

DUPLEXONDERZOEK VAN DE CAROTIDEN

Doel:

Het waarborgen van het landelijk uniform uitvoeren van duplexonderzoek van de extracraniële arteriën.

Inleiding:

Duplexonderzoek is een vast onderdeel van het neurologische stroke protocol en de primaire test om pathologie van de extracraniële arteriën, inclusief de a. truncus brachiocephalica, de a. subclavia en de a. vertebralis vast te stellen.

Bijlagen I – IV bevatten belangrijke overzichten met een uitgebreide toelichting:

- I) Stenosegradatie ACI
- II) Flowrichtingen extracraniële arteriën en vertebral subclavian steal syndrome
- III) A. vertebralis-origostenose
- IV) In-stent re-stenosegradatie ACI

Indicaties:

Indicaties voor duplexonderzoek van de extracraniële arteriën zijn onder meer:¹

- Evaluatie van patiënten met neurologische hemisferische symptomen zoals een TIA, CVA en amaurosis fugax
- Evaluatie van patiënten met een soufflé of pulsatiele massa in de hals
- Evaluatie bij verdenking vertebral subclavian steal syndrome: duizelingen, syncope en/of armclaudicatie
- Evaluatie bij verdenking carotisdissectie, arterioveneuze fistels of pseudoaneurysmata na halstrauma
- Evaluatie van patiënten met neurologische non-hemisferische of onverklaarbare symptomen
- Evaluatie van postoperatieve of postinterventie patiënten na extracraniële cerebrovasculaire revascularisatie zoals carotis-endarterectomie, stenting of carotis-subclavia bypass
- Preoperatieve evaluatie van patiënten voorafgaand aan grote cardiovasculaire procedures
- Follow-up van patiënten met bewezen pathologie in de extracraniële arteriën
- Screening van hoog risicopatiënten: bewezen atherosclerose/vasculaire pathologie in een ander gebied, historie van radiotherapie in het hoofd-halsgebied, fibromusculaire dysplasie (FMD) en Takayasu arteritis

Definities:

- ACC: A. carotis communis
- ACE: A. carotis externa
- ACI: A. carotis interna
- B-mode: Brightness mode
- CAS: Carotid Artery Stenting
- CEA: Carotis-endarterectomie
- CTA: Computed Tomographic Angiography
- CVA: Cerebro Vasculair Accident
- Doppleronderzoek: Niet invasief ultrageluidonderzoek waarbij met continuous wave doppler de arteriële bloedflow wordt weergegeven als een akoestisch signaal en grafisch als een dopplerspectrum
- Duplexonderzoek: Niet invasief ultrageluidonderzoek waarbij het vaatstelsel echografisch in combinatie met color doppler en pulsed doppler in beeld wordt gebracht en anatomisch, hemodynamisch en functioneel wordt beoordeeld
- EDV: End Diastolic Velocity
- Lumendiameter = Binnen (interne) diameter
- MRA: Magnetic Resonance Angiography
- PRF: Puls Repetitie Frequentie
- PSV: Peak Systolic Velocity
- PTA: Percutane Transluminale Angioplastiek
- VSSS: Vertebral Subclavian Steal Syndrome
- Sinus caroticus: locatie in de halsslagader die bij prikkeling de hartfrequentie of bloeddruk reduceert. Door overprikkeling van dit gebied zou een patiënt onwel kunnen worden en het zou in uitzonderlijke gevallen zelfs tot een hartstilstand kunnen leiden
- TIA: Transient Ischemic Attack

Benodigdheden:

- Duplexsysteem met:
 - Hoogfrequente lineaire transducer
 - Middenfrequente lineaire transducer
 - Laagfrequente convex transducer
- Onderzoektafel, ergonomisch in hoogte verstelbaar
- Onderzoekstoel, voor de onderzoeker
- Gel
- Bloeddrukmeter

Uitvoering:

