

Aus der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie
der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. N. Roewer

**Systematische Erfassung sonographischer Befunde
der Halsgefäße bei Intensivpatienten**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät

der

Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Stephanie Jandl

aus Hattingen

Würzburg, September 2006

Referent: Professor Dr. C.-A. Greim

Korreferent: Professor Dr. N. Roewer

Dekan: Professor Dr. G. Ertl

Tag der mündlichen Prüfung: 08.01.2007

Die Promovendin ist Ärztin.

meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	4
2.1 Patienten	4
2.2 Gerät	4
2.3 Studienprotokoll und Datenerhebung.....	5
2.3.1 Tabellarische Übersicht	5
2.3.2 Darstellung der Vena jugularis interna	5
2.3.3 Sonographische Untersuchung	5
2.3.4 Speicherung der erhobenen Daten	6
2.3.5 Ausmessung der Halsregion	7
2.3.6 Sonstige Dokumentation.....	7
2.4 Auswertung der gespeicherten Sonographiebefunde.....	8
2.4.1 Gemessene Daten	8
2.4.2 Errechnete Daten	9
2.4.3 Intraobserver-Variabilität	10
2.4.4 Interindividuelle Variabilität	11
2.5 Statistische Auswertung.....	11
3 Ergebnisse	14
3.1 Patienten	14
3.2 Abmessungen der Halsregion.....	15
3.3 Lokalisation der zentralen Venenkatheter.....	16
3.4 Querschnittsfläche der VJI und der A. carotis communis	19
3.5 Inzidenz von Thromben und Plaques.....	21
3.6 Messvariabilität.....	22
3.6.1 Intraobserver-Variabilität	22
3.6.2 Interobserver-Variabilität	23
3.7 Statistischer Vergleich der Mittelwerte	23
3.7.3 Lineare Regression	29
4 Diskussion	30
4.1 Einleitung.....	30
4.2 Anatomie der großen Halsgefäße.....	31
4.3 Sonographie der grossen Halsgefäße.....	32
4.3.1 Qualitative Darstellung.....	32
4.3.2 Quantitative Darstellung.....	34
4.4 Variation des Gefäßdurchmessers der Vena jugularis interna	36
4.4.1 Maßnahmen	36
4.4.2 Sonstige Faktoren	40
4.4.3 Seitenunterschiede.....	40
4.5 Punktion der Vena jugularis interna	41
4.5.1 Lokalisation	41
4.5.2 Punktionsort.....	41
4.5.3 Ultraschallgestützte Punktion	42

4.6	<i>Komplikationen der ZVK-Anlage über die Vena jugularis interna</i>	44
4.6.1	Risiken der Blindpunktion	44
4.6.2	Katheterassoziierte Probleme	45
4.6.3	Vorteile der Ultraschallbildgebung	47
4.7	<i>Limitationen der vorliegenden Untersuchung</i>	48
4.7.1	Methodenkritik	48
4.7.2	Intraindividuelle Variabilität	48
4.7.3	Beobachtersvariabilität	49
4.8	<i>Fazit</i>	50
5	Zusammenfassung	51
6	Literatur	53
7	Anhang	64

Abkürzungen

A	Arteria
ACC	Arteria carotis communis
ACI	Arteria carotis interna
BMI	Body-Mass-Index
HF	Herzfrequenz
f	Atemfrequenz
m	Mittelwert
MOF	Multiorganversagen
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
PIP	p-Spitzendruck
RR	Blutdruck
RVJI	rechte Vena jugularis interna
SD	Standardabweichung
V	Vena
VJI	Vena jugularis interna
VT	Tidalvolumen
ZVD	zentralvenöser Druck
ZVK	zentralvenöser Katheter

1 Einleitung

Die Punktion der Vena jugularis interna (VJI) zur zentralvenösen Kannülierung ist in der Anästhesie und Intensivmedizin eine wichtige Maßnahme. Sie erlaubt beispielsweise die Messung des zentralvenösen Drucks, die Entnahme von Blut, die Hämodialyse und die Zufuhr von Medikamenten (z. B. Chemotherapeutika, Analgetika).

Häufig wird der Patient zum Legen eines zentralen Venenkatheters (ZVK) in eine Kopftieflage gebracht, um eine bessere Venenfüllung zu erzielen und das Risiko einer Fehlpunktion zu vermindern. Bei bestimmten Patienten, z.B. solchen mit erhöhtem intrakraniellen Druck oder einer manifesten Herzinsuffizienz, ist diese Maßnahme jedoch relativ oder absolut kontraindiziert. In der vorgestellten Studie sollte deshalb untersucht werden, inwieweit eine solche Lagerung mittels ultraschallgesteuerter Punktion vermeidbar ist und wie groß die Querschnittsfläche der VJI bei verschiedenen Lagerungen (0°-Rückenlage, in sitzender Position) und an unterschiedlichen Messpunkten ist.

Die Bildgebung mittels Ultraschall ist eine geeignete Methode, mit der die Lage und der Verlauf der großen Blutgefäße am Hals visualisiert (39) und die Größe der VJI sowie der Karotiden in vivo untersucht werden können. Zudem lässt sich mittels Ultraschall die Durchgängigkeit der Venen prüfen und eine Thrombose, Deformität oder andere Pathologie feststellen.

Für viele Kliniker ist der bevorzugte Zugang für die zentralvenöse Katheterisierung die Punktion der VJI, da sie leicht zugänglich ist und die Punktion an dieser Stelle wenige Komplikationen birgt. Bei der Punktion der VJI wurde gezeigt, dass die ultraschallgestützte der landmarkenorientierten (blinden) Punktion in einigen Aspekten überlegen ist. Das sonographische Monitoring erhöhte in mehreren Studien signifikant die Erfolgsrate der Punktion. Die Anzahl der Versuche sowie die Komplikationsrate und die benötigte Zeit konnten reduziert werden (14, 73).

