

The use of a multi-gate pulsed doppler system in the evaluation of the carotid artery circulation

Citation for published version (APA):

van Merode, T. (1986). *The use of a multi-gate pulsed doppler system in the evaluation of the carotid artery circulation*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19861121tm>

Document status and date:

Published: 01/01/1986

DOI:

[10.26481/dis.19861121tm](https://doi.org/10.26481/dis.19861121tm)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

SUMMARY

Atherosclerotic lesions of the carotid arteries may give rise to cerebrovascular disorders, either by haemodynamic impairment of cerebral flow due to significant diameter reductions in the absence of adequate collateral circulation, or emboli originating from irregular (ulcerative) vessel walls. Therefore, in patients, suspected of transient ischemic attacks or stroke, the carotid artery circulation is generally evaluated. Non-invasive diagnosis of cervical carotid artery disease by means of ultrasound Doppler investigations accurately identifies lesions with more than 50% diameter reduction. The detection of minor stenosis (less than 30% diameter reduction) and vessel wall irregularities, however, is less reliable.

In in-vitro studies it has been shown that under normal conditions the flow patterns in the carotid artery bifurcation, where early atherosclerotic lesions start to develop, are complicated. Since atherosclerotic lesions at an early stage of the disease are generally diagnosed by detecting the flow disturbances, as induced by these lesions, detailed information about the flow patterns at the carotid artery bifurcation under normal circumstances might contribute to the accuracy of diagnosing minor lesions. This detailed information can be obtained with multi-gate pulsed Doppler systems. These devices allow the on-line recording of the instantaneous velocities, simultaneously at various sites in the artery, and, hence, the velocity profile, that is the velocity distribution over the cross-sectional area of the vessel, at discrete intervals during the cardiac cycle. Besides, multi-gate pulsed Doppler devices allow the on-line recording of changes in arterial diameter during the cardiac cycle, while the internal artery diameter can be estimated from the width of the velocity profile with these systems. In this way non-invasive assessment of vessel wall properties becomes feasible. The present thesis deals with the applications of a specially designed multi-gate pulsed Doppler system in the evaluation of the carotid artery circulation.

In Chapter II a technical description is given of the multi-gate pulsed Doppler device and its features, as used in this thesis, are discussed. Spectral analysis of the Doppler signal, frequently used for diagnosing carotid artery stenosis, is introduced in Chapter III. In Chapter IV the limitations of Doppler spectral broadening in the early detection of carotid artery disease, due to the size of the sample volume, are demonstrated.

Chapter V deals with the diagnostic accuracy of the multi-gate pulsed Doppler system in detecting moderate carotid stenosis, as compared with biplane arteriography. Based on the favorable results, the multi-gate pulsed Doppler device was employed in an epidemiological study on the prevalence of and the serum HDL/total cholesterol ratio and blood pressure in male volunteers with asymptomatic atherosclerotic lesions of the cervical carotid arteries (Chapter VI).

In Chapter VII the detection of flow disturbances and the assessment of relative arterial diameter changes during the cardiac cycle are discussed, and in Chapter VIII flow velocity patterns in and distensibility of the carotid artery bulb in presumed healthy, male subjects of various ages, as detected with the multi-gate pulsed Doppler system, are presented. Chapter IX deals with non-invasive assessment of age related changes in common carotid artery wall properties in normotensive presumed healthy males.

In Chapter X the results of a pilot-study on the use of disturbances in the flow velocity patterns in and diminished distensibility of the carotid artery bulb in the diagnosis of minor carotid artery stenosis are presented. The vessel wall properties of the common carotid artery in normotensive and borderline hypertensive male subjects of various age, as assessed non-invasively, are described in Chapter XI.

The final conclusions and a discussion on future developments can be found in Chapter XII.

