

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Zur Diagnostik der extrakraniellen hirnversorgenden Arterien stehen sowohl invasive als auch nicht invasive Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Klinische Validität, Kosten-Nutzen- und Risiko-Nutzen-Relationen sind wesentliche Bezugskriterien, an denen sich die Indikationen zur Anwendung der zur Verfügung stehenden Verfahren orientieren müssen. Tendenziell ist ein Trend vom invasiven zum nicht invasiven Verfahren zu verzeichnen (Athanasoulis et al., 2001).

Seit der Veröffentlichung der großen Multicenterstudien in den USA und in Europa (NASCET, 1991; ECST, 1991), konnte die Überlegenheit der operativen Therapie symptomatischer höhergradiger Karotisstenosen ( $\geq 70\%$  NASCET,  $\geq 60\%$  ECST) gegenüber einer konservativen Therapie belegt werden. Mit diesen Studien fand eine grundlegende Wende in der Diagnostik der hirnversorgenden extrakraniellen Arterien statt, da erstmals angiographische Stenosemessverfahren definiert wurden.

Die angiographische Untersuchung der hirnversorgenden Arterien wird heute als digitale Subtraktionsangiographie (DSA) durchgeführt und gilt derzeit als der Goldstandard, an dem sich konkurrierende Verfahren zu messen haben.

Die digitale Subtraktionsangiographie weist aber als invasive Untersuchung verfahrenstechnische Komplikationsmöglichkeiten auf, die zu einer Erhöhung der Morbidität und Mortalität der in den Studien untersuchten und behandelten Patienten führte (NASCET, 1991; ECST, 1991). Neben möglichen Kontrastmitteln Nebenwirkungen (Allergie, Nephrotoxizität) und Komplikationen durch die notwendige Arterienpunktion besteht die Gefahr, eine Embolie durch den Angiographiekatheter auszulösen, bei der in 1,3 - 4 % mit einer neurologischen Komplikation oder sogar mit einer letalen Komplikation zu rechnen ist (Davies et al., 1993; Hankey et al., 1990; Willinsky et al., 2003). Tendenziell erscheint der Einsatz der DSA nur noch bei gleichzeitig geplanter interventioneller Maßnahme (Dilatation mit Stenteinbringung) gerechtfertigt (Hagen, 1997).

Das Bestreben, für den Patienten sichere und nicht invasive Untersuchungsverfahren mit hoher diagnostischer Aussage im klinischen Alltag zu etablieren, ist in ständiger Weiterentwicklung. Es haben sich neben den radiologischen Verfahren (digitale Subtraktionsangiographie, CT-Angiographie, Kernspinaangiographie) insbesondere die sonographischen Untersuchungsverfahren (B-Bild-Sonographie, Duplexsonographie, farbkodierte Dopplersonographie) etabliert. Sie stellen ein für

den Patienten nicht belastendes, nicht invasives und nebenwirkungsfreies Untersuchungsverfahren dar, das aufgrund seiner breiten Verfügbarkeit in Kombination mit seinem hohen diagnostischen Aussagewert zu einer großen Akzeptanz geführt hat.

Der Haupteinsatzbereich der Ultraschallverfahren in der Diagnostik der extrakraniellen hirnversorgenden Arterien liegt im „screening“ hinsichtlich bestehender Karotisstenosen und deren Quantifizierung.

Bei der Stenosequantifizierung wird unter Anwendung der farbkodierten Dopplersonographie die mittlere Geschwindigkeit in einem Gefäßverlauf dargestellt. Überschreitet die maximale Geschwindigkeit den von der Pulsrepetitionsfrequenz (PRF = die Häufigkeit, mit der Ultraschallimpulse gesendet werden) vorgegebenen definierten Geschwindigkeitsbereich, kommt es zum Aliasing, das als Farbumschlag erkennbar ist. Das Aliasing stellt die Region mit der höchsten Geschwindigkeit dar, in der dann Geschwindigkeitsmessungen (PW-Dopplermessungen) durchgeführt werden. Es bestehen eine Vielzahl von Messparametern, die zur Stenosequantifizierung herangezogen werden können (Tabelle 1). Die Validation dieser Messparameter erfolgte an dem Goldstandard der angiographischen Stenosegraduierung nach NASCET oder ECST-Kriterien.

