

3 Material und Methoden

3.1 Probandenkollektiv

Im Zeitraum von Mai bis Dezember 2001 wurden 56 freiwillige Probanden im Alter von 20-79 Jahren, die anamnestisch kardiovaskulär gesund waren und keine entsprechende Dauermedikation einnahmen, in die Untersuchung eingeschlossen. Pro Lebensdekade wurden jeweils fünf Frauen und fünf Männer untersucht. Für die Lebensdekade der 70-79 Jährigen konnten jeweils drei Männer und drei Frauen eingeschlossen werden. Drei Probanden mussten aufgrund einer bisher nicht bekannten Karotisstenose, einer Intima-Media Hyperplasie und wegen hypertonen Blutdruckwerten ausgeschlossen werden.

Weitere Ausschlusskriterien waren eine Intima Media Dicke von $> 1,2$ mm und eine PSV $> 1,2$ m/s oder eine Lumenreduktion im B-Flow.

3.2 Untersuchungsablauf

Nach einer Ruhephase von 10 Minuten wird die Untersuchung in Rückenlage bei leichter Reklination des Kopfes durchgeführt.

Die Untersuchung beginnt im B-Mode mit der Darstellung der A. carotis communis (ACC) an ihrem Abgangsbereich. In langsamer Kranialbewegung des Schallkopfes werden dann der Karotisbulbus (Bulbus) und die A. carotis interna (ACI) dargestellt. Um Informationen über die Gefäßtopographie und Morphologie zu erhalten, wird die Untersuchung sowohl im longitudinalen als auch im transversalen Schnitt durchgeführt. Es folgt dann die Querschnittsflächenmessung mit dem B-Flow Verfahren. Es werden die Querschnittsflächenmessungen für die ACC 1 bis 2 cm vor dem Bulbus, für den Bulbus im größten Bulbusdurchmesser und für die ACI in dem Bulbus folgenden cervicalen Anteil durchgeführt. Im transversalen Schnitt wird die Querschnittsflächenmessung bei möglichst 90° durchgeführt, die zu messende Fläche erscheint dann kreisförmig. Nach Betrachtung des Blutflusses über mehrere Herzzyklen wird ein Standbild mit der Freeze Taste erzeugt. Im sogenannten Cine loop Modus, der eine manuelle Wiedergabe der zuvor durchgeführten Echtzeituntersuchung in Einzelbilder ermöglicht, wird ein kompletter kardialer Zyklus betrachtet. Da im B-Flow Verfahren die beste Signalintensität bei schnellen

Geschwindigkeiten erzielt wird, erfolgt die Querschnittsflächenmessung während der Systole. Sie kann leicht durch ein signalreiches intraluminales Echo identifiziert werden. Häufig findet sich im Gefäßzentrum oder im Gefäßwandbereich eine Zone mit geringerer Signalintensität (s. Abb. 4). Dieser Effekt wird durch unterschiedliche Geschwindigkeiten der korpuskulären Blutbestandteile während des spiralförmigen Blutflusses hervorgerufen. Solche Zonen werden in die Kalkulation der Querschnittsfläche einbezogen. Unter Zuhilfenahme des Trackballs erfolgt in der Trace-Funktion die Umkreisung der sich darstellenden Querschnittsfläche mit dem auf dem Monitor abgebildeten Cursor. Die Größe der umkreisten Fläche wird vom Ultraschallgerät automatisch berechnet und in cm^2 angegeben. Alle Messungen werden zweimal wiederholt. In den Abb. 2 bis 7 ist jeweils die ACI, der Bulbus und die ACI im transversalen Schnittbild, sowie nach Messung der Querschnittsfläche in der Trace-Funktion dargestellt.

Im Anschluss erfolgt die duplexsonographische Geschwindigkeitsmessung der ACC, der ACI und der Vertebralarterien unter Einhaltung eines Beschallungswinkels $< 60^\circ$. Alle Messungen erfolgen ebenfalls dreimal. Es wird sowohl die linke als auch die rechte Halsseite untersucht.

