

Ultrasonic duplex scanning in the evaluation of carotid artery disease

Citation for published version (APA):

Breslau, P. J. (1982). *Ultrasonic duplex scanning in the evaluation of carotid artery disease*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19820521pb>

Document status and date:

Published: 01/01/1982

DOI:

[10.26481/dis.19820521pb](https://doi.org/10.26481/dis.19820521pb)

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

The studies in this thesis evaluate the practical value of ultrasonic Duplex scanning combined with spectral analysis in the detection of extracranial carotid artery disease. The method is based on the combination of real-time B-mode imaging and a 5 MHz pulsed Doppler device. The B-mode images are used as a guide for placement of the sample volume of the pulsed Doppler in the centerstream of the vessel of interest. The basic principle of the method is the estimation of diameter reductions of the internal carotid artery with velocity waveform parameters obtained from the pulsed Doppler device, subjected to Fast Fourier Transform spectral analysis.

In four studies the issue of the accuracy of the ultrasonic method, as compared to multiplanar contrast arteriography, were presented. The first study evaluated the value of velocity waveform information of the common carotid artery in predicting disease in the internal carotid artery. In the second study the accuracy of Duplex scanning was evaluated in 246 carotid bifurcations. The third study concerned the evaluation of velocity waveform changes due to an increase of total blood flow in normal subjects as a means to unmask lesser degrees of stenoses. The fourth study concerned the evaluation of a parameter for accurate detection of severe carotid artery disease.

Given a certain accuracy the ultrasonic device was used in four clinical orientated studies. The first two studies concerned the influence of Duplex scanning on the management of referring physicians in patients with symptomatic and asymptomatic extracranial carotid artery disease. The third study evaluated the incidence of carotid artery disease in patients who were candidates for coronary bypass surgery, the fourth study concerned the issue of recurrent stenoses after carotid surgery.

Chapter 1. This chapter provides the reader with a short review of the anatomy and pathology of the extracranial carotid artery systems. Clinical considerations of carotid artery disease are discussed.

Chapter 2. Contrast arteriography is traditionally considered the screenings method of carotid artery disease. The use of this invasive procedure both as screenings device and gold standard for noninvasive methods is described. The variability in reading arteriograms, especially with no or minimal disease present, and the consequences of this variability for noninvasive methods are mentioned.

The second part of this chapter is a review of the noninvasive screenings techniques available for detecting extracranial carotid artery disease. Basically they can be divided in indirect and direct noninvasive tests. The method used in this thesis is a direct ultrasonic test, obtaining information from the carotid bifurcation.

Chapter 3. In this chapter some basic principles of fluid dynamics are introduced. Changes in the velocity profiles of the carotid system obtained by the Doppler technique will be more meaningful with the knowlegde of these basic principles.

Chapter 4. This chapter describes the current status of ultrasonic techniques. The fundamental differences between continuous wave and pulsed Doppler are described. Detecting velocity information from discrete points in the vessel of interest, as provided by a pulsed Doppler system, justifies the use of a parameter like spectral broadening. This parameter allows the detection of arteriographic lesions which are non pressure or flow reducing. The additional anatomical information, required to obtain relevant pulsed Doppler information, is with Duplex scanning provided by B-mode images.

Using five categories, the pulsed Doppler information combined with spectral analysis can be classified as followed:

(A) normal, 0% diameter reduction; (B) 5-15% diameter reduction; (C) 16-49% diameter reduction; (D) 50-99% diameter reduction; and (E) total occlusion, 100% diameter reduction. The parameters used for this classification are: (1) spectral width during systole; (2) systolic peak frequency; and (3) diastolic frequencies.

Chapter 5. The basis for this chapter are four studies performed with both data from the prototype PV III Duplex scanner and the commercially available Mark V Duplex scanner. The first study was performed to assess in an objective fashion the frequency of flow to zero during late systole or diastole in the velocity waveform of the common carotid artery as related to disease in the proximal internal carotid artery. Of 156 patients, who underwent multiplanar contrast arteriography, the velocity patterns of the common carotid artery were reviewed. Flow to zero during diastole in the common carotid artery was found in three groups of patients: (1) patients with flow to zero in both common carotid arteries not related to disease in the proximal internal carotid artery; (2) patients with a tight stenosis (90-99% diameter reduction) in the internal carotid artery; and (3) patients with a total occlusion of the internal carotid artery. Although flow to zero during diastole in the common carotid artery is very commonly observed with a total occlusion of the internal carotid artery, it may also be seen with a high grade stenosis. Thus when found, it is essential to ascertain if flow is, indeed, present in the internal carotid artery. The appreciation of the characteristics of the velocity pattern of the common carotid artery improved the overall accuracy in detecting extracranial carotid artery disease.