Am häufigsten finden die maximale systolische Geschwindigkeit (Peak Systolic Velocity, PSV), die enddiastolische Geschwindigkeit (End Diastolic Velocity, EDV) sowie Verhältniszahlen (Ratio) der Flussgeschwindigkeitswerte Verwendung. In einer neueren Untersuchung von Johnston et al. (2001) und Qureshi et al. (2001), in der nicht invasive Untersuchungsverfahren der Angiographie gegenübergestellt wurden, konnten Fehleinschätzungen von Karotisstenosen in 28% der duplexsonographischen Untersuchungen nachgewiesen werden. Aufgrund dieser Erkenntnisse wird der alleinige Einsatz in der Stenosequantifizierung durch die Dopplersonographie kontrovers diskutiert (Eliasziw et al., 1995; Grant et al., 2000; Qureshi et al., 2001).

**Tabelle 1:**  
Duplexsonographische Kriterien zur Stenosequantifizierung

Autor	Jahr	Spezifität	Sensitivität	PPV NPV		
		(%)	Stenose >70%	(%)	(%)	
Bowman	1995	60	n.b.	91	n.b.	ACI PSV >175cm/s or PSV <40cm/s
Carpenter	1996	77	94	68	96	ACI PSV >210cm/s
		60	92	73	86	EDV >70cm/s
		78	91	70	94	Ratio ACI/CCA >3
		65	100	65	100	Ratio ACI/CCA >3,3
Faught	1994	81	n.b.	91	n.b.	ACI PSV >130cm/s plus EDV >100cm/s
Hood	1996	97	97	89	96	ACI PSV > 130cm/s plus EDV >100cm/s
Hunink	1993	90	80	n.b.	n.b.	ACI PSV >230cm/s
Moneta	1993	87	98	n.b.	n.b.	Ratio ACI/CCA >4
Neale	1994	91	93	n.b.	n.b.	PSV >270cm/s plus EDV >110cm/s

PPV: positiver Vorhersagewert, NPV: negativer Vorhersagewert, n.b.: nicht bekannt

Eine Vielzahl von Faktoren können den anhand hämodynamischer Parameter errechneten Stenosegrad beeinflussen. Herzrhythmusstörungen, Herzklappenerkrankungen, Tandemstenosen oder kontralaterale Stenosen der Halsarterien, Gefäßdilatationen oder Abknickung (kinking und coiling), die Stenosenlänge, die Messtiefe, der Winkelfehler sowie der spiralförmige Flusscharakter führen zu einer fehlerhaften Stenosegraduierung (AbuRahma et al., 1995; Ray et al., 2000). Um diese Fehlermöglichkeiten der geschwindigkeitsabhängigen Stenosequantifizierung zu umgehen, erfolgt ein anderer Ansatz der Stenosequantifizierung analog den angiographischen Messverfahren, bei dem der kleinste Stenosedurchmesser mit einem Referenzsegment entsprechend der NASCET oder ECST Kriterien ins Verhältnis gesetzt wird.

Hierbei ist der Stellenwert der B-Bild-Sonographie nur gering. Die alleinige im B-Bild durch Diameterbestimmung vorgenommene Quantifizierung von Karotisstenosen ist den Dopplerverfahren gegenüber unterlegen (Blakeley et al., 1995; Ricotta et al., 1987). Ab Stenosen mit einer > 60-70% Diameterreduktion sind echoreiche oder kalkhaltige Einlagerungen zunehmend häufig anzutreffen, welches die Messung des Residuallumens im B-Bild aufgrund der auftretenden Artefakte erschwert.

Mittels farbkodierter Dopplersonographie konnte in einer Untersuchung von Bönig et al. (2000), in der u.a. die Graduierung von Stenosen über den kleinsten

Stenosediameter und der kleinsten Stenosequerschnittsfläche nach NASCET und ECST Kriterien erfolgte, im Vergleich mit den entsprechenden Angiographien die höchste Übereinstimmung für die Stenosenkalkulation über die Querschnittsflächenreduktion nach ECST-Kriterien mit einer Sensitivität von 97% und Spezifität von 90% dargestellt werden. Zusätzlich fand sich bei diesem Verfahren auch die geringste Untersucherabhängigkeit. Die methodische Überlegenheit der Stenosenquantifizierung über die Querschnittsflächenreduktion im Vergleich zur geschwindigkeitsabhängigen Stenosegraduierung konnte auch an Eversionsarterektomie-Präparaten aufgezeigt werden (Jmor et al., 1999).