Vorbereiding

- Lees de aanvraag en/of decursus van de patiënt
- Bekijk indien aanwezig, voorafgaande duplexonderzoeken en relevante operatie- en radiologieverslagen
- Controleer de patiëntgegevens
- Waarborg de privacy van de patiënt
- Stel de patiënt gerust door uit te leggen wat je gaat doen
- Onderzoek de patiënt in liggende of half liggende houding op een manier die ergonomisch verantwoord is voor de onderzoeker
- Zorg ervoor dat de patiënt comfortabel ligt
- Instrueer de patiënt om de hals licht te strekken (kin omhoog) en het hoofd ongeveer 45 graden naar de contralaterale zijde te draaien
- Instrueer de patiënt om het hoofd weer recht te draaien wanneer de a. subclavia en a. vertebralis onderzocht wordt
- Breng handdoek of tissue aan in het halsgebied om de kleding van de patiënt te beschermen voor de gel
- Breng een ruime hoeveelheid gel aan in het te onderzoeken gebied
- Stel het duplexapparaat in

Instelling apparatuur

Transducer:

- Gebruik een hoogfrequente lineaire transducer
- Gebruik een middenfrequente lineaire transducer bij hoge snelheden
- Gebruik een laagfrequente convex transducer bij patiënten met een korte of omvangrijke hals en om het centrale vaatstelsel te visualiseren

B-mode:

- Gebruik de carotiden en vertebralis preset
- Pas diepte aan
- Pas gain aan
- Pas focus aan

Color doppler:

- Pas gain aan
- Pas PRF (scale/velocity range) aan
- Pas wallfilter aan

Pulsed doppler

- Pas hoekcorrectie $\leq 60^\circ$ aan of kantel de transducer om deze hoekcorrectie te bereiken
- Pas gain aan
- Pas PRF (scale/velocity range) aan
- Pas wallfilter aan
- Pas sample volume aan²

Uitvoering onderzoek

Het duplexonderzoek wordt beiderzijds uitgevoerd, beginnend met de rechterzijde. Scan zonder harde compressie op de hals uit te oefenen. Hiermee voorkom je prikkeling van de sinus caroticus.

Onderzoekstraject: -A. truncus brachiocephalica rechts

Beiderzijds: -A. subclavia
-ACC
-ACE
-ACI
-A. vertebralis

- Visualiseer echografisch de extracraniële arteriën in transversale scanrichting zodat de anatomie en het verloop duidelijk is
- Herhaal dit in longitudinale scanrichting vanuit diverse scanvlakken: anterior, lateraal en posterior
- Gebruik color doppler om echo-arme plaques te visualiseren, de doorgankelijkheid, de flowrichting en de hoogste snelheden vast te stellen
- Gebruik pulsed doppler voor de snelheidsmetingen. Pas de hoekcorrectie aan $\leq 60^\circ$ of kantel de transducer om deze hoekcorrectie te bereiken.

Snelheidsmetingen: -A. truncus brachiocephalica rechts

Beiderzijds: -A. subclavia
-ACC proximaal, in het midden en distaal. Distaal is op ongeveer 2 – 3 cm voor de bulbus/bifurcatie om de $PSV_{STENOSE\ ACI}/PSV_{ACC}$ -Ratio correct te kunnen bepalen
-ACC met plaques: in het nauwste deel van een mogelijke stenose. Hoekcorrectie gelijk aan de flowrichting of gelijk aan de jet flowrichting distaal van een stenose
-ACE
-ACI proximaal maar voorbij de bulbus, in het midden en distaal
-ACI met plaques: in het nauwste deel van een mogelijke stenose. Hoekcorrectie gelijk aan de flowrichting/vaatwand of gelijk aan de richting van de jet flow distaal van een stenose om de $PSV_{STENOSE\ ACI}/PSV_{ACC}$ -Ratio correct te kunnen bepalen
-A. vertebralis

Stel abnormaliteiten vast zoals plaque, significante stenose(n), occlusie(s), collateraal/compensatoir verhoogde snelheden zonder een echografisch aantoonbare stenose, elongatie, kinking, coiling, dilatatie, niet-fysiologische flowrichting, vertebraal subclavian steal syndrome, etc.²

Plaque-eigenschappen

Trombo-embolieën blijken de hoofdoorzaak te zijn van cerebrale ischemie.