SAMENVATTING

De niet-invasieve opsporing van afwijkingen in de a. carotis (halsslagader) is een belangrijk diagnostisch hulpmiddel geworden bij patiënten met stoornissen in de hersendoorbloeding. Een van de meest toegepaste technieken is het meten van de bloedstroomsnelheid met behulp van Doppler ultrageluidstechnieken. Bij deze methodes wordt een bundel ultrasonore trillingen (met een frequentie in de orde van 2-10 MHz) door een trillend kristal, diagonaal door de bloedvatwand in de bloedstroom, uitgezonden. Het ultrageluid dat wordt teruggekaatst door deeltjes in de bloedstroom, voornamelijk de rode bloedcellen, wordt in frequentie verschoven evenredig met de snelheid van de bloedstroom. Deze frequentieverschuiving (het Doppler signaal), die in het hoorbare gebied ligt, wordt bepaald door de uitgezonden en terugontvangen signalen met elkaar te vergelijken. Het Doppler signaal bevat niet slechts één frequentie, maar een band van frequenties, het Doppler spectrum.

In Continuous Wave Doppler (CW) apparaten wordt het ultrageluid continue uitgezonden, waarbij een tweede kristal als ontvanger functioneert. In pulsed Doppler apparaten wordt gewoonlijk één kristal afwisselend als zender en ontvanger gebruikt: het kristal ontvangt het teruggekaatste ultrageluid in de pauzes tussen de uitgezonden ultrageluid pulsen. Pulsed Doppler systemen kunnen onderscheiden worden in één- en meerkanaals apparaten.

CW Doppler systemen kunnen zeer betrouwbaar vernauwingen in slagaders, die gepaard gaan met een diameterreductie van 50% of meer, opsporen. Voor geringe (<30% diameterreductie) en matige (30-49% diameterreductie) vernauwingen is de betrouwbaarheid aanmerkelijk minder.

Geringe vernauwingen in de a. carotis worden gewoonlijk gediagnosticeerd door het opsporen van verstoringen in het stroomgedrag, die ontstaan rond deze vaatwandveranderingen. Deze verstoringen worden in de kliniek in het algemeen opgespoord door de mate van verbreding van het Doppler spectrum, gewoonlijk opgenomen met een apparaat dat een éénkanaals pulsed Doppler systeem combineert met een 2D echo systeem om de vaatwand af te beelden. Spectrale verbreding treedt echter ook op wanneer in het meetvolume het snelheidsprofiel parabolisch is in plaats van vlak, de ultrageluidsbundel niet homogeen van samenstelling is, of indien afbuiging of

verstrooiing van de bundel optreedt. In pulsed Doppler apparatuur kan er ook nog spectrale verbreding optreden ten gevolge van een te klein meetvolume, hetgeen zgn. transit-time effecten kan veroorzaken.

In dit proefschrift worden de beperkingen van spectrale verbreding van het Doppler signaal als diagnostisch hulpmiddel voor het opsporen van geringe carotisafwijkingen met behulp van pulsed Doppler apparatuur bestudeerd in relatie tot de grootte van het meetvolume. De resultaten van dit onderzoek duiden erop, dat voor opsporing van atherosclerose van de a. carotis in een vroeg stadium van de ziekte, kleine meetvolumes en een meting in het centrum van het vat noodzakelijk zijn als men spectraal analyse van het Doppler signaal gebruikt. Zelfs wanneer hieraan voldaan wordt, is het twijfelachtig of dergelijke kleine afwijkingen op deze wijze betrouwbaar op te sporen zijn.

Meer gedetailleerde informatie over het stroomgedrag in normale en afwijkende halsslagaders kan worden verkregen met meerkanaals pulsed Doppler systemen. Met een speciaal in Maastricht ontwikkeld meerkanaals pulsed Doppler apparaat is het niet alleen mogelijk gelijktijdig en on-line (zonder vertraging) de snelheidsverdeling langs de ultrageluidsbundel als functie van de tijd, en daarmee het snelheidsprofiel, te registreren, maar ook de relatieve diameterveranderingen van het vat tijdens de hartcyclus kunnen on-line bepaald worden. De gegevens die verkregen worden met meerkanaals pulsed Doppler apparatuur dragen bij aan een meer betrouwbare opsporing van geringe carotisafwijkingen, vooral omdat met deze systemen ook Doppler spectra kunnen worden opgenomen op iedere plaats in het vat. Het kleine meetvolume van het meerkanaals pulsed Doppler apparaat dat gebruikt werd in ons onderzoek, geeft smalbandige spectra in de normale a. carotis, waardoor geringe spectrale verbreding ten gevolge van kleine a. carotisafwijkingen in principe beter kan worden waargenomen.

