yamaguchi S, Kitani M, Tsunematsu T. Effect of smoking on regional cerebral blood flow in the normal aged volunteers. *Gerontology* 1988; 34(4): 199-204
21. Midleton WD, Kurtz AB, Hertzberg BS: *Practical Physics*. Thrall JH (Editor). *The Requisites Ultrasound*. İkinci baskı, Boston Massachusetts: Mosby, 2004: 3-27
22. Oyar O: *Ultrasonografi Fiziği: Tıbbi Görüntüleme Fiziği*. Editör Oyar O, Gülsoy UK. Birinci baskı, SDÜ Tıp Fakültesi, Isparta 2003: 167-230
23. Oyar O: *Ultrasonografi Fiziği: Radyolojide Temel Fizik Kavramlar*. Editör Oyar O. Birinci baskı, İstanbul: Nobel, 1998: 213-244
24. Tuncel E: *Ultrasonografi. Klinik Radyoloji*. İkinci baskı, Bursa: Nobel-Güneş Tıp Kitapevi, 2008: 152-183
25. Rumack MC, Wilson RS, Charboneau JW: *Physics of Ultrasound*. Rumack MC, Wilson RS, Charboneau JW (Editors). *Diagnostic Ultrasound*. İkinci baskı, Missouri: Mosby, 1998: 8-33
26. Rubin JM. Spectral Doppler US. *RadioGraphics* 1994; 14: 139-150
27. Zwiebel WJ, Pellerito JS: Doppler ve B-Mod Ultrasonografide fizik ve enstrümantasyon. Mihmanlı İ (Editör). *Vasküler Ultrasona Giriş*. Birinci baskı, İstanbul: İstanbul Medikal Yayıncılık, 2006: 19-60
28. American Institue of Ultrasound in Medicine: Safety standard for diagnostic ultrasound systems. *J Ultrasound Med* 1983; 2: 32
29. Dere F: *Baş ve Boyun: Anatomi Atlası ve Ders Kitabı*. Beşinci baskı, Nobel-İstanbul, 1999: 575-601
30. Abrams HL: *Normal Cerebral Vascular Anatomy*. Abrams HL (Editor). *Vascular and Interventional Radiology*. Üçüncü baskı, Boston: Brown and Company, 1983: 231-270
31. Huber P: *Cerebral Arteries*. Krayenbühl H, Yaşargil MG (Editors). *Cerebral Angiography*. İkinci baskı, New York: Thieme Medical Publishers, 1982: 36-152

32. Weissleder R, Wittenberg J, Harisinghani MG: Nörolojik Görüntüleme. Sarıkaya B, Taşbaş B (Editörler). Tanısal Görüntülemenin Temeli. Üçüncü baskı, Ankara: Pelikan, 2003: 489-494
33. Putman CE, Ravin CE: Central Nervous System. Diagnostic Imaging. İkinci baskı, Philadelphia: W.B.Saunders, 1994: 263-264
34. Buckenham TM, Wright A. Ultrasound of the extracranial vertebral artery. Br J Radiol 2004; 77: 15-20
35. Junqueira LC, Carneiro J, Kelley RO: Dolaşım Sistemi. Aytekin Y, Solakoğlu S (Editörler). Temel Hsitoloji. İstanbul: Barış, 1993: 254-272
36. Zwiebel WJ, Pellerito JS: Periferik Vasküler ve Serebrovasküler Hastalıklarda Hemodinamik Hususlar. Mihmanlı İ (Editör). Vasküler Ultrasona Giriş. Birinci baskı, İstanbul: İstanbul Medikal Yayıncılık, 2006: 3-18
37. Taylor KJW, Burns PN, Wells PNT: Hemodynamics. Clinical Applications of Doppler Ultrasound. İkinci baskı, Philadelphia: Lippincott-Raven, 1995: 35-54
38. Guyton AC, Hall JE: Kan Akımının Dokular Tarafından Lokal Kontrolü ve Humoral Düzenleme. Çavuşoğlu H (Editör). Tıbbi Fizyoloji. Onuncu baskı, İstanbul: Nobel, 2001: 175-183
39. Rumack MC, Wilson RS, Charboneau JW: The Extracranial Cerebral Vessels. Rumack MC, Wilson RS, Charboneau JW (Editors). Diagnostic Ultrasound. İkinci baskı, Missouri: Mosby, 1998: 885-919