Zum Ausschluss eines bisher nicht bekannten arteriellen Hypertonus wird im Anschluss an die Ultraschalluntersuchung die Blutdruckmessung nach Riva-Rocci am rechten Oberarm durchgeführt. Bei Blutdruckwerten $> 160/90$ mmHg wird der Proband von der Untersuchung ausgeschlossen.

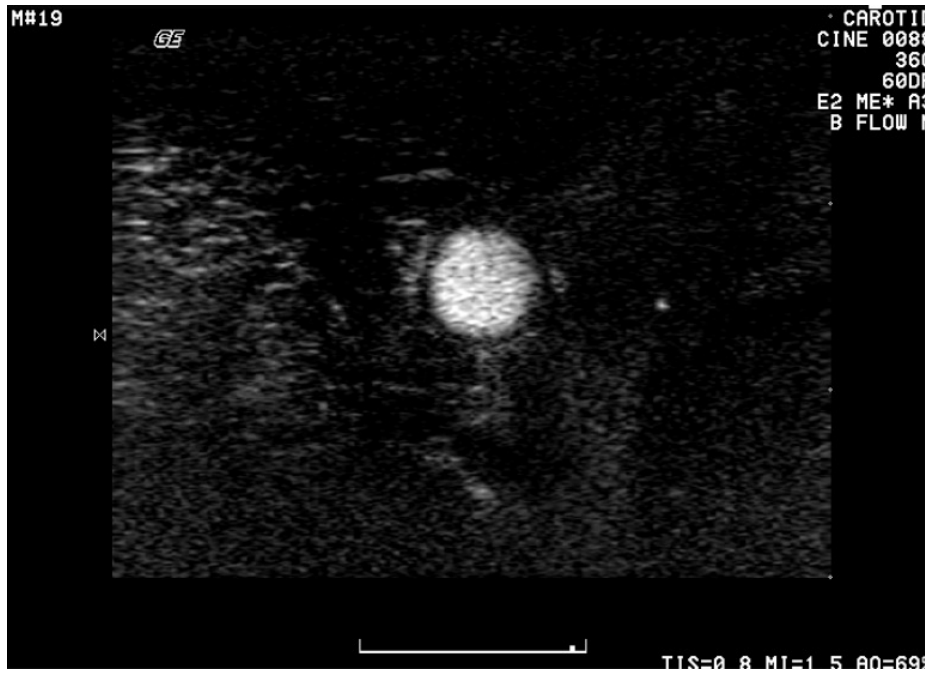


Abbildung 1:
Transversalschnitt der A. carotis communis im B-Flow Modus



Abbildung 2:
Mit der Trace-Funktion gemessene Querschnittsfläche der A. carotis communis im transversalen Schnittbild