Unabhängig von der genutzten Punktionstechnik (landmarken- oder ultraschallgesteuert) ist der Erfolg bei einer ZVK-Anlage umso wahrscheinlicher, je größer der Durchmesser der VJI ist (22, 35).

Mehrere Abhandlungen beschäftigten sich daher mit der Frage nach einer möglichen Größenzunahme der Halsgefäße durch bestimmte Lagerungstechniken und Manöver. So

werden u.a. die Kopftieflage variierenden Ausmaßes (15, 18, 28, 64), das Valsalva-Manöver (15, 17, 18, 62), die Leberkompression (24, 29) sowie ein positiver intrathorakaler Druck (24) zur erfolgreichen Größenzunahme der Halsvenen vorgeschlagen. Nach *Armstrong et al.* (18) hat das Valsalva-Manöver zwar den größten Effekt, dieser kann aber auch bei intubierten und beatmeten Patienten gut durch einen positiven endexpiratorischen Beatmungsdruck erzielt werden.

Die bisher vorliegenden Studien zum Einsatz der Ultraschallbildgebung bei der zentralvenösen Kannülierung wurden größtenteils an gesunden Probanden durchgeführt. Vergegenwärtigt man sich, dass intensivmedizinisch versorgte Patienten fast alle einen zentralvenösen Zugang benötigen, so stellt sich die Frage, inwieweit die Ultraschallbildkontrolle bei der Punktion der VJI bei diesen Patienten eine Kopftieflage (Trendelenburg-Position), ein Valsalva-Manöver oder andere Maßnahmen zur Erhöhung des VJI-Durchmessers erübrigt. Klinische Relevanz erhalten die Bedenken zu diesen Maßnahmen z.B. bei Patienten, die eine geringe pulmonale Reserve haben und bei denen der Druck der viszerale Organe auf das Zwerchfell in Kopftieflage die funktionelle Residualkapazität der Lunge reduziert (32). *Suarez et al.* zeigten bei kardial kranken Patienten, dass sich in Kopftieflage zudem der myokardiale Sauerstoffverbrauch erhöht und selbst eine geringgradige Trendelenburg-Position zur myokardialen Ischämie führen kann (32). Bei Patienten mit pathologisch erhöhtem Hirndruck ist die Kopftieflage darüber hinaus absolut kontraindiziert.

Um die Kopftieflage bei kritisch kranken, beatmeten Patienten zu vermeiden, sollte eine Intervention wie die zentralvenöse Kannülierung daher bei hinreichender Volumenfüllung der Halsgefäße und in halbsitzender bis sitzender Position durchgeführt werden. Wie sich die Gefäße in aufrechter Position des Patienten verhalten, ist in klinischen Studien bisher noch nicht systematisch untersucht worden. In der Arbeit von *Brederlau et al.* (60) wird lediglich gezeigt, dass bei intubierten und beatmeten Patienten mit Hilfe von Ultraschall eine Punktion der VJI unter Verzicht auf die Kopftieflage in halbsitzender Position erfolgreich durchgeführt werden kann.

Die vorliegende Studie wurde dahingehend konzipiert, die Auswirkung der ventilatorgesteuerten In- und Expiration und den Einfluss unterschiedlicher Lagerung (liegend und aufrecht sitzend) auf den Durchmesser beider VJI (rechts vs. links) bei sedierten und beatmeten Patienten zu untersuchen und eine eventuelle Abhängigkeit

zwischen Gefäßgröße und Alter, Geschlecht, BMI, Blutdruck, PEEP, Halsumfang oder ZVD festzustellen.

Zudem sollten praktisch relevante Informationen über die Tiefe im Gewebe, die Lage und den Verlauf sowie die Lagebeziehung der großen Blutgefäße am Hals gesammelt werden. Außerdem galt es Komplikationen der zentralvenösen Katheterisierung wie z.B. die partielle Thrombosierung der Venen oder adhärenter Thromben am Katheter zu erkennen.

2 Material und Methoden

2.1 Patienten

Die Daten der hier vorgestellten prospektiven Studie wurden zwischen Dezember 2003 und August 2004 auf den Intensivstationen der Kliniken für Anästhesiologie und Chirurgie des Universitätsklinikums Würzburg als Teil der klinischen Routinüberwachung erhoben. Aufgenommen in die Studie wurden endotracheal intubierte und beatmete Patienten mit einem Alter > 18 Jahre, die wegen eines operativen Eingriffs oder aus anderer Ursache intensivmedizinisch behandelt werden mussten und über eine Vena jugularis interna (VJI) bzw. Vena subclavia mit einem Zentralen Venenkatheter (ZVK) versehen waren (siehe Tab. 3.3). Ausgeschlossen von der Studie wurden Patienten mit bekannter oder erkennbarer Gesichts- oder Halsdysplasie bzw. anomalen anatomischen Verhältnissen, pathologisch erhöhtem Hirndruck (>16mmHg), sowie Patienten nach einer Mund-Kiefer-Gesichts-Operation oder einem hals-nasen-ohrenärztlichen Eingriff. Aus hygienischen Gründen wurde auch auf den Einschluss von Patienten mit einer hochkontagiösen oder therapieresistenten Infektion verzichtet.

2.2 Gerät

Alle Untersuchungen wurden mit einem so genannten „hand-held“-Ultraschallgerät durchgeführt (Sonosite 180 Plus, Fa. SonoSite, Erlangen D). Eingesetzt wurde ein 38mm Breitband-Linear-Array-Schallkopf mit einer Frequenz von 10-5 MHz. Als Konfigurationsmuster des Geräts wurden die Einstellungen für die Gefäß- und Mammadiagnostik gewählt.