40. Tuncel E: Serebrovasküler Hastalıklar. Klinik Radyoloji. İkinci baskı, Bursa: Nobel-Güneş Tıp Kitapevi, 2008: 879-907
41. Hagen-Ansert SL: Ekstrakranial Serebrovasküler Değerlendirme. Akhan O (Editör). Tanısal Ultrasonografi. Beşinci baskı, Ankara: Güneş, 2005: 483-494
42. Middleton WD, Kurtz AB, Hertzberg BS: Neck and Chest. Thrall JH (Editor). The Requisites Ultrasound. İkinci baskı, Boston Massachusetts: Mosby, 2004: 259-269
43. Tahmasebpour HR, Buckley AR, Cooperberg PL. Sonographic examination of the carotid arteries. RadioGraphics 2005; 25: 1561-1575
44. Akan H: Karotis ve Vertebral Arter Doppler Ultrasonografisi. Baş ve Boyun Radyolojisi. Ankara: MN Medikal-Nobel, 2008: 503-517
45. Taylor KJW, Burns PN, Wells PNT: Cerebrovascular Doppler Applications. Clinical Applications of Doppler Ultrasound. İkinci baskı, Philadelphia: Lippincott-Raven, 1995; 109-131
46. Kumar V, Cotran RS, Robbins SL: Kan Damarları. Çevikbaş U (Editör). Temel Patoloji. Altıncı baskı, İstanbul: Nobel, 2000: 281-289
47. Galtini D, Soudack M. Diagnosing carotid stenosis by Doppler sonography. J Ultrasound Med 2005; 24: 1127-1136
48. Dahnert W: Ear, Nose, and Throat disorders. Baret K (Editor). Radiology Review Manual. Altıncı baskı, Philadelphia: Lippincott-Williams wilkins, 2007; 377-381

49. Sidhu PS. Ultrasound of the carotid and vertebral arteries. *Br Med Bull* 2000; 56: 346-366
50. De Bray JM, Pasco A, Tranquart F, ve ark. Accuracy of color-Doppler in the quantification of proximal vertebral artery stenosis. *Cerebrovasc Dis* 2001; 11:335-340
51. Özbek SS, Parıldar M. Hemodinamic disorders in internal thoracic artery: How often are they associated with subclavian steal via ipsilateral vertebral artery. *J Ultrasound Med*, 1998; 17: 147-151
52. Cihangiroğlu M, Rahman A, Yıldırım H, Burma O, Uysal H. Iatrojenic vertebral artery pseudoaneurysm: US, CT and MRI findings. *Eur J Radiol* 2002; 43: 14-18
53. Bendick PJ, Glover JL. Vertebrobasilar insufficiency: Evaluation by quantitative duplex flow measurements. A preliminary report. *J Vasc Surg* 1987; 5: 594-600
54. Seidel E, Eicke BM , Tettenborn B, Krummenauer F. Reference values for vertebral artery flow volume by duplex sonography in young and elderly adults. *Stroke* 1999; 30: 2692-2696
55. Zwiebel WJ, Pellerito JS: İnrakranial arterlerin ultrason ile değerlendirilmesi. Mihmanlı İ (Editör). *Vasküler Ultrasona Giriş*. Birinci baskı, İstanbul: İstanbul Medikal Yayıncılık, 2006: 225-250
56. Guyton AC, Hall J: Beyin kan akımı, serebrospinal sıvı ve beyin metabolizması. Çavuşoğlu H (Editör). *Tıbbi Fizyoloji*. Onuncu baskı, İstanbul: Nobel, 2001: 709-715
57. Berne RM, Levy MN, Koeppen BM, Stanton BA: Özel dolaşımilar. *Fizyoloji*. Beşinci baskı, Ankara: Güneş, 2008: 424-426
58. Kierszenbaum AL: Kalp damar sistemi. Demir R (Editör). *Histoloji ve hücre biyolojisi*. Birinci baskı, Ankara: Palme, 2006: 325
59. Wildmaier EP, Raff H, Strang KT: *Cardiovascular Physiology. Human Physiology*. Dokuzuncu baskı, New York : McGraw-Hill, 2004: 375-465