Abbildung 3:
Transversalschnitt des Bulbus im B-Flow Modus

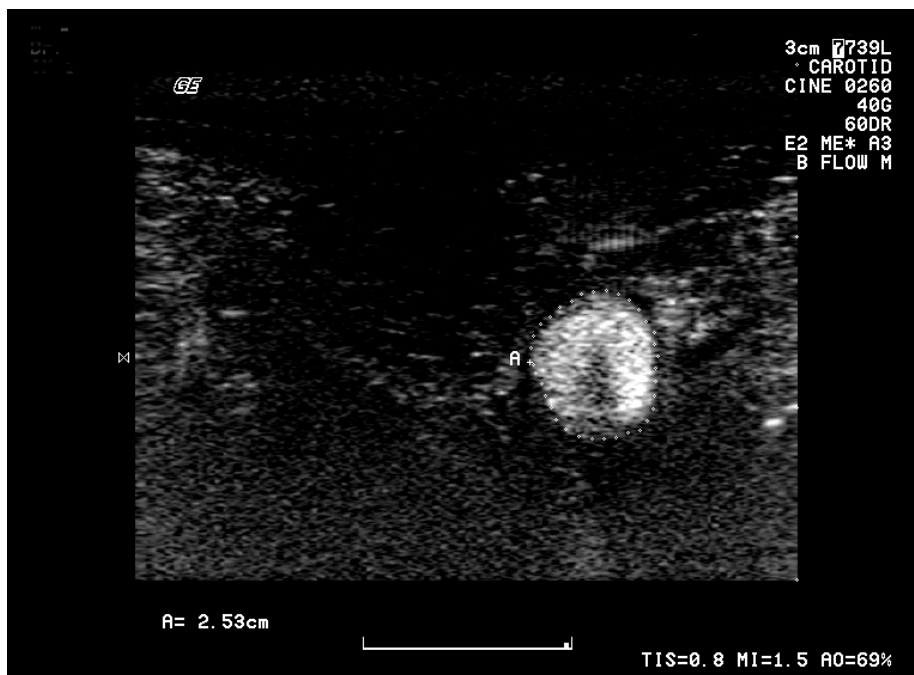


Abbildung 4:
Mit der Trace-Funktion gemessene Querschnittsfläche des Bulbus im transversalen Schnittbild