Das Ultraschallgerät ist mit einem in der Horizontalebene verstellbaren LCD-Monitor versehen und wiegt lediglich 2,5 kg. Seine Außenmaße betragen ca. 34*19*6 cm (ohne Kabel, Transducer und Docking-Station). Es ist mit Batteriebetrieb ausgestattet und kann daher ohne Netzanschluss verwendet werden. Das Gerät verfügt über einen dynamischen Bereich um die 140 dB und über eine Bildfrequenz bis zu 100 Bildern pro Sekunde. Es ist mit einem Farb-Power-Doppler und Pulsed-Wave-Doppler ausgestattet, die in Zweifelsfällen zur Gefäßidentifikation genutzt werden können. Über eine Speicherfunktion lassen sich bis zu 120 Bilder im Bitmap-Format speichern, mit der Option sie später auszudrucken oder mit entsprechender Software direkt auf den Computer zu übertragen.

2.3 Studienprotokoll und Datenerhebung

2.3.1 Tabellarische Übersicht

- Sonographische Untersuchung der Durchmesser der Halsgefäße in Rückenlage und in 45°-Oberkörper-Hochlagerung.
- Ausmessung der Halsregion mittels eines Maßbandes.
- Klinische Untersuchung des Patienten auf Karotispuls, Ödeme, Emphysem.
- Dokumentation von Krankheitsbildern (Sepsis, MOF), bestimmter Vorerkrankungen (pAVK, Strumektomie), Vital- und Beatmungsparametern.
- Speicherung der erhobenen Daten.

2.3.2 Darstellung der Vena jugularis interna

Im ersten Schritt der Datenerhebung wurde die VJI sonographisch lokalisiert. Als Landmarke zur Orientierung diente die Arteria carotis communis (ACC), die leicht an ihrer tubulären und zirkulären pulsierenden Struktur zu erkennen und im lateralen Halsdreieck auffindbar war. Die Vene wurde anhand der vermuteten Lokalisation meistens lateral zur ACI und anhand ihres oval bis runden, manchmal konkaven Querschnitts identifiziert. Insbesondere war sie durch die atemabhängige Größenveränderung des Lumens von der ACI abzugrenzen. Ihre Verformbarkeit unter leichtem Druck des Schallkopfes und der komplette Kollaps des Lumens unter stärkerem Druck waren ein hilfreiches Charakteristikum. Schwierigkeiten beim Ausfindigmachen der Vene traten bei einer geringen Venenfüllung auf, die bei der Inspiration des kontrollierten Beatmungszyklus teilweise kompensiert wurde. Als Hilfsmittel zur Identifikation der VJI diente auch der Farb-Doppler-Mode des Sonographiegeräts, mit dem der Blutfluss auf dem Monitor farbig markiert zur Darstellung kam und der die Abgrenzung der VJI zu den umgebenden soliden Strukturen (Lymphknoten, Tumor, Muskel) erleichterte.

2.3.3 Sonographische Untersuchung

Die Untersuchung erfolgte nach einem festen Schema, um eine optimale Reproduktionsmöglichkeit zu gewährleisten und mögliche Fehlerquellen zu minimieren. Während der Untersuchung war der beatmete Patient auf dem Rücken zunächst flach (0°)

und später mit erhobenem Oberkörper (45°) gelagert. Der Kopf war in neutraler Position axial ausgerichtet, um Venendeformitäten zu vermeiden.

Für die Untersuchung wurde der oben beschriebene lineare Schallkopf eingesetzt. Um eine Infektion an der ZVK-Einstichstelle zu verhindern, wurde das Schallkopffenster mit Ultraschallgel bestrichen und ein steriler Handschuh übergestülpt. Zur Verbesserung der Leitfähigkeit zwischen dem Handschuh und der Haut des Patienten wurde die Haut des Patienten während der Untersuchung wiederholt mit einem Hautdesinfektionsmittel (Cutasept®) eingesprüht.

Auf Höhe des Ringknorpels als konstante anatomische Landmarke aller Patienten wurde der Schallkopf zuerst auf der dem ZVK gegenüberliegenden Seite senkrecht mit möglichst wenig Druck aufgesetzt, um die Jugularvenen nicht zu verformen. In dieser Ausgangslage wurden Sonogramme der VJI und der ACC in maximaler Inspiration und in maximaler Expiration auf der Festplatte des Sonographiegeräts gespeichert (Bildbeispiel 7.2 im Anhang). Die Einstellung und Bildspeicherung wurde drei Zentimeter oberhalb des Ringknorpels wiederholt. Anschließend wurde der Schallkopf gedreht und eine sagittale Darstellung der VJI und ACC ebenfalls erst in maximaler Inspiration und dann in maximaler Expiration gespeichert (s. Abb. 1.3).

Auf der Halsseite des Patienten, auf der sich der ZVK befand, wurden daraufhin dieselben Einstellungen vorgenommen und ebenfalls gespeichert. Zusätzlich wurden die Lage und der Verlauf des ZVK befundet und registriert (s. Abb. 7.1).

Anschließend wurde der Patient um 45° mit dem Oberkörper aufgerichtet. In dieser sitzenden Position - der Kopf befand sich auch hierbei in neutraler Stellung, d.h. 0°-Drehung – wurden erst auf der Seite des ZVK, dann auf der gegenüberliegenden Seite in gleicher Weise die Einstellungen vorgenommen und die Sonogramme zur späteren Auswertung gespeichert.

Bei der sonographischen Darstellung der ACC wurde auf eventuelle Plaquebildung bzw. eine Wandverdickung sowie auf das Vorhandensein von Thromben geachtet und diese ggf. sonographisch dokumentiert (s. Abb. 7.3-7.8).

2.3.4 Speicherung der erhobenen Daten

Im Anschluss an die Untersuchung und Dokumentation wurden die gespeicherten Bilder direkt vom Sonosite 180 auf ein Notebook (Prozessor: Pentium 3, 450MHz;

Hauptspeicher: 64,0MB RAM; Festplatte: 6GB; Betriebssystem: Mikrosft Windows 98) übertragen und später mit Hilfe einer speziellen Software (SiteLink-Image-Manager®, Fa. SonoSite, Erlangen, D) ausgewertet.