Stel daarom de echografische plaque-eigenschappen vast.

Gebruik hiervoor een hoogfrequente lineaire transducer en een optimale beeldinstelling.

Rapporteer de plaque-eigenschappen conform de informatiebehoefte van de neuroloog en/of chirurg.

Plaque classificatievoorbeeld

- Echogeniciteit: van niet-echogeen tot hyper-echogeen
- Samenstelling: van homogeen tot heterogeen
- Oppervlakte-classificatie: van glad tot ulcererend
 - Gladde dunne afgrenzing
 - Onregelmatige afgrenzing
 - Ulcererende afgrenzing ('krater' > 2 mm diep en lang, met een goed te onderscheiden onderwand en bijbehorende kleurinvulling)³

Nazorg

- Verwijder de gel
- Laat de patiënt rustig overeind gaan zitten in verband met mogelijke duizeligheid
- Help indien nodig de patiënt van de onderzoektafel
- Leg uit hoe de patiënt de uitslag van het onderzoek zal vernemen
- Reinig de onderzoekstafel
- Reinig de gebruikte transducer(s)

Duplexverslag

- Indicatie
- Postoperatieve controles: OK-datum of interventiedatum en procedure
- PSV en EDV in cm/sec
- Noteer PSV-ratio
- Beschrijf echografische bevindingen, zoals plaque-eigenschappen en de locatie en significante stenose(n) $\geq 50\%$ of $\geq 70\%$ en occlusie(s) aan de hand van bijlage I
- Beschrijf de dopplerspectra: normaal, stenotisch, pre-obstructief, post-obstructief, etc.
- Beschrijf indien gewenst, de lengte van de plaque
- Beschrijf niet-fysiologische flowrichting en probeer de oorzaak te verklaren
- Beschrijf limiterende technische componenten
- Beschrijf indien relevant, discrepanties tussen hemodynamische en echografische bevindingen
- Beschrijf indien aanwezig, relevante vergelijkingen met vorig duplexonderzoek
- Maak indien gewenst, een tekening of verwerk relevante foto's in het duplexverslag

Bijlage I

Criteria stenosegradatie ACI

	Primaire parameters		Additionele parameters	
ACI % STENOSE	PSV ACI-STENOSE (CM/SEC)	ECHOGRAFISCHE DIAMETER-REDUCTIE*	PSV _{ACI} /PSV _{ACC} RATIO	EDV ICA (CM/SEC)
Normaal	< 125	Geen	< 2	< 40
< 50%	< 125	< 50 %	< 2	< 40
50-69%	≥ 125 – < 230	≥ 50 %	≥ 2 – < 4	≥ 40 - < 100
≥ 70 % Maar nog geen 'near occlusion'	≥ 230	≥ 50 %	≥ 4	≥ 100
'near occlusion'	Hoge, lage of muizenstaart flow	Met een te visualiseren lumen	Variabel	Variabel
Oclusie 100%	Geen flow	Zonder een te visualiseren lumen	Niet van toepassing	Niet van toepassing

*Plaqueschatting (diameter-reductie) in grijswaarden.

Toelichting

De primaire parameters dienen overeen te komen.

De additionele parameters zijn bruikbaar als de PSV in de ACI niet representatief is voor de mate van pathologie.

Technische of klinische factoren kunnen hieraan ten grondslag liggen zoals tandem laesies, contralaterale hooggradige stenose, verhoogde PSV in de ACC en lage of hoge cardiale output.^{4,5,6}

De duplexcriteria in deze richtlijn voor ACI-stenose zijn gebaseerd op de NASCET-methode.

Achtergrondinformatie NASCET en ESCT

De North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET) en de European Carotid Surgery Trial (ESCT) pasten verschillende angiografische meetmethoden toe om de ernst van een stenose te schatten.^{7,8,9}

In beide trials wordt de minimum restlumendiameter gebruikt als teller. Zoals te zien is in de afbeelding gebruikt de NASCET-methode als noemer de angiografische diameter van het onaangedane ICA-segment boven de stenose, waar de vaatwanden parallel verlopen in tegenstelling tot de bulbus.