60. Kayaalp O: nikotin ve ganglionları stimüle eden diğer ilaçlar, ganglion bloke edici ilaçlar: *Tıbbi Farmakoloji*. Onuncu baskı, Ankara: Hacettepe Taş, 2002: 1141-1150
61. Dabak S, Kesim Y, Şahin H: *Sinir Sistemi ve Sigara*. Tür A (Editör). *Sigaranın Bilimsel Yüzü*. Birinci baskı, İstanbul: Logos, 2004: 273-281
62. Mycek M, Harvey RA, Champe PC: SSS stimulanları. Oktay S (Editör). *Farmakoloji*. İkinci baskı, İstanbul: Nobel, 1997: 99-106
63. Unal B, Bilgili MYK, Yılmaz S, Caglayan O, Kara S. Smoking prevents the expected postprandial increase in intestinal blood flow. A Doppler sonographic study. *J Ultrasound Med* 2004; 23: 647-653
64. Rapaccini GL, Pompili M, Marzano MA, ve ark. Doppler ultrasound evaluation of acute effects of acute effects cigarette smoking on portal blood flow in man. *J Gastroenterol Hepatol* 1996; 11: 997-1000

65. Brunel P, Girerd X, Laurent S, Pannier B, Safar M. Acute changes in forearm hemodynamics produced by cigarette smoking in healthy normotensive nonsmokers are not influenced by propranolol or pindolol. *Eur J Clin Pharmacol* 1992; 42: 143-146
66. Tell GS, Polak JF, Ward BJ, ve ark. Relation of smoking with carotid artery wall thickness and stenosis in older adults: The cardiovascular health study (CHS) collaborative research group. *Circulation* 1994; 90: 2905-2908
67. Tell GS, Howard G, McKinney WM. Risk factors for site specific extracranial carotid artery plaque distribution as measured by B-mode ultrasound. *J Clin Epidemiol* 1989; 42: 551-559
68. Ackerman RH. Cerebral blood flow and neurological change in chronic heart failure. *Stroke* 2001; 32: 2462-2464
69. Latchaw RE, Yonas H, Hunter GJ, ve ark. Guidelines and recommendations for perfusion imaging in cerebral ischemia. *Stroke* 2003;34: 1084-1104
70. Bouma GJ, Muizelaar JP. Cerebral blood flow, cerebral blood volume and cerebrovascular reactivity after severe head injury. *J Neurotrauma* 1992; 9(1): 333-348
71. Hanlo PW, Gooskens RH, Nijhuis IJ, ve ark. Value of transcranial Doppler indices in predicting raised ICP in infantile hydrocephalus. A study with review of the literature. *Childs Nerv Syst* 1995; 11(10): 595-603
72. Kader A, Young WL. The effects of intracranial arteriovenous malformations on cerebral hemodynamics. *Neurosurg Clin N Am* 1996; 7(4): 767-781
73. Van Dijk JM, Willinsky RA. Venous congestive encephalopathy related to cranial dural arteriovenous fistulas. *Neuroimaging Clin N Am* 2003; 13(1): 55-72
74. Hanyu H, Shimizu T, Tanaka Y, ve ark. Effect of age on regional cerebral blood flow patterns in Alzheimer's disease patients. *J Neurol Sci* 2003; 209(1-2): 25-30
75. Wade JP, Pearson TC, Russel RW, Wetherley-Mein G. Cerebral blood flow and blood viscosity in patients with polycythaemia secondary to hypoxic lung disease. *Br Med J* 1981; 283: 689-692
76. Nobili F, Rodriguez G, Marengo S, ve ark. Regional cerebral blood flow in chronic hypertension. *Stroke* 1993; 24: 1148-1153
77. Vannucci RC, Vannucci SJ. Hypoglycemic brain injury. *Semin Neonatol* 2001; 6(2): 147-155