Lyrer et al. (1999) schlussfolgerten jedoch in einer Untersuchung mittels farbkodierter Dopplersonographie, dass die Messung der Querschnittsflächenreduktion als individueller Parameter mit anderen Ultraschallverfahren vergleichbar ist, der Aussagewert allein jedoch nicht ausreicht, um mit hoher Sicherheit eine hochgradige Karotisstenose richtig zu erkennen.

Bisher erfolgten solche Messungen mit der farbkodierten Dopplersonographie. Nachteilig erwies sich hierbei die Überzeichnung des „wahren Gefäßlumens“ durch die Farbbildinformation („blooming“), das zusätzlich bei normalen Arterienbewegungen, durch Schlucken, durch die Atmung oder durch den Herzschlag verstärkt wird. Dieses Artefakt entsteht durch die zeitversetzte Überlagerung von Farb- und B-Bild-Information.

Mit der B-Flow Technologie steht für die Diagnostik von Gefäßerkrankungen seit 1999 ein nicht auf dem Dopplerprinzip (s.u.) beruhendes Ultraschallverfahren zur Blutflussdetektion zur Verfügung. Durch simultane Entstehung von Gewebe- und Flussinformation bei gleichzeitiger hoher Orts- und Zeitauflösung wird die Diskriminierung des Blutflusses (intraluminale Echo) zur lumenseitigen Gefäßkontur im Vergleich zur farbkodierten Dopplersonographie exakter. Die fast fehlende Winkelabhängigkeit und die beinahe artefaktfreie Darstellung erleichtert die Flussbeurteilung und scheint insbesondere bei der Stenosebeurteilung im Vergleich zur Angiographie eine quasi perfekte Übereinstimmung zu erzielen (Jung et al., 2002; Weskott, 2000; Weskott, 2001). Eine Gegenüberstellung der wesentlichen Charakteristika der FKDS und des B-Flow erfolgt in Tabelle 2.

**Tabelle 2:**

Gegenüberstellung der wesentlichen Charakteristika der farbkodierten Dopplersonographie und des B-Flow Verfahrens (Weskott, 2000)

Farbkodierte Dopplersonographie	B-Flow
<ul style="list-style-type: none"><li>• Aliasing</li><li>• Winkelabhängigkeit</li><li>• geringe räumliche Auflösung</li><li>• nur hohe oder niedrige Geschwindigkeiten</li><li>• hohe Eindringtiefe (Frequenzwahl möglich)</li><li>• quantitative Daten</li><li>• Gefäßwandüberschreibung</li><li>• niedrige Bildwiederholungsrate (frame rate)</li><li>• Flussrichtung leicht erkennbar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kein Aliasing</li><li>• weitgehend winkelunabhängig</li><li>• hohe räumliche Auflösung</li><li>• hohe und niedrige Geschwindigkeiten gleichzeitig</li><li>• relativ niedrige Eindringtiefe (keine Frequenzwahl)</li><li>• keine quantitativen Daten</li><li>• keine Gefäßwandüberschreibung</li><li>• 4x höhere Bildwiederholungsrate (frame rate)</li><li>• Flussrichtung erschwert erkennbar</li></ul>

Durch den Einsatz der B-Flow Technik in der Diagnostik extrakranieller Gefäßerkrankungen, gewinnt die Kenntnis von Normalwerten bei Männern und Frauen für die durchströmten Querschnittsflächen der A. carotis communis, des Karotisbulbus und der A. carotis interna als Grundlage für vergleichende klinische Untersuchungen an Bedeutung. Neben der Evaluation von Normalwerten für durchströmte Querschnittsflächen soll untersucht werden, ob eine vom Alter abhängige Änderung der durchströmten Querschnittsflächen auftritt, ob hinsichtlich der Querschnittsflächen Geschlechts- und Seitenunterschiede bestehen. Gleichzeitig werden hämodynamische Parameter hinsichtlich ihrer Alters- und Geschlechtsabhängigkeit untersucht.