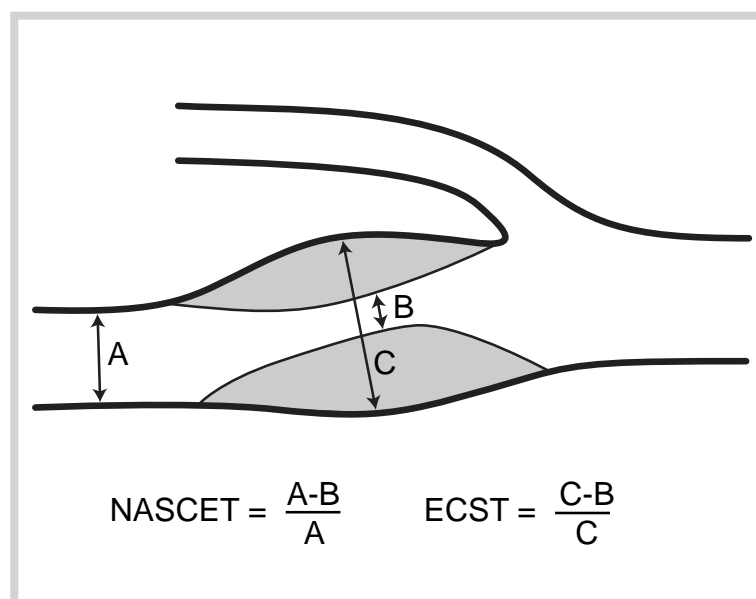
De ESCT-methode gebruikt als noemer de angiografische geschatte normale lumendiameter op de locatie waar de restlumendiameter wordt gemeten. Meestal in de bulbus.

De verschillende methoden veroorzaken verschillende maten voor stenosegradatie en dit blijft een bron van verwarring omdat interventies worden gebaseerd op 50% of 70% grenswaarden.

Een 50% NASCET-stenose is gelijk aan een 75% ECST-stenose.

Een 70% NASCET-stenose is gelijk aan een 85% ECST-stenose.

Sommige centra blijven onzeker over welke methode te gebruiken en dat kan leiden tot onterechte selectie of juist exclusie voor interventies.



Carotisbifurcatie in longitudinale richting (Graphics: Wil Tirion)

NASCET en ESCT-metmethoden voor de angiografische schatting van het stenosepercentage

NASCET past de distale ACI-diameter toe als A¹⁰

Er is één situatie waarbij de ESCT-methode een belangrijk voordeel heeft boven de NASCET-methode. Met de NASCET-methode kan geen betrouwbaar stenosepercentage berekend worden bij patiënten met een groot volume plaques in een wijde bulbus. In deze situatie zal de diameter van het restlumen maar een beetje kleiner zijn dan het lumen van de distale ACI.

Volgens de NASCET-methode zal dit uitkomen op een stenose < 50% terwijl het > 70% is. In deze situatie zou overwogen kunnen worden om patiënten met recente symptomen en een groot plaquesvolume dat overeenkomt met een ECST-methode > 70% stenose toch in aanmerking te laten komen voor interventie.⁹

Echografische diameterreductie

Deze specifieke situatie wordt met duplexonderzoek ondervangen door het gebruik van zowel primaire als additionele parameters in bijlage I: criteria voor ACI-stenose.^{7,8,9,11}

Voor het echografisch beoordelen van een diameterreductie wordt een hoogfrequente lineaire transducer gebruikt.

Voor de berekening van het diameterreductie-percentages kan ook de desbetreffende measurement tool van het duplexstelsel worden gebruikt.