The second study presented the results concerning the accuracy of the Mark V Duplex scanner combined with spectral analysis. For comparison between multiplanar contrast arteriography and the ultrasonic device were available 246 carotid sides, 169 sides were studied with the medium and 77 sides with the short focus scanhead. The agreement between arteriography and ultrasonic Duplex Scanning using the short focus scanhead for normal carotid arteries was 50%, for the 5-15% diameter reduction category 69%, and for the 16-49% diameter reduction category 70%. These results were clearly better than the results obtained with the medium focus scanhead in the same three categories.

The agreement between arteriography and ultrasonic Duplex scanning in high grade stenoses (50-99% diameter reduction) was 94%, using the medium focus scanhead and 89% using the short focus scanhead. The agreement for total

occlusions was 93% for the medium focus scanhead and 100% for the short focus scanhead. In high grade lesions and total occlusions there was no marked difference between the two scanhead.

The third study was designed as pilot study in order to find a means of unmask lesser degrees of stenoses and separate them from normal carotid arteries. Five normal subjects increased the total blood flow to their brains by breathing 6.8% carbon dioxide. Changes in flow were quantified by features derived from the velocity waveforms of the common, internal, and external carotid artery. An increase in velocities during diastole correlated well with the expected increase in total blood flow induced by breathing 6.8% carbon dioxide. Increases in spectral width reflected the development of flow disturbances not apparent under basal conditions. The study suggests that marked increase in flow produced by intracranial vasodilatation can dramatically alter the velocity patterns normally observed.

The fourth study concerned the evaluation of an algorithm for accurate detection of severe carotid artery disease. The study was performed in order to estimate the degree of involvement in the 50-99% diameter reduction category. The algorithm used is the ratio of peak systolic velocity in the internal carotid artery to the end diastolic velocity in the common carotid artery. The ratio was evaluated in 68 diseased and 30 normal carotid arteries. The algorithm permitted gradation of disease into 60% diameter reduction and more with 95% accuracy, 65% diameter reduction and more with 97% accuracy, and 90% diameter reduction and more with 100% accuracy. The values of the 30 normal sides studied, fell below those of the 60% diameter reduction group. The algorithm seems to be useful in further gradation of stenoses in the 50-99% diameter reduction range.

The four studies of this chapter demonstrated that the accuracy of ultrasonic Duplex scanning combined with spectral analysis justifies the use of the method as a screenings device for patients with extracranial carotid artery disease. Furthermore, the method has the potential to document progression of disease. Critical, however, is the knowlegde of the limitations of the method, as has been shown by the use of the medium focus scanhead in patients with minimal disease.

Chapter 6. This chapter is based on four clinical studies performed with the Mark V Duplex scanner combined with spectral analysis. The first study was performed to assess the influence of the Duplex studies on the managment of patients with suspected symptomatic extracranial carotid artery disease. Data on all new referrals (n=410) during one year were reviewed. The patients were grouped according to their reason of referral: (1) patients with focal neurological symptoms lasting less than 24 hours (n=156); (2) patients with focal symptoms lasting longer than 24 hours (n=107); and (3) patients with nonfocal neurological symptoms (n=147). For all groups there was a statistically significant relationship between the reporting of the presence of a high grade stenosis (50-99% diameter reduction) and the likelihood that the patient would undergo contrast arteriography. The finding of a high grade stenosis on the arteriograms resulted in a greater number of patients undergoing carotid surgery. The results of this study indicate that the report of the noninvasive test influenced the decision making process in the

management of patients with suspected carotid artery disease. For patients with focal neurological symptoms lasting less than 24 hours this was a surprising finding, since it is our own policy that these patients will undergo contrast arteriography regardless the percentage of stenosis.