2.3.5 Ausmessung der Halsregion

Mit Hilfe eines locker um den Hals gelegten Maßbandes wurde die Halsregion des flach auf dem Rücken liegenden Patienten auf Ringknorpelhöhe vermessen und die Daten in dem Untersuchungsbogen vermerkt.

Folgende Strecken wurden ausgemessen: 1. Der Abstand vom Mastoid der Seite der Punktion zur Eintrittsstelle des ZVK [d], vom rechten sowie linken Mastoid zum jeweils rechten, bzw. linken Sternoclavilulargelenk [f] und vom rechten, sowie linken Mastoid zur Mitte der Oberkante des Manubrium sterni [e], 2. die Strecke von der Punktionsstelle des ZVK bis zum Punkt, in dem sich die Senkrechte der Eintrittsstelle des ZVK mit der Waagerechten durch die Mitte des Ringknorpels schneiden [a], 3. die Strecke zwischen dem Oberrand des Manubrium sterni und dem Mittelpunkt des Ringknorpels [b], sowie 4. die waagerechte Strecke zwischen der Punktionsstelle und dem Median durch den Ringknorpel [c].

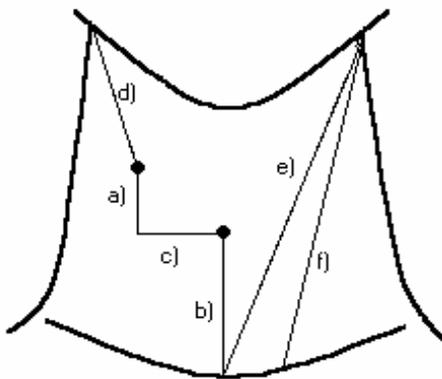


Abb.1.1: Messungen in der Halsregion

2.3.6 Sonstige Dokumentation

Zusätzlich wurden die hämodynamischen Daten und die während der Untersuchung eingestellten Beatmungsparameter registriert. Diese waren im Einzelnen:

Der systolische, mittlere und diastolische Blutdruck (SAP, MAP und DAP),
die Herzfrequenz (HF),
das Tidalvolumen (VT),
die Atemfrequenz (f),
das Verhältnis der In- zur Expiration (I:E),
der positive endexpiratorische Druck (PEEP),
der Beatmungs-Spitzendruck (PIP),
und der zentralvenöse Druck (ZVD).

Die Daten wurden der Krankenkurve entnommen, bzw. direkt vom Überwachungsmonitor abgelesen.

Daneben wurden die für die Intensivbetreuung und die Untersuchung relevanten Krankheitsbilder (z.B. Sepsis, Multiorganinsuffizienz) und Operationen (z.B. pAVK, Halsoperationen) in den Dokumentationsbogen aufgenommen, ebenso das bekannte oder geschätzte Gewicht und die Körpergröße des Patienten.

Die Seite, Anzahl und Art (Pulmonalis-, Shaldonkatheter, ZVK) des Katheters wurde in dem Bogen niedergeschrieben und der Verlauf des Katheters als wandständig oder zentral registriert. Des Weiteren wurde im Datenbogen eingetragen, ob der Patient aktuell vorpunktiert worden war, d.h. ob er während dieses Krankenhausaufenthaltes mit einem zum Zeitpunkt der Untersuchung schon wieder entfernten ZVK der Halsgefäße versorgt worden war.

2.4 Auswertung der gespeicherten Sonographiebefunde

2.4.1 Gemessene Daten

Anhand der gespeicherten Querschnittsbilder wurden die orthogonal zueinander stehenden Innendurchmesser der rechten und linken VJI manuell vermessen, und zwar auf Höhe aller registrierten Messorte zu den Endpunkten der Inspiration und der Expiration. Zusätzlich wurde der Durchmesser beider VJI in der sagittalen Sonographie-Schnittebene der Gefäße gemessen.

In den gespeicherten Transversal-Schnittbildern wurde am Computer außerdem das Lot von der Hautoberfläche zum Mittelpunkt der Vena jugularis interna rechts und links gefällt und die entsprechenden Strecken auf Ringknorpelhöhe in maximaler Inspiration gemessen.

Auch in der sagittalen Schnittebene wurde das Lot von der Hautoberfläche zum Eintrittspunkt des Katheters in die VJI [A] gefällt und die Strecke vermessen. Ebenfalls gemessen wurde die Strecke vom Eintritt des Katheters in die Haut bis zum auf die Hautoberfläche projizierten Eintritts des Katheters in die Vene [B].

Über den mathematischen Satz des Pythagoras ($a^2+b^2=c^2$) wurde die Verlaufsstrecke des Katheters im Gewebe vom Durchtritt des Katheters durch die Haut bis zu seinem Eintritt in das Gefäß als Näherungswert errechnet [C].

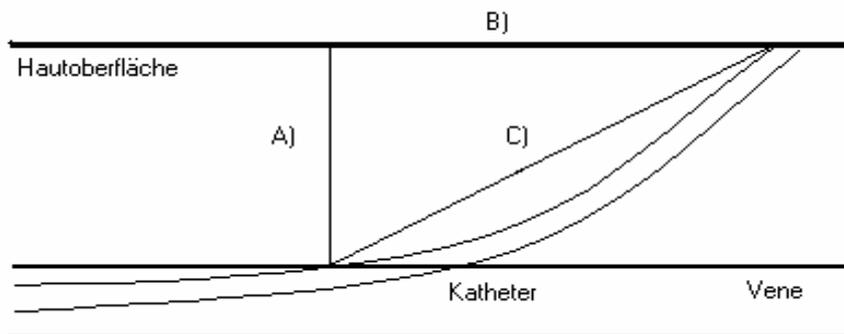


Abb.1.2: Schematische Darstellung des Verlaufs des ZVK im Gewebe

2.4.2 Errechnete Daten

In der transversalen Schnittebene wurden zwei orthogonale Durchmesser (D1 und D2) der VJI und ACC gewonnen. Aus den Durchmessern wurde die Gefäßflächen mit der Formel zur Berechnung des Flächeninhalts (A) einer Ellipse: πab berechnet, wobei a) und b) die Halbachsen der Gefäße ($a=D1/2$, $b=D2/2$) darstellen. In der sagittalen Schnittebene wurde hingegen nur ein Durchmesser (D3) der VJI gewonnen. Auch hier wurden mittels der Formel πab die Flächen ausgerechnet. In diesem Fall war $a=b=D3/2$.