Door spectraal analyse van het Doppler signaal te combineren met het registreren van stroomverstoringen in de a. carotis, werd een andere aanpak van de diagnostiek van atherosclerose m.b.v. meerkanaals pulsed Doppler systemen ontwikkeld. Met deze aanpak werden bevredigende resultaten voor wat betreft de diagnostische betrouwbaarheid, sensitiviteit en specificiteit voor vernauwingen van minder dan 50% diameterreductie gevonden (respectievelijk 84%, 83% en 84%), vergeleken met arteriografie van de halsslagaders in twee richtingen.

Deze aanpak werd daarop gebruikt in een epidemiologisch onderzoek. Hierin werd de prevalentie van carotisafwijkingen in een populatie van normaal veronderstelde mannen zonder klachten, wiens naam en adres aselekt uit het bevolkingsregister getrokken waren, onderzocht in relatie tot risicofactoren. De prevalentie van matig tot ernstige asymptomatische carotisafwijkingen (resp. < 50 en $\geq 50\%$ diameterreductie) was hoger dan verwacht: 23% van de onderzochte populatie. De HDL/totaal cholesterol ratio was lager en het voorkomen van hoge bloeddruk frequenter in de groep personen met asymptomatische carotisafwijkingen, in vergelijking met de normalen.

Voor het opsporen van geringe lesies heeft deze aanpak nog zijn beperkingen, vooral wanneer de afwijkingen in de carotisbifurcatie zijn gelocaliseerd, de plaats waar de a. carotis communis zich splitst in de a. carotis interna en de a. carotis externa. In-vivo en in-vitro studies toonden aan dat op deze plaats onder normale omstandigheden ingewikkelde stroompatronen met wervelingen en terugstroming optreden, voornamelijk in de carotisbulb (het wijdere proximale deel van de a. carotis interna).

In een onderzoek bij 20 vrijwilligers van verschillende leeftijden, die geen aantoonbare carotisafwijkingen hadden, was de bloedstroomsnelheid het hoogst aan de zijde van de flow-divider (stroomverdeler tussen aa. carotides interna en externa), terwijl gebieden met stroomloslating en recirculatie gezien werden aan de zijde tegenover de stroomverdeler. Loslating en recirculatie werden niet continu tijdens de hartcyclus waargenomen, en waren minder uitgesproken en minder frequent bij ouderen. Bij jongeren was de relatieve diametertoename tijdens systole groter in de bulb dan in de a. carotis communis; bij ouderen werd het omgekeerde gevonden. Bovendien was in deze laatste leeftijdsgroep de distensibiliteit (rekbaarheid) van de carotis significant verminderd in vergelijking met de jongeren. De verminderde stroomloslating en recirculatie bij ouderen zou het gevolg kunnen zijn van de veranderingen in distensibiliteit op de overgang van a. carotis communis naar de carotisbulb. Dat de verminderde distensibiliteit op oudere leeftijd een gevolg is van geringe afwijkingen in de carotisbulb kan niet worden uitgesloten, omdat om ethische redenen geen arteriografie werd verricht bij deze verondersteld normale, neurologisch asymptomatische vrijwilligers. Bovendien zijn geringe carotisafwijkingen ook niet altijd met arteriografie op te sporen.

De ingewikkelde stroompatronen die onder normale omstandigheden in de

carotisbulb optreden, geven een verbreding van het Doppler spectrum, welke moeilijk te onderscheiden is van verbreding ten gevolge van geringe afwijkingen in de bulb. Als men ook nog de beperkingen van spectrale verbreding in beschouwing neemt, is het nogal onwaarschijnlijk dat de diagnose van geringe afwijkingen met behulp van deze methode betrouwbaar gemaakt kan worden.