In the second study 95 patients referred to the vascular laboratory because of an asymptomatic bruit were evaluated with the Mark V Duplex scanner. Unilateral bruits were found in 48 patients and bilateral bruits in 47 patients. Out of the 142 carotid sides with a bruit 2% (3/142) were found to be normal, 30% (42/142) were found to have a 5-15% diameter reduction, 37% (53/142) were found to have a 16-49% diameter reduction, 29% (42/142) had a 50-99% diameter reduction, and 2% (3/142) of the patients were found to have a total occlusion of the internal carotid artery. When a high grade stenosis (50-99% diameter reduction) is considered to be an

indication for contrast arteriography then this invasive procedure could be avoided in 71% of the cases. Our own approach of this problem is largely conservative both from the standpoint of arteriography and surgery. Even in patients who are candidates for coronary bypass surgery there is evidence that prophylactic carotid surgery is not indicated for patients without neurological symptoms. We perform Duplex studies in patients with asymptomatic bruits as a part of a follow-up study in order to address the issue of documenting progression of disease. Only such studies will give the answer whether or not prophylactic surgery should be performed in patients with asymptomatic carotid disease such as asymptomatic bruits.

The third study was performed to obtain a better understanding of the incidence of carotid occlusive disease in candidates for coronary bypass surgery and evaluate the practical use of a noninvasive method to screen patients preoperatively.

Hundred and two patients were evaluated preoperatively with the Mark V Duplex scanner, 24 studies were requested on the basis of either previous neurological problems or the presence of a bruit and 78 studies were performed as part of the study protocol. In the unrequested group 6% (5/78) of the patients had a stenosis of 50% diameter reduction or more. In the requested group 54% (13/54) had a stenosis of 50% diameter reduction or more. In the postoperative phase one stroke and one transient ischemic attack were noted among the unrequested group and none in those suspected of having carotid disease on clinical grounds. Neither patient had a high grade stenosis. Based on this study and others there is little evidence to support the contention that noninvasive screening of patients free of symptoms or signs of carotid disease prior to coronary artery bypass surgery is a valuable method of screening patients who will sustain a focal neurological event.

In the fourth study sequential changes in the velocity patterns after carotid endarterectomy were evaluated, 88 patients were studied prior to and following carotid surgery with the ultrasonic Duplex device. Patients were studied at three, six, twelve and twenty-four months after surgery. The velocity patterns of all patients demonstrated flow disturbances following carotid endarterectomy. Velocity patterns consistent with recurrent high grade stenoses (more than 50% diameter reduction) were found in 9% at three months, 18% at six months, 19% at twelve months, and 17% at twenty-four months follow-up. Most restenoses are

considered to be caused by myointimal hyperplasia, which could be the result of the documented flow disturbances. The results of this study demonstrated that: (1) flow disturbances occur after carotid endarterectomy even without recurrent stenoses; and (2) the development of early restenoses is higher than the incidence of recurrent symptoms.

Chapter 7. In the general discussion the most prominent findings of chapter 5 and 6 are reviewed. These findings demonstrate that Duplex scanning combined with spectral analysis is an accurate method to detect extracranial carotid artery disease. The method has proven to be suitable for clinical and research orientated study protocols.

Further goals for the research orientated studies will be: (1) to improve signal processing, and (2) to find algorithms to document progression of extracranial carotid artery disease. These algorithms will probably be found with the development of a variable averaging spectrum velocity pattern program combined with a computer controlled stepwise discriminant analysis program.

Samenvatting

Gedurende de laatste jaren heeft het "niet-invasieve" onderzoek van de extracraniele cerebrale circulatie een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt. Deze ontwikkeling is toe te schrijven aan een toenemende behoefte op gefundeerde gronden patiënten te kunnen selecteren voor contrast-arteriografie. Dit proefschrift beschrijft een niet-invasieve methode met als doelstelling de klinische betekenis ervan te evalueren. De gebruikte methode is gebaseerd op het "Duplex" principe, een combinatie van echografie en een pulsed-Doppler systeem. De met echografie verkregen anatomische informatie stelt het pulsed-Doppler systeem in staat een representatief snelheidsprofiel van de extracraniele vaten te verkrijgen. Spectraal-analyse van het snelheidsprofiel maakt het vervolgens mogelijk, aan de hand van hemodynamische parameters, de diameterreductie van een arterie te bepalen.

Traditioneel wordt de nauwkeurigheid van niet-invasief onderzoek bepaald door vergelijking met contrast-arteriografie, waarbij de arteriografie als "gouden standaard" wordt gebruikt. In dit proefschrift wordt de nauwkeurigheid van het Duplex principe in combinatie met spectraal-analyse aan de hand van de resultaten van vier studies besproken.