Werkwijze

- Visualiseer in B-mode het gebied eerst in transversale scanrichting zodat excentrische stenosen duidelijk zijn
- Visualiseer vervolgens de stenose in longitudinale scanrichting en voer de diametermetingen uit
- Conform de afbeelding is C de oorspronkelijke binnendiameter (in mm) van de bulbus en B de diameter (in mm) van het restlumen
- $C - B/C \times 100 = \% \text{ echografische schatting van de diameterreductie}$ ^{2,9}

Bijlage II

Flowrichtingen extracraniële arteriën

ARTERIE	PATHOLOGIE	R VERTEBRALIS	L VERTEBRALIS	R ACC	L ACC
	Geen	↑	↑	↑	↑
L subclavia	Stenose	↑	↓ of ↑↓ of ↑	↑	↑
L subclavia	Occlusie	↑	↓	↑	↑
R subclavia	Stenose	↓ of ↑↓ of ↑	↑	↑	↑
R subclavia	Occlusie	↓	↑	↑	↑
R truncus brachiocephalica	Stenose	↓ of ↑↓ of ↑	↑	↑	↑↑
R truncus brachiocephalica	Occlusie	↓	↑	↑	↑↑

Toelichting

In de tabel worden de mogelijke effecten op de flow weergegeven in de a. vertebralis rechts/links en in de ACC rechts/links ten gevolge van een stenose of occlusie in de a. subclavia rechts/links of de a. truncus brachiocephalica rechts.¹²

Verklaring pijltjes

- ↑ antegraad (fysiologische, cerebropetale flowrichting)
- ↓ retrograad (niet-fysiologische, cerebrofugale flowrichting)
- ↑↓ bidirectioneel
- ↑ afname antegraad
- ↑↑ toename antegraad¹²

Vertebral Subclavian Steal Syndrome (VSSS)

Hemodynamisch significante pathologie in de a. subclavia of truncus brachiocephalica, proximaal van de a. vertebralis-origo kan de flow beïnvloeden in de ipsilaterale a. vertebralis. VSSS manifesteert zich vaker links dan rechts.

VSSS is een andere vorm van pathologie dan een a. vertebralis-origostenose maar wordt er soms mee verward.

VSSS wordt niet aangemerkt als stroke-oorzaak en is daardoor met betrekking tot de intracraniële circulatie een relatief ongevaarlijk hemodynamisch fenomeen.^{13,14}

VSSS-symptomen

Paroxysmale duizelingen, syncope en/of armclaudicatie¹⁴

Duplexonderzoek VSSS

Met duplex kan op directe wijze VSSS gediagnosticeerd worden door visualisatie van de stenose of occlusie in de proximale a. subclavia of truncus brachiocephalica en het effect op de flowrichting in andere extracraniële arteriën.

Indirect door interpretatie van de dopplerspectra en flowrichting.⁹

Gradatie VSSS¹⁴

Graad I: Pre-vertebral subclavian steal

- Afname van antegrade flow in de a. vertebralis

Graad II: Intermittent/partial/latent/bidirectional vertebral subclavian steal

- Antegrade flow in diastole en retrograde flow in systole in de a. vertebralis
- In de rechter a. vertebralis kan bidirectionele flow veroorzaakt worden door een ipsilaterale hemodynamisch significante stenose ($\geq 50\%$) in de a. subclavia of truncus brachiocephalica
- In de linker a. vertebralis kan dit fenomeen door een ipsilaterale hemodynamisch significante stenose in de a. subclavia veroorzaakt worden¹³

Graad III: Permanent/advanced/retrograde vertebral subclavian steal

- Retrograde flow gedurende de totale hartcyclus in de a. vertebralis
- In de rechter a. vertebralis kan retrograde flow veroorzaakt worden door een hooggradige stenose of occlusie van de ipsilaterale a. subclavia of truncus brachiocephalica
- In de linker a. vertebralis kan dit fenomeen door een hooggradige stenose of occlusie van de ipsilaterale a. subclavia veroorzaakt worden¹³

Armclaudicatie

Bij zowel asymptomatische als symptomatische VSSS kan de arteriële armcirculatie gekwantificeerd worden door middel van beiderzijdse a. brachialis-drukmeting:

- 20 mmHg armdrukverschil is afwijkend en meestal asymptomatisch
- 40 – 50 mmHg armdrukverschil is indicatief voor VSSS-graad II – III en meestal symptomatisch^{14,15}

Bijlage III

A. vertebralis-origostenose

Een a. vertebralis-origostenose is een andere vorm van pathologie dan het VSSS, maar wordt er soms mee verward.