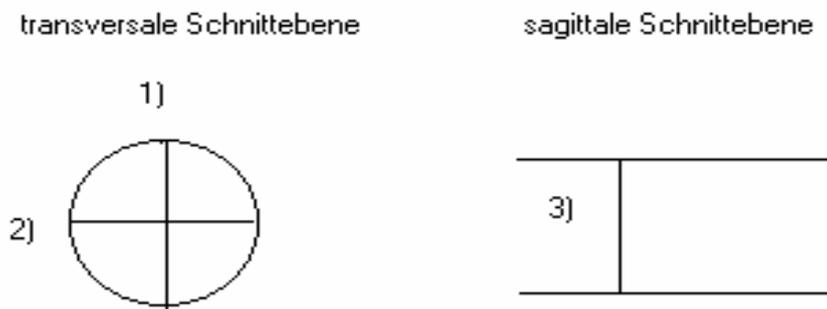


Abb. 1.3) Darstellung der Schnittebenen der V. jugularis interna; 1-3: gemessene Durchmesser

2.4.3 Intraobserver-Variabilität

2.4.3.1 Zweimalige Erhebung der Messwerte

Bei sieben Patienten wurde die Untersuchung vom selben Untersucher innerhalb von 4 Stunden bis zu 5 Tagen ein zweites Mal durchgeführt. Die Flächen der VJI und der ACC wurden bestimmt und mit den vorher ermittelten Flächen mittels abhängiger t-Tests verglichen. Insgesamt wurden 20 abhängige t-Tests durchgeführt.

Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wurden als signifikant eingestuft, p-Werte $< 0,01$ als hoch signifikant.

2.4.3.2 Zweimalige Ausmessung der Sonogramme

Bei zehn zufällig ausgewählten Patienten wurden nach dreizehn Monaten die abgespeicherten Sonographiebefunde nochmals vermessen. Bestimmt wurde der Durchmesser der VJI und der ACC, wie bei der ursprünglichen Auswertung. Aus diesen Daten wurden die Flächen der Gefäße berechnet, die mit den primär erhobenen mittels abhängiger t-Tests verglichen wurden. Hierzu wurden Paare gebildet zwischen Werten der ersten und denen der zweiten Messung, die unter den gleichen Bedingungen erhoben worden waren.

Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wurden als signifikant eingestuft, p-Werte $< 0,01$ als hoch signifikant.

2.4.4 Interindividuelle Variabilität

Unter Interobserver-Variabilität ist die bei zwei Beobachtern auftretende Variabilität der Messergebnisse zu verstehen.

Alle Sonogramme der VJI wurden zu einem späteren Zeitpunkt von einem „geblindeten“ Untersucher auf Thromben, arterielle Plaques und Wandverdickungen geprüft. Der zweite Untersucher hatte außer der Uhrzeit der Untersuchung (dem Dateinamen) und dem Datum auf dem Standbild keine weiteren Informationen, wohingegen der erste Untersucher die einzelnen Einstellungen während einer dynamischen Untersuchung des Patienten vorgenommen hatte und demnach wusste, um welchen Patienten und um welche Halsseite es sich handelte. Ausgedrückt wurde die Interobserver-Variabilität als x/n , mit x = Anzahl der Unterschiede der Ergebnisse zwischen Untersucher eins und zwei, und n = Anzahl der Untersuchungen.

2.5 Statistische Auswertung

2.5.1 Hypothesen

Die Nullhypothese H01 lautete: Die Querschnittsflächen der VJI unterscheiden sich nicht an unterschiedlichen Messorten (rechte und linke Seite, Ringknorpelhöhe und drei cm oberhalb des Ringknorpels) und unter unterschiedlichen Bedingungen (Inspiration und Expiration, Liegen und Sitzen). Die Alternativhypothese HA1 lautete: Der Messort und die äußeren Bedingungen beeinflussen die Querschnittsfläche der VJI.

Die Nullhypothese H02 lautete: Die Querschnittsflächen der A. carotis communis unterscheiden sich nicht an unterschiedlichen Messorten (rechte und linke Seite) und unter unterschiedlichen Bedingungen (Liegen und Sitzen). Die Alternativhypothese HA2 lautete: Der Messort und die äußeren Bedingungen beeinflussen die Querschnittsfläche der A. carotis communis.

Die Nullhypothese H03 lautete: Das Geschlecht, Alter, BMI, Halsumfang, PEEP und der Blutdruck haben keinen Einfluss auf den Gefäßdurchmesser der VJI. Die Alternativhypothese HA3 besagte: Die oben aufgeführten Faktoren beeinflussen die Querschnittsfläche der VJI.

Die Nullhypothese H04 lautete: Die VJI liegt auf der rechten sowie linken Seite gleich tief im Gewebe. Die Alternativhypothese HA4 lautete: Es gibt einen Unterschied der Gefäßtiefe zwischen Rechts und Links.