78. Rosenbloom AL. Hyperglycemic crises and their complications in children. *J Pediatr Endocrinol Metab* 2007; 20(1): 5-18
79. Apostolakis E, Akinosoglou K. The methodologies of hypothermic circulatory arrest and of antegrade and retrograde cerebral perfusion for aortic arch surgery. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2008; 14(3): 138-148
80. Foster GE, Hanly PJ, Ostrowski M. Effects of continuous positive airway pressure on cerebral vascular response to hypoxia in patients with obstructive sleep apnea. *Am J Respir Critt Care Med* 2007; 175: 720-725

81. Calistri V, Caramia F, Bianco F, ve ark. Visualization of evolving status epilepticus with diffusion and perfusion MR imaging. *AJNR* 2003; 24: 671-673
82. Albayrak R, Fidan F, Unlu M, ve ark. Extracranial carotid Doppler ultrasound evaluation of cerebral blood flow volume in COPD patients. *Respir Med* 2006; 100(10): 1826-1833
83. Querido JS, Sheel AW. Regulation of cerebral blood flow during exercise. *Sports Med* 2007; 37(9): 765-782
84. Mathew RJ, Wilson WH. Substance abuse and cerebral blood flow. *Am J Psychiatry* 1991; 148(3): 292-305
85. Snell RS: Beyinin Damarları. Yıldırım M (Editör). *Klinik Nöroanatomî*. Dördüncü baskı, İstanbul: Nobel, 2000: 505-528
86. Wechsler RL, Effects of cigarette smoking and intravenous nicotine on the human brain. *Federation Proc* 1958; 17: 169
87. Skinhoj E, Olesen J, Paulson O. Influence of smoking and nicotine on cerebral blood flow and metabolic rate of oxygen in man. *J Appl Physiol* 1973; 35: 820-822
88. Brody AL, Mandelkern MA, London ED, ve ark. Brain metabolic changes during cigarette craving. *Arch Gen Psychiatry* 2002; 59: 1162-1172
89. Domino EF, Minoshima S, Guthrie S, ve ark. Nicotine effects on Regional cerebral blood flow in awake, resting tobacco smokers. *Synapse* 2000; 38: 313-321
90. Zubieta JK, Heitzeg MM, Xu Y, ve ark. Regional cerebral blood flow responses to smoking in tobacco smokers after overnight abstinence. *Am J Psychiatry* 2005; 162: 567-577
91. Rose JE, Behm FM, Westman EC, ve ark. PET studies of the influences of nicotine on neural systems in cigarette smokers. *Am J Psychiatry* 2003; 160: 323-333
92. Stein EA, Pankiewicz J, Harsch H, ve ark. Nicotine induced limbic cortical activation in the human brain: A functional MRI study. *Am J Psychiatry* 1998; 155: 1009-1015
93. Due DL, Huettel SA, Hall WG, Rubin DC. Activation in mesolimbic and visuospatial neural circuits elicited by smoking cues: Evidence from functional magnetic resonance imaging. *Am J Psychiatry* 2002; 159: 954-960
94. Yamashita K, Kobayashi S, Yamaguchi S. Cerebral blood flow and cessation of cigarette smoking in healthy volunteers. *Internal Medicine* 2000; 39: 891- 893
95. Albayrak R, Değirmenci B, Acar M ve ark. Doppler sonography evaluation of flow velocity and volume of the extracranial internal carotid and vertebral arteries in healthy adults. *J Clin Ultrasound* 2007; 10: 1002
96. Scheel P, Ruge C, Petrucci UR, ve ark. Color duplex measurement of cerebral blood flow volume in healthy adults. *Stroke* 2000; 31: 147-150