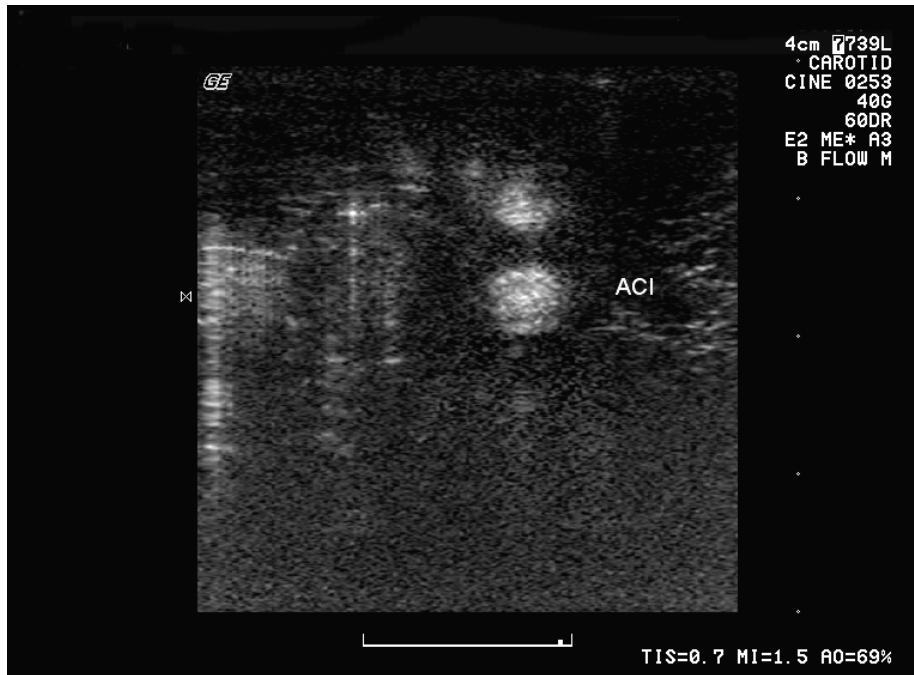


Abbildung 5:
 Transversalschnitt der A. carotis interna im B-Flow Modus

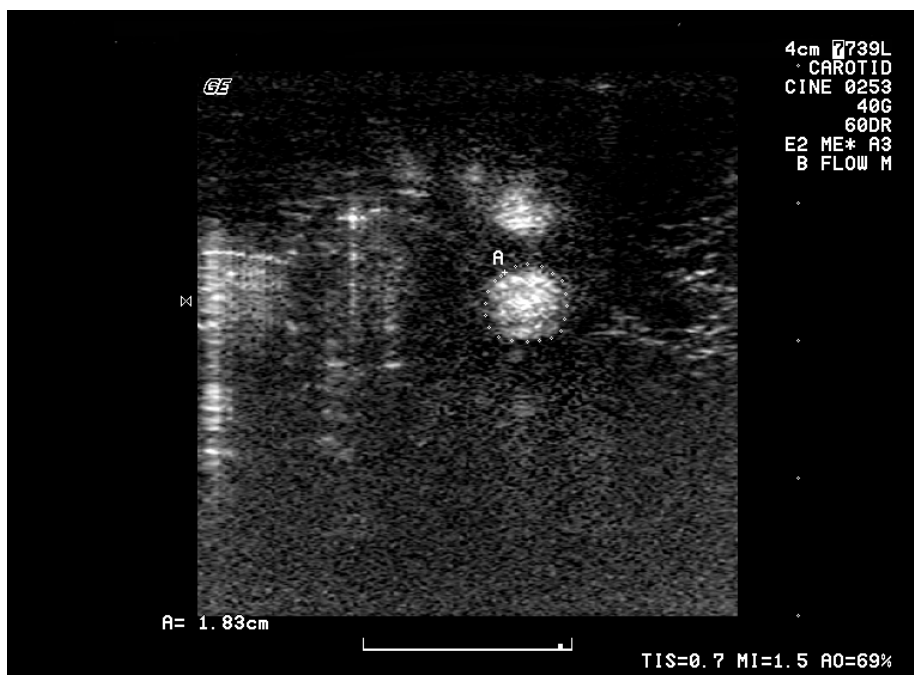


Abbildung 6:
 Mit Trace-Funktion gemessene Querschnittsfläche der A. carotis interna im transversalen Schnittbild

3.3 Gerätetyp

Alle Untersuchungen werden mit dem Ultraschallgerät LOGIQ 700 Expert Series der Firma General Electric Solingen unter Verwendung eines linearen Schallkopfes (LA 748) durchgeführt.

Die Bilddokumentation erfolgt mit einem schwarz/weiß Thermodrucker und auf einer magneto optischen Diskette (MOD).

Geräteeinstellung:

Die B-Bildsonographie erfolgt im voreingestellten Untersuchungsmodus für Karotisuntersuchungen. Zur Bildoptimierung wird die Einstellung ATO (s.u.) gewählt.

Folgende Geräteeinstellung wird im B-Flow Modus vorgenommen:

- Pulsrepetitionsfrequenz (PRF):
 - Die PRF bestimmt die maximal messbare Dopplerfrequenz. Ist sie nicht doppelt so groß wie die zu messende Dopplerverschiebung, kann die wahre Frequenz nicht ermittelt werden. Im B-Flow Untersuchungsmodus stehen fünf unterschiedliche Pulsrepetitionsfrequenzen von low bis high zur Verfügung. Die PRF sollte bei der Untersuchung arterieller Flüsse 1 kHz (\cong PRF high) betragen.
- Fokus:
 - Die Fokusposition (im B-Flow Modus nur als Einzelfokus verfügbar) wird auf Höhe des zu untersuchenden Gefäßlumens plaziert. Hierdurch wird eine maximale Auflösung im Fokusbereich ermöglicht.
- Background on/off:
 - Im B-Flow Modus besteht die Möglichkeit, stationäre Echos (Gewebeechos) im Sinne einer digitalen Subtraktion in der Echtzeituntersuchung auszublenden (background off), so dass

nur das B-Flow Signal zur Darstellung kommt. Die Querschnittsflächenmessung erfolgt im Modus background off.

- Auto Tissue Optimization (ATO®):
 - Die im Bild dargestellten Signalstärken werden auf die verfügbaren 256 Grauwerte verteilt. Dadurch werden die Flusssignale des B-Flow kontrastreicher dargestellt und die Diskriminierung von fließendem Blut und Gewebe erleichtert.

- Zoom:
 - Die Querschnittsflächenmessung erfolgt im Zoom-Modus, die zu einer Vergrößerung des Bildausschnittes führt.

- Gain:
 - Verstärkung des reflektierten Ultraschallsignals im Gerät. Der Grauwert des B-Bilds wird entsprechend „heller“ oder „dunkler“. Die Einstellung wird so vorgenommen, dass ein Rauschen sicher vermieden wird.

3.4 Mögliche Messfehlerursachen

3.4.1 Gerätespezifische Messfehler

Die Fehlerbreiten der Querschnittsflächenmessung (Area) im B-Mode bei Benutzung der Trace-Methode (Umfahrung) beträgt $\pm 1,5 \text{ mm}^2$ oder 6%, die kleinste zu messende Fläche $0,01 \text{ cm}^2$, die Inkremente $0,01 \text{ cm}^2$. Für kleinere Gefäßdurchmesser bewirkt ein Inkrementunterschied in der Messung einen größeren Fehler als bei größeren Gefäßen.