Die Nullhypothese H05 lautete: Die Tiefe der VJI im Gewebe ist unabhängig vom Halsumfang. Die Alternativhypothese HA5 lautete: Abhängig vom Halsumfang variiert die Lage der VJI im Gewebe (Abstand gemessen von der Hautoberfläche).

Die Nullhypothese H06 lautete: Die Inzidenz von Thromben ist unabhängig von Faktoren wie Katheterverlauf und ZVD, sowie von Erkrankungen wie Sepsis und MOF. Die Alternativhypothese HA6 lautete: Die aufgeführten Faktoren und Erkrankungen haben einen Einfluss auf die Häufigkeit von Thromben.

2.5.2 Prüfung der Hypothesen

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS® Version 11.5 für Windows (SPSS Incorporation, Chicago, IL, USA) und Microsoft Excel® 2000.

Zur Prüfung der Hypothese H1 wurde eine Varianzanalyse (allgemeines lineares Modell – Messwiederholung) durchgeführt. Dabei wurden als sog. Intersubjekt konstanten die Körperseite (rechts, links), die Beatmungsphase (Inspiration, Expiration), die Position (0°-, 45°-Position), und das Messniveau am Hals (Ringknorpelhöhe, drei cm oberhalb des Ringknorpels) eingegeben. Der Einfluss des Geschlechts (Hypothese H3) wurde über den Test des Zwischensubjektfaktors getestet.

Die Hypothese H2 wurde ebenfalls mit Hilfe einer Varianzanalyse (allgemeines lineares Modell – Messwiederholung) geprüft. Hierbei wurden als Intersubjekt konstante die Seite (rechts, links) und Position (0°-,45°-Position) gewählt. Der Einfluss des Geschlechts (Hypothese H3) wurde auch hier über den Test des Zwischensubjektfaktors getestet.

Um einen möglichen Zusammenhang und die Art des Zusammenhangs der unabhängigen Variablen (Geschlecht, Alter, BMI, Halsumfang, PEEP und Blutdruck) mit der Querschnittsfläche der VJI festzustellen (Testung der Hypothese H3), wurden lineare Regressionsanalysen durchgeführt.

Die Hypothese H4 wurde mit dem t-Test für gepaarte Stichproben getestet, nach Prüfung der Variablen auf Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov- Tests.

Um eine Abhängigkeit zwischen dem Halsumfang und der Gefäßtiefe zu erfassen und um eine Aussage über Art und Grad des möglichen Zusammenhanges treffen zu können, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt (Prüfung der Hypothese H5), bei der die Gefäßfläche die abhängige und der Halsumfang die unabhängige Variable darstellten. Es wurde das Bestimmtheitsmaß (R^2) bestimmt, dessen Aussage lautet: Je näher der Wert von R^2 an 1 liegt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit eines linearen Zusammenhanges. Im Falle von $R^2 = 0$ liegt kein Zusammenhang vor. Das Bestimmtheitsmaß stellt also eine Maßzahl für die Güte der Anpassung dar.

Die Signifikanztestung von Häufigkeiten und Prozentuierungen wurden mittels Chi²-Test durchgeführt. Es wurde getestet, ob bei Patienten mit Sepsis, Multiorganversagen, einem ZVD über 12 cm H₂O bzw. einem wandständigen Katheterverlauf eine höhere Inzidenz von Thromben vorliegt (Hypothese H6).

Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wurden als signifikant eingestuft, p -Werte $< 0,01$ als hoch signifikant.

Wenn nicht anders angegeben, sind die angeführten Daten in der vorliegenden Arbeit als Mittelwerte \pm Standardabweichung ($m \pm SD$) angegeben.

3 Ergebnisse

3.1 Patienten

Insgesamt wurden 101 intubierte und beatmete Patienten in die vorliegende Studie aufgenommen. Das Durchschnittsalter des Gesamtkollektivs lag bei 60 ± 17 Jahren ($m \pm SD$), der jüngste teilnehmende Patient war 19 Jahre, der älteste Patient 94 Jahre alt. 68 Patienten (67%) waren männlichen und 33 Patienten (33%) weiblichen Geschlechts. Die Körpergröße betrug durchschnittlich 174 ± 11 cm (männliche Patienten: 179 ± 13 cm; weibliche Patienten 164 ± 7 cm). Das Körpergewicht lag durchschnittlich bei 79 ± 18 kg (männliche Patienten: 84 ± 17 kg; weibliche Patienten: 68 ± 13 kg) (Tab. 3.1). Die Einflussgrößen auf den Gefäßstatus (Halsgefäßdurchmesser) und dessen sonographische Beurteilbarkeit sind Tabelle 3.2 zu entnehmen.

Tabelle 3.1: Biometrische Patientendaten; SD = Standardabweichung

	Mittelwerte	SD	Mittelwerte	SD	Mittelwerte	SD
	Gesamtkollektiv (n=101)		männlich (n=68)		weiblich (n=33)	
Geschlecht						
Alter (Jahre)	60,33	16,55	58,90	16,73	63,27	16,03
Körpergröße (cm)	174,46	10,98	179,40	9,00	161,80	6,97
Gewicht (kg)	78,97	17,52	84,21	17,06	68,18	13,08

Tabelle 3.2: Einflussgrößen auf den Gefäßstatus (Halsgefäßdurchmesser) und dessen sonographische Beurteilbarkeit (n = 101).

Indikation	Häufigkeit	Prozent
pAVK	11	10,9
Strumektomie	3	3
Periphere Ödeme	23	22,8
Emphysem	2	2
Sepsis	13	12,9
Multiorganversagen	2	2

Die durchschnittlichen hämodynamischen und respiratorischen Daten sind in Tabelle 3.3 aufgeführt.