De a. vertebralis-origo is een bekende locatie voor stenoseontwikkeling.

Een origostenose kan effect hebben op de flow in de distale a. vertebralis en de a. basilaris. Trombo-embolieën via de vertebrobasilaire arteriën blijken de hoofdoorzaak te zijn van posterieure cerebrale ischemie.

Als het niet lukt om de a. vertebralis volledig af te beelden kan op indirecte wijze, door interpretatie van dopplerspectra en flowrichting de aanwezigheid van pathologie afgeleid worden.

Hemodynamische criteria $\geq 50\%$ stenose a. vertebralis-origo:

- Collateraal verhoogde PSV in andere extracraniële arteriën⁹
- Post-obstructief dopplerspectrum midden of distaal⁹
- PSV origo $> 100 - 140$ cm/sec^{13,16}
- EDV origo > 35 cm/sec¹⁶
- $PSV_{\text{INTRA-ORIGOSTENOSE}}/PSV_{\text{POST-STENOSE}}\text{-Ratio: } \geq 2$ ^{9,16}

A. Vertebralis occlusie

Een occlusie van de a. vertebralis is soms lastig te diagnosticeren.

Het is echografisch namelijk moeilijk differentiëren tussen een occlusie en aplasie, hypoplasie of een dissectie.

Met een optimaal ingestelde color en pulsed doppler is in de a. vertebralis meestal de flow goed te visualiseren en dus ook de eventuele afwezigheid van flow, ongeacht de oorzaak.⁹

Bijlage IV

Criteriaoverzicht in-stent re-stenosegradatie ACI

BRON	PSV IN-STENT RE-STENOSE ≥ 50%	PSV IN-STENT RE-STENOSE ≥ 70%	PSV PSV _{ACI} /PSV _{ACC} RATIO ≥ 50%	PSV PSV _{ACI} /PSV _{ACC} RATIO ≥ 70%
2005 Stanziale et al. ¹⁷	≥ 225	≥ 350	≥ 2.5	≥ 4.8
2007 Chi et al. ¹⁸	≥ 240	≥ 450	≥ 2.5	≥ 4.3
2008 AbuRhama et al. ¹⁹	≥ 224		≥ 3	
2008 Lal et al. ²⁰	≥ 220		≥ 2.5	
2008 Zhou et al. ²¹		≥ 300		≥ 4
2017 Bosch et al. ²²	≥ 159		≥ 1.9	

Toelichting

Een verhoogde PSV (> 125 cm/sec) is geen absolute indicator voor een stenose. De PSV en de echografische diameterreductie dienen overeen te komen.

De PSV-ratio is bruikbaar als additionele parameter wanneer de PSV in de ACI niet representatief is voor de mate van pathologie.

De criteria voor een stenose in de native ACI zijn niet van toepassing op carotisstenosen. De snelheden in stents zonder een echografisch aantoonbare stenose, zijn gemiddeld hoger dan in native arteriën.

Werkwijze stentduplex

Stel relevante informatie vast zoals de lumendiameter van de stent, re-stenose, occlusie, plaques, stentdefect, plaatsing ten opzichte van de PTA-locatie en plaques, etc.

Visualiseer echografisch de extracraniële arteriën in transversale scanrichting zodat de locatie van de stent duidelijk is.

Visualiseer daarna echografisch in longitudinale scanrichting en vervolgens met color doppler om de hoogste snelheden vast te stellen en daarna pulsed doppler voor de snelheidsmetingen in het stentgebied.

Opmerkingen:

ACC en/of ACE-stenose

Criteria voor het diagnosticeren van stenosen in de ACC en/of ACE zijn niet voldoende duidelijk gedefinieerd in de literatuur. Het Strandness criterium ≥ 125 cm/sec als enige parameter voor een stenose $\geq 50\%$ blijkt niet bruikbaar.²³

Jonge personen kunnen namelijk van nature snelheden ≥ 125 cm/sec vertonen in volkomen normale extracraniële arteriën. Een PSV ≥ 125 cm/sec kan ook gemeten worden in een volkomen normale arterie, maar met een belangrijke collateraalfunctie.