(Quelle: GE Medical Systems Technical Publications Direction 2270624-100, Revision 0, Advanced Reference Manual LOGIQ 700, General Electric Co. 2000)

3.4.2 Untersuchungsabhängige Messfehler

Abweichungen vom idealen 90° Winkel im transversalen Schnitt bewirken eine Größenzunahme der zu messenden Fläche. Die geforderte kreisförmige Fläche

erscheint dann mehr und mehr elliptisch. Zur Messfehlerberechnung wurde folgende Formel hergeleitet:

Die Berechnung der Fläche eines Ellipsoides erfolgt nach der Formel:

$$F = \pi * a * b$$

Für einen Kreis bedeutet dies, da $a = b = r$:

$$F = \pi * r^2$$

Der Radius einer Röhre bleibt konstant:

$$b = r$$

Die Länge des Längsschnittes a ist variabel und hängt vom Winkel ab.

Dies bedeutet nach Pythagoras:

$$a = r / \cos(\alpha)$$

Bei $\alpha = 90^\circ$ ist dieser Wert unendlich, bei $\alpha = 0$ erhält man den Durchmesser $a = r$

Die resultierende Formel lautet:

$$F = \pi * r * (r / \cos(\alpha))$$

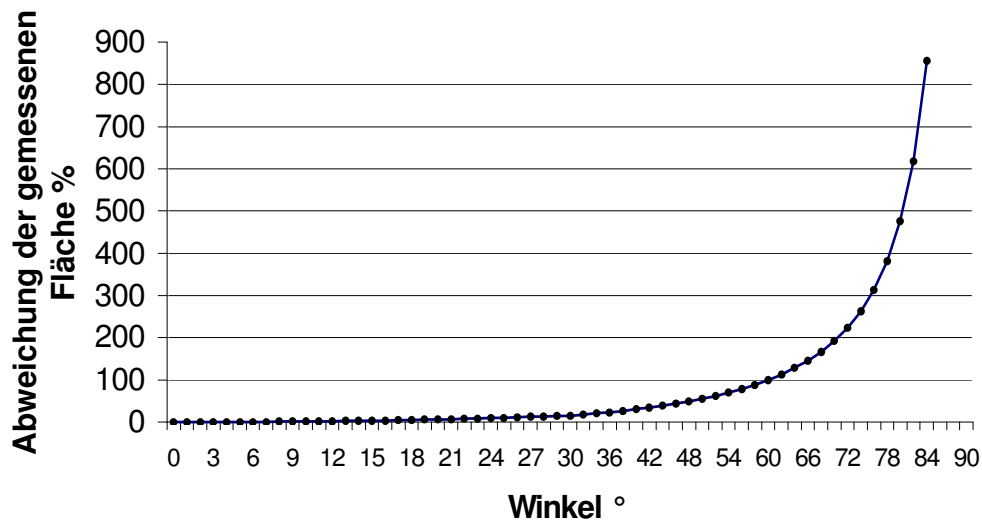


Abbildung 7:

Prozentuale Querschnittsflächenzunahme bei gradueller Abweichung von der idealen 90° Schallposition

Die Abbildung 8 demonstriert die exponentielle Zunahme der zu messenden Querschnittsfläche beim Abweichen der Messung von der idealen Schallposition in 90°. So wird beispielsweise eine gemessene Fläche von 0,14 cm² oder 0,31 cm² bei einer Messung bei 80° um 1,54% (0,142 cm² oder 0,314 cm²) oder bei 70° um 6,42% (0,149 cm² oder 0,329 cm²) größer gemessen. Eine Verdoppelung der gemessenen Querschnittsfläche erfolgt bei einer Messung in 60°.

Somit sollte der Flächenmessung im transversalen Schnitt möglichst der ideale Winkel von 90° angestrebt werden. Abweichungen bis 20° sind mit einem Fehler von 6,42% bei einem kleinsten Messintervall von 0,01 cm² in der Flächenkalkulation noch tolerabel.