Tab. 3.3: Hämodynamische und respiratorische Daten aller Patienten während der sonographischen Messwerterhebung in Horizontallage; $m \pm SD$ = Mittelwert \pm Standardabweichung

Hämodynamische Daten	
Herzfrequenz (1/min)	80,25 \pm 18,48
RR syst. (mmHg)	128,83 \pm 21,71
RR diast. (mmHg)	65,26 \pm 10,91
RR mittl. (mmHg)	86,45 \pm 12,05
ZVD (cm H ₂ O)	14,90 \pm 5,39
Respiratorische Daten	
Tidalvolumen (ml)	618,90 \pm 135,99
Atemfrequenz (1/min)	12,34 \pm 6,02
Insp. Spitzendruck (mmHg)	23,32 \pm 3,94
PEEP (mmHg)	11,30 \pm 2,76

Bei 14 der 101 Patienten (13,9%) konnte die Untersuchung nicht komplett durchgeführt werden. In drei Fällen war die mit einem Venenkatheter kannülierte VJI drei Zentimeter oberhalb des Ringknorpels aufgrund des Schallschattens des Katheters nicht darstellbar. In zwei Fällen war die rechtsseitige und das andere Mal die linksseitige VJI betroffen. Bei einem Patienten war die Untersuchung aufgrund eines ausgeprägten Emphysemthorax mit extrem kurzem Hals in der vorgegebenen Form nicht möglich. Bei weiteren sechs Patienten wurde wegen einer bestehenden Instabilität der Wirbelsäule oder des Beckens oder einer kürzlich durchgeführten Lebertransplantation auf die Untersuchung in 45°-Position verzichtet. In einem anderen Fall war die Untersuchung der linken Seite auf Höhe des Ringknorpels wegen eines Gilchrist-Verbandes und zudem schwierigen anatomischen Verhältnissen nicht möglich.

Bei allen Patienten war der Karotispuls auf beiden Seiten gut tastbar.

3.2 Abmessungen der Halsregion

Der durchschnittliche Halsumfang der Patienten betrug 48 ± 6 cm (geringster Umfang: 35 cm, größter Umfang: 61 cm). Vom Mastoid zum Sternoclavikulargelenk [f] betrug die Strecke 17 ± 2 cm und zum Manubrium [e] 19 ± 2 cm. Der Abstand vom Ringknorpel zum Manubrium [b] betrug im Durchschnitt 4 ± 1 cm.

Bei Vorhandensein von einem Katheter betrug im Mittel die Strecke vom Mastoid zur Punktionsstelle [d] 9 ± 2 cm. Der Höhenunterschied zwischen der Punktionsstelle und

dem Ringknorpel [a] war 3 ± 1 cm. Gemessen von der Mittellinie lag die Punktionsstelle [c] durchschnittlich 8 ± 1 cm lateral (siehe Abbildung 3.1)

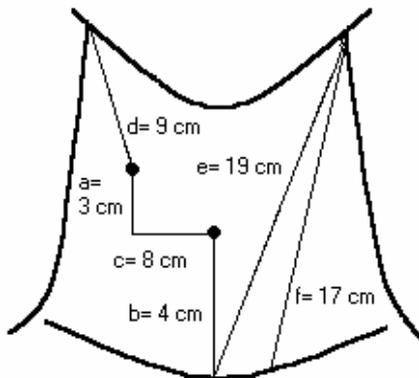


Abb. 3.1: Ausgemessene Strecken in der Halsregion (Mittelwerte)

Das Lot von der Haut zum Mittelpunkt der Vene betrug auf der rechten Seite durchschnittlich $2,1 \pm 0,4$ cm, links $1,9 \pm 0,4$ cm. Bei Normalverteilung der Variablen (Kolmogorov-Smirnov-Test für die rechte Seite 0,68, für die linke Seite 0,59) wurde mittels des gepaarten T-Tests ($p < 0,001$) ein hoch signifikanter Unterschied zwischen der rechten und linken Seite beobachtet (Hypothese 4).

Der kürzeste mittlere Abstand [A] von der Hautoberfläche bis zum Eintritt des Katheters in die Vene (Lot) maß $1,4 \pm 0,4$ cm. Die Strecke vom Eintritt des Katheters in die Haut bis zum Schnittpunkt des Lots mit der Haut betrug $1,8 \pm 0,4$ cm [B]. Die Verlaufsstrecke des Katheters im Gewebe [C] betrug im Mittel $2,3 \pm 0,5$ cm (siehe Abbildung 1.2).

3.3 Lokalisation der zentralen Venenkatheter

Bei 100 von 101 Patienten war ein ZVK in situ vorhanden. In 56,4% ($n = 57$) der Fälle lag der Katheter in der rechten VJI, bei 9,9% ($n = 10$) in der linken VJI. Versorgt mit einem Katheter in der Vena suclavia rechts waren 5% ($n = 5$), links 7,9% ($n = 8$). Bei 4% ($n = 4$) der Untersuchten war die rechte VJI mit einem Shaldon-Katheter kannüliert.

Mit mehr als einem zentralen Venenkatheter versorgt waren 15,8% ($n = 16$) Patienten, wovon bei 4 Patienten die rechte sowie die linke VJI kannüliert waren. Bei drei Patienten

war die rechte VJI und die linke V. subclavia, bei zwei Patienten sowohl die rechte VJI als auch die rechte V. subclavia als Zugangsweg gewählt worden. In nur einem Fall waren die linke VJI und die rechte V. subclavia punktiert worden. Die prozentuale Verteilung der Katheterlagen ist der Tabelle 3.4 zu entnehmen.