Naast de functie om patiënten te kunnen selecteren voor arteriografie kunnen met een nauwkeurig niet-invasief onderzoek carotis afwijkingen in bepaalde patiënten populaties worden geïdentificeerd en eventueel vervolgd. Het doel van deze studies, waarvan er vier in dit proefschrift zijn opgenomen, is het verkrijgen van meer inzicht in de betekenis van de aanwezigheid van arteriosclerotische carotis afwijkingen en het optreden van eventuele progressie.

In hoofdstuk 1 wordt een overzicht gegeven van de anatomie en pathologie van de extracraniele cerebrale circulatie. De klinische betekenis en eventuele behandeling van arteriosclerotische afwijkingen ter hoogte van de carotis-bifurcatie worden besproken.

Hoofdstuk 2. Diagnostisch onderzoek van de carotis-bifurcatie bestaat uit invasief en niet-invasief onderzoek. Contrast-arteriografie wordt traditioneel beschouwd als het definitieve onderzoek om carotis-bifurcatie afwijkingen te diagnostiseren. De betrouwbaarheid en risico's van dit invasieve onderzoek worden besproken.

Niet-invasief onderzoek kan worden ingedeeld in "indirecte" en "directe" methoden. Indirecte methoden registreren veranderingen in het collaterale systeem ten gevolge van carotis-bifurcatie afwijkingen, directe methoden registreren ter plaatse van de bifurcatie. Het Duplex concept is gebaseerd op registraties ter hoogte van de carotis-bifurcatie en is daardoor een directe methode.

Hoofdstuk 3. Met behulp van hemodynamische parameters wordt het geanalyseerde snelheidsprofiel geclassificeerd; de parameters zijn spectrale verbreding, maximale systolische en diastolische frequenties. Met bekendheid van enkele hemodynamische basisprincipes krijgt het gebruik van de gekozen parameters meer betekenis. Relevante principes worden in het kort beschreven.

In hoofdstuk 4 worden de kenmerken en verschillen van continuous wave en pulsed-Doppler technieken beschreven. Een pulsed-Doppler systeem stelt de gebruiker in staat hemodynamische informatie vanuit het midden van een arterie te verkrijgen. Hierdoor is het mogelijk veranderingen in de spectrale verbreding van het snelheidsprofiel, als gevolg van minimale arteriosclerotische vaatwandafwijkingen, te registreren. In het Duplex concept wordt de anatomische informatie, nodig ten einde de localisatie van het pulsed-Doppler systeem te bepalen, verkregen door echografie.

Gebruik makend van eerder genoemde parameters kan het snelheidsprofiel van de arteria carotis interna in één van de volgende vijf categoriën worden ingedeeld: (A) normaal, 0% diameterreductie; (B) 5-15% diameterreductie; (C) 16-49% diameterreductie; (D) 50-99% diameterreductie; en (E) totale occlusie, 100% diameterreductie.

In hoofdstuk 5 wordt aan de hand van de resultaten van vier studies de nauwkeurigheid van het Duplex concept in combinatie met spectraal-analyse besproken. In de eerste studie wordt het snelheidsprofiel van de arteria carotis communis gebruikt om de nauwkeurigheid van het registreren van arteria interna afwijkingen te verhogen. Het normale arteria carotis communis profiel vertoont een continue voorwaartse stroomrichting gedurende de diastole fase. Deze continue voorwaartse stroomrichting blijkt in drie situaties niet aanwezig te zijn: (1) bij patiënten met een totale occlusie van de arteria carotis interna; (2) bij patiënten met een 90-99% diameterreductie van de arteria carotis interna; en (3) bij patiënten met centrale pathologie, niet gerelateerd aan arteria carotis interna afwijkingen. In deze laatste categorie is de voorwaartse stroomrichting beiderzijds niet aanwezig. Met de waardering van de veranderingen in het snelheidsprofiel van de arteria carotis communis, is de nauwkeurigheid van het diagnostiseren van totale occlusies toegenomen.

De tweede studie geeft aan de hand van een vergelijkende studie de nauwkeurigheid van het Duplex concept in combinatie met spectraal-analyse. Gebruik makend van een "short focus" transducer is de overeenstemming tussen Duplex en arteriografie 50% voor categorie A (0% diameterreductie), 69% voor categorie B (5-15% diameterreductie), en 70% voor categorie C (16-49% diameterreductie). Gebruik makend van een "medium focus" transducer is de overeenstemming tussen Duplex en arteriografie 94% voor categorie D (50-99% diameterreductie) en 93% voor categorie E (totale occlusie).