3.5 Statistische Methoden

Die Datenverwaltung wurde mit dem Programm Excel 2000 von Microsoft durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS Version 11.0 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS inc. USA).

Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test wurden die intervallskalierten Variablen hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Es konnte nachgewiesen werden, dass alle u.g. Testvariablen hinreichend normalverteilt waren.

Die deskriptive Auswertung liefert eine beschreibende Darstellung der einzelnen Variablen. Als statistischer Kennwert wurde der Mittelwert und die Standardabweichung errechnet. Neben der rein deskriptiven Aufbereitung der Daten wurden passende Analyseverfahren durchgeführt. Sie sollen dazu dienen, objektiv zu unterscheiden, ob etwa ein auftretender Mittelwertunterschied oder auch ein Zusammenhang zufällig zustande gekommen ist oder nicht. Die in den Testergebnissen errechnete Irrtumswahrscheinlichkeit wird als p-Wert angegeben. In SPSS sind Irrtumswahrscheinlichkeiten mit $p \leq 0,05$ signifikant, d.h. dass im vornherein in 5% der Fälle nicht mit einem signifikanten Ergebnis gerechnet werden muss. Irrtumswahrscheinlichkeiten mit $p \leq 0,05$ werden als signifikant, Irrtumswahrscheinlichkeiten mit $p \leq 0,01$ als sehr signifikant und solche mit $p \leq 0,001$ als höchst signifikant bezeichnet.

Der Vergleich der Stichproben (Männer und Frauen) hinsichtlich ihrer Mittelwerte der B-Flow Querschnittsflächenmessung (QSF) und der Geschwindigkeitsmessungen (PSV) erfolgt mit dem t-Test für unabhängige Stichproben (t-Test nach Student). Hierbei soll geklärt werden, ob sich das Auftreten von Mittelwertunterschieden mit zufälligen Schwankungen erklären lässt oder nicht. Im letzten Fall spricht man dann von einem signifikanten Unterschied.

Mit dem t-Test für abhängige Stichproben erfolgte die seitengewichtete Untersuchung der B-Flow Querschnittsflächenmessung (QSF) und der Geschwindigkeitsmessungen (PSV) innerhalb der Gesamtstichprobe und den Einzelstichproben.

Die Enge des Zusammenhangs (Korrelation) zwischen zwei Variablen, Alter/QSF und Alter/PSV, wurde mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet. Die Stärke des Zusammenhangs wird mit einer Maßzahl angegeben, die als Korrelationskoeffizient bezeichnet wird. Dieser Koeffizient, der als r symbolisiert wird, liegt zwischen -1 und $+1$. Ein starker Zusammenhang tendiert gegen 1 , ein schwacher Zusammenhang gegen 0 . Negative Korrelationskoeffizienten zeigen einen gegenläufigen Zusammenhang auf. Die Interpretation der Korrelationskoeffizienten ist im folgendem angegeben:

- bis 0,2 sehr geringe Korrelation
- bis 0,5 geringe Korrelation
- bis 0,7 mittlere Korrelation
- bis 0,9 hohe Korrelation
- über 0,9 sehr hohe Korrelation.

Anhand von Streudiagrammen mit Regressionsgeraden (lineare Regression) wird die Art des zuvor in der Korrelationsrechnung ermittelten Zusammenhangs veranschaulicht. Durch die angegebenen Regressionsgleichungen kann die entsprechende QSF oder PSV für jedes Alter errechnet werden.

Der Einfluss des Geschlechts und der Altersgruppen auf die Querschnittsflächenmessungen und der Einfluss des Geschlechts und der Altersgruppen auf die Geschwindigkeitsmessungen wird in einer multivariaten Varianzanalyse überprüft. Die Grundvoraussetzung einer untereinander bestehenden Korrelation der zu untersuchenden abhängigen Variablen (QSF und PSV) wurden zuvor überprüft. Die hier angewandte multivariate Varianzanalyse erfolgt nach dem allgemeinen linearen Modell.