Een verhoogde PSV (> 125 cm/sec) is geen absolute indicator voor een stenose.

De PSV en de echografische diameterreductie dienen overeen te komen.

Een aantoonbare hemodynamisch significante stenose in de ACC en/of ACE door toepassing van vakkennis kan wel een soufflé verklaren.

CEA op basis van duplex

Wanneer validatie binnen de eigen kliniek heeft plaatsgevonden kunnen chirurgen ervoor kiezen om CEA uitsluitend op basis van de duplexconclusie uit te voeren. In dit geval wordt aanbevolen om preoperatief het duplexonderzoek te herhalen door een andere vasculair diagnostisch laborant.

In klinieken waar nog geen validatie heeft plaatsgevonden wordt op basis van de duplexconclusie een CTA of MRA aanbevolen.⁹

Referenties:

1. Needleman et al. Practice parameter for the performance of an ultrasound examination of the extracranial cerebrovascular system. American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM) 2016
2. Thrush et al. Vascular ultrasound how, why and when. Third edition Elsevier 2011
3. De Bray et al. Consensus concerning the morphology and the risk of carotid plaques. Cerebrovasc Dis 1997
4. Grant et al. Carotid artery stenosis: Gray-scale and doppler ultrasound diagnosis-Society of radiologists in ultrasound consensus conference. Radiology 2003
5. Tahmasebpour et al. Sonographic examination of the carotid arteries. RadioGraphics 2005
6. Mozzini et al. Searching for the perfect ultrasound classification in assessing carotid artery stenosis: comparison and remarks upon the existing ultrasound criteria. J Ultrasound 2016
7. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators (NASCET). Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high grade carotid stenosis. N Engl J Med 1991
8. MRC European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group. European Carotid Surgery Trial (ESCT): interim results for symptomatic patients with severe (70-90%) or with mild (0-29%) carotid stenosis. Lancet 1991
9. Naylor et al. Management of atherosclerotic carotid and vertebral artery disease: 2017 Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). EJVES 2017
10. Oates et al. Joint recommendations for reporting carotid ultrasound investigations in the United Kingdom. EJVES 2009
11. Moneta et al. Correlation of North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET) angiographic definition of 70% to 99% internal carotid artery stenosis with duplex scanning. JVS 1993
12. Meyers et al. Making sense of vascular ultrasound, a hands-on guide. Hodder education member of the Hachette Livre UK Group. London, 2004
13. Buckenham et al. Ultrasound of the extracranial vertebral artery. The British Journal of Radiology 2004
14. Osiro et al. A review of subclavian steal syndrome with clinical correlation. Med Sci Monit 2012
15. Labropoulos et al. Prevalence and impact of the subclavian steal syndrome. Ann Surg 2010
16. Hua et al. Color doppler imaging evaluation of proximal vertebral artery stenosis. AJR 2009
17. Stanziale et al. Determining in-stent stenosis of carotid arteries by duplex ultrasound criteria. J Endovasc Therapy 2005
18. Chi et al. Ultrasound velocity criteria for carotid in-stent restenosis. Catheter Cardiovasc Interv 2007
19. AbuRhama et al. Optimal carotid duplex velocity criteria for defining the severity of carotid in-stent restenosis. JVS 2008
20. Lal et al. Duplex ultrasound velocity criteria for stented carotid artery. JVS 2008
21. Zhou et al. Ultrasound criteria for severe in-stent restenosis following carotid artery stenting. JVS 2008
22. Bosch et al. Optimal cut-off criteria for duplex ultrasound compared with computed tomography angiography for the diagnosis of restenosis in stented carotid arteries in the international carotid stenting study. European Stroke Journal 2017
23. Strandness D.E. Jr. Duplex scanning in vascular disorders. New York Raven Press 1993