Naast de gedetailleerde informatie over stroomgedrag in bloedvaten, geven meerkanaals pulsed Doppler systemen informatie over vaatwandeigenschappen. Uit de relatieve diametertoename van het bloedvat tijdens systole, en de polsdruk (systole minus diastole bloeddruk) gemeten aan de arm kunnen distensibiliteit en compliantie van slagaders bepaald worden. Gezien de waarschijnlijkheid dat vaatwandeigenschappen met de leeftijd veranderen, werden distensibiliteit en compliantie van de a. carotis communis bestudeerd als functie van de leeftijd bij 80 gezonde proefpersonen, in leeftijd variërend van 20-69 jaar. Zowel distensibiliteit als compliantie namen lineair af met de leeftijd vanaf de derde decade. De afname van de compliantie was minder uitgesproken, waarschijnlijk als een gevolg van de toename in diameter van de a. carotis communis met de leeftijd. Op deze wijze kunnen ouderen toch volume energie opslaan ondanks een verminderde vaatwandelasticiteit.

In een onderzoek bij 72 proefpersonen van verschillende leeftijd, werd het effect van borderline hypertensie op de vaatwandeigenschappen bestudeerd. Bij borderline hypertensieve personen waren distensibiliteit en compliantie lager dan in normotensieven van dezelfde leeftijd.

Gebaseerd op onze waarnemingen van het stroomgedrag in en de vaatwandeigenschappen van de carotisbulb onder normale omstandigheden en rekening houdend met de veranderingen hierin met het voortschrijden van de leeftijd, werd een nieuwe methode om geringe vaatwandafwijkingen in de carotisbulb op te sporen, opgezet. Een aanzienlijk geringere relatieve diametertoename tijdens systole in de bulb, vergeleken met de a. carotis communis, en de afwezigheid van recirculatie of het optreden van recirculatie op ongewone plaatsen in de bulb, werden gebruikt als criteria voor de aanwezigheid van geringe afwijkingen in de bulb. Aanvullende informatie over de carotisbifurcatie werd verkregen met een 2D echo systeem. In een pilot-study op 43 halsslagaders waren de diagnostische nauwkeurigheid, sensitiviteit en specificiteit respectievelijk 95.3%, 90% en 90%, vergeleken met arterio-

grafie in twee richtingen. Wanneer meer ervaring met deze methode is opgedaan, en vooral wanneer het meerkanaals pulsed Doppler systeem gecombineerd wordt met een echo systeem met hoog oplossend vermogen, is het diagnostisch potentieel van deze aanpak veelbelovend.

Samenvattend kan gesteld worden dat met een meerkanaals pulsed Doppler systeem geringe, matige en ernstige carotisafwijkingen betrouwbaar opgespoord kunnen worden. Bovendien is het met deze systemen mogelijk op niet-invasieve wijze informatie te krijgen over de vaatwandeigenschappen. De relatief hoge prijs, vergeleken met CW apparatuur, en de vaardigheid die nodig is om tot betrouwbare resultaten te komen, zullen het gebruik van deze systemen waarschijnlijk beperken tot geavanceerde vaatlaboratoria. CW apparaten zijn wel goedkoper, maar onbetrouwbaar in het opsporen van arteriele vaatwandveranderingen, die gepaard gaan met geringe vernauwing van het vat. Met Duplex scanners, minstens even duur als meerkanaals pulsed Doppler systemen, kunnen geringe vaatwandafwijkingen waarschijnlijk niet betrouwbaar gediagnostiseerd worden.

Toekomstige ontwikkelingen kunnen uitgebreidere populatiestudies omvatten, bijvoorbeeld t.a.v. risicofactoren voor carotisafwijkingen, en meer fundamenteel onderzoek naar het ontstaan van atherosclerose in de carotisbifurcatie. Het ontstaan van atherosclerotische veranderingen op plaatsen waar recirculatie gevonden wordt in de normale carotisbulb, en niet op plaatsen met een hoge afschuifspanning is een interessante waarneming die verder onderzoek behoeft.

Recent werden 2D flow-mapping systemen ontwikkeld. Deze geavanceerde meerkanaals pulsed Doppler systemen geven de snelheidsverdeling over het vat in kleur weer in het gelijktijdig verkregen echobeeld van de vaatwanden. Tevens wordt met deze systemen de stroomrichting direct in een kleurcode weergegeven. Dit heeft het voordeel dat stroomverstoringen, zoals veroorzaakt door geringe afwijkingen, op een meer directe wijze weergegeven worden, hetgeen de diagnostiek van geringe afwijkingen in de carotisbulb kan vereenvoudigen.