De resultaten van dit vergelijkende onderzoek tonen aan dat het niet-invasieve onderzoek 50-99% diameterreducties en totale occlusies met een hoge nauwkeurigheid registreert. Het scheidend vermogen tussen een normale arteria carotis interna en een 5-15% diameterreductie zou theoretisch kunnen worden vergroot door de totale hoeveelheid bloed per tijdseenheid dramatisch te verhogen. Teneinde het snelheidsprofiel van een normaal carotis systeem te kunnen beoordelen bij een toename van de totale bloedstroom werd in de derde studie bij vijf gezonde proefpersonen voor en tijdens CO₂-inhalatie een Duplex studie verricht. Ten gevolge van de CO₂-inhalatie trad bij alle proefpersonen, als uiting van een vermindering van de stabiliteit van de bloedstroom, een verbreding van het spectrum in het snelheidsprofiel op. Alvorens de waarde van dit fenomeen

te kunnen beoordelen, zal de studie eveneens verricht moeten worden met patiënten bekend met een 5-15% diameterreductie van de arteria carotis interna.

In de vierde studie wordt een nieuwe parameter geïntroduceerd, met behulp waarvan afwijkingen in de 50-99% diameterreductie categorie kunnen worden herverdeeld. Met deze parameter blijkt het mogelijk een 90-99% diameterreductie categorie te creëren, waardoor toename van arteriosclerotische afwijkingen in follow-up studies voor de 50-99% diameterreductie categorie kunnen worden gedocumenteerd.

Hoofdstuk 6 bestaat uit vier klinische studies die de invloed en betekenis van het gebruik van het Duplex principe in patiënten populaties evalueren.

In de eerste studie wordt de invloed van het niet-invasieve onderzoek op de verdere behandeling van patiënten met neurologische symptomen besproken. Het vermelden van een 50-99% diameterreductie van de arteria carotis interna blijkt, onafhankelijk van het klachtenpatroon, de kans op arteriografisch onderzoek significant te verhogen.

De tweede studie registreert het voorkomen van afwijkingen in de arteria carotis interna bij patiënten met een asymptomatische soufflé in de hals. Van de 142 carotis-bifurcaties met een soufflé in de hals wordt de arteria carotis interna in 2% geclassificeerd als normaal, in 30% met een 5-15% diameterreductie, in 37% met een 16-49% diameterreductie, in 29% met een 50-99% diameterreductie en in 2% met een totale occlusie. Als een hemodynamisch significante stenose een indicatie is voor contrast-arteriografie in patiënten met een asymptomatische soufflé, kan het niet-invasieve onderzoek dit invasieve onderzoek 71% van de patiënten besparen.

In de derde studie wordt het voorkomen van carotis afwijkingen, in patiënten die coronair chirurgie ondergaan, gedocumenteerd. In 6% van de patiënten zonder neurologische symptomen werd een 50-99% diameterreductie van de arteria carotis interna geregistreerd. De optredende peri-operatieve neurologische complicaties waren niet gerelateerd aan het voorkomen van hemodynamisch significante stenosen.

In de vierde studie worden hemodynamische veranderingen geregistreerd in patiënten die carotis chirurgie hebben ondergaan. De resultaten van deze studie tonen aan dat een postoperatieve restenosering over het algemeen asymptomatisch verloopt en relatief frequent optreedt.

Hoofdstuk 7. In de algemene discussie worden de belangrijkste bevindingen van hoofdstuk 4 en 5 nader besproken. De resultaten van de eerste vier studies tonen aan, dat het niet-invasieve Duplex onderzoek in combinatie met spectraal-analyse nauwkeurig arteria carotis interna afwijkingen registreert. De methode is principieel superieur aan elke indirecte methode door de nauwkeurigheid waarmee een hemodynamische significante stenose kan worden onderscheiden van een totale occlusie. De vier studies van hoofdstuk 6 demonstreren de klinische waarde van een nauwkeurig niet-invasief onderzoek voor de carotis-bifurcatie afwijkingen.

Toekomstig werk met de Duplex scanner dient te zijn gericht op het verbeteren

van het scheidend vermogen tussen een normale arteria carotis interna en een arteria met minimale artériosclerotische afwijkingen. Verder zullen een aantal follow-up studies worden verricht ten einde een beter inzicht te krijgen op het natuurlijke verloop van arteriosclerotische carotis-bifurcatieafwijkingen.