Tabelle 3.4: Prozentuale Verteilung der Katheterlage

Katheter und Lokalisation	Häufigkeit	Prozent
kein Katheter	1	1,0
ZVK VJI rechts	57	56,4
ZVK VJI links	10	9,9
ZVK Vena subclavia rechts	5	5,0
ZVK Vena subclavia links	8	7,9
Shaldon VJI rechts	4	4,0
ZVK und Shaldon oder Pulmonalkatheter VJI rechts	6	5,9
Shaldon, Pulmonalisschleuse, Cavaschirm VJI rechts & ZVK VJI links	3	3,0
Shaldon und Pulmonalkatheter VJI rechts & ZVK Vena subclavia links	2	2,0
Shaldon VJI rechts & Shaldon Vena subclavia links	1	1,0
ZVK VJI rechts & Shaldon Vena subclavia rechts	1	1,0
Shaldon VJI rechts & ZVK Vena subclavia rechts	1	1,0
ZVK und Pulmonalkatheter VJI rechts & Shaldon VJI links	1	1,0
ZVK VJI links & ZVK Vena subclavia rechts	1	1,0

ZVK = Zentraler Venenkatheter; VJI = Vena jugularis interna

Der ZVK lag bei 12 Patienten (11,9%) zentral im Gefäßlumen der VJI, bei 67 Patienten (66,3%) wandständig im Lumen der VJI und bei zwei Patienten, die mit mehreren zentralen Kathetern versorgt waren, war sowohl ein zentraler, wie auch wandständiger Verlauf zu beobachten. In 11,9% (n = 12) der Fälle lag der Katheter in der V. subclavia, und es war daher keine Beurteilung des Katheterverlaufs möglich. Bei den restlichen 6,9% (n = 7) war der intravasale Verlauf des Katheters sonographisch nicht beurteilbar. (s. Tab. 3.5)

Tabelle 3.5: Lokalisation und Verlauf der zentralen Venenkatheter unter Berücksichtigung einer Thrombusbildung in der VJI und einer aktuellen Vorpunktion des Patienten

Lokalisation und Verlauf der Katheter	ohne Thrombus		mit Thrombus		gesamt
	aktuell nicht vorpunktiert	aktuell vorpunktiert	aktuell nicht vorpunktiert	aktuell vorpunktiert	
VJI: zentral	7	0	3	2	12
VJI: wandständig	43	4	19	1	67
VJI: zentral & wandständig (mehrere Katheter)	2	0	0	0	2
VJI: nicht beurteilbar ob zentral oder wandständig	6	0	0	1	7
V. subclavia	8	1	0	3	12
kein Katheter	1	0	0	0	1
gesamt	67	5	22	7	101

Aktuell vorpunktiert, d.h. während dieses Krankenhausaufenthaltes mit einem zum Zeitpunkt der Untersuchung schon wieder entfernten ZVK waren 11,9% (12) des Kollektivs versorgt worden. Vier Patienten hatten im Vorfeld einen ZVK in der VJI rechts. Weiterhin war bei einem Patienten die VJI links vorpunktiert und aktuell Fremdmaterial in der VJI rechts und der V. subclavia links. In zwei Fällen war eine Vorpunktion der V. subclavia erfolgt. Bei fünf Patienten lagen keine genauen Angaben über eine Vorpunktion vor.

3.4 Querschnittsfläche der VJI und der A. carotis communis

Aus dem sonographisch ermittelten Durchmesser der Halsgefäße wurden die in Tabelle 3.6 und Tabelle 3.7 zusammengefassten Gefäßquerschnittsflächen errechnet. Beim Vergleich der Mittelwerte für die Flächen der VJI in Inspiration mit denen in Expiration zeigte sich, dass die VJI auf allen Halshöhen sowohl in Horizontallage als auch in halbsitzender Position während der Inspiration größer waren als während der Expiration. Die Unterschiede waren durchgehend signifikant.

Tabelle 3.6: In der transversalen bzw. sagittalen Schnittebene ermittelte Querschnittsflächen der VJI auf Höhe des Ringknorpels (R1 bzw. R3) und 3 cm oberhalb (R2 bzw. R4) unter verschiedenen Lagerungs- und Beatmungsbedingungen, Angaben in cm²; m ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung; #p < 0.01 vs. 0°

Region	Seite	Lagerung	Inspiration (m ± SD)	Expiration (m ± SD)	Signifikanz (p) * Insp. vs. Exsp.
R1	rechts	0°	1,93±1,02	1,72±1,00*	< 0,01
		45°	1,62±0,93#	1,26±0,82*#	< 0,01
	links	0°	1,45±0,71	1,29±0,66*	< 0,01
		45°	1,08±0,60#	0,83±0,56*#	< 0,01
R2	rechts	0°	1,25±0,57	1,11±0,57*	< 0,01
		45°	1,06±0,60#	0,81±0,58*#	< 0,01
	links	0°	0,95±0,49	0,85±0,46*	< 0,01
		45°	0,73±0,43#	0,55±0,40*#	< 0,01
R3	rechts	0°	1,25±0,61	1,07±0,57*	< 0,01
		45°	0,92±0,49#	0,75±0,54*#	< 0,01
	links	0°	0,86±0,45	0,75±0,43*	< 0,01
		45°	0,62±0,40#	0,50±0,39*#	< 0,01
R4	rechts	0°	1,17±0,67	1,01±0,63*	< 0,01
		45°	0,84±0,51#	0,62±0,42*#	< 0,01
	links	0°	0,78±0,43	0,66±0,42*	< 0,01
		45°	0,57±0,39#	0,39±0,33*#	< 0,01

Tabelle 3.7: Querschnittsflächen der Arteria carotis communis auf Höhe des Ringknorpels in Inspiration unter verschiedenen Lagerungsbedingungen, Angaben in cm²; m ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung

Seite	Lagerung	m ± SD
rechts	0°	0,43 ± 0,17
	45°	0,43 ± 0,16
links	0°	0,44 ± 0,16
	45°	0,42 ± 0,14

Die Signifikanzberechnungen zeigten ferner, dass der Gefäßdurchmesser der VJI in der 45°-Lage während der Expiration erwartungsgemäß kleiner als in Horizontallage war. In der Inspirationsphase war dieser Unterschied weniger deutlich.

Die Gefäßflächen der rechten Seite waren unabhängig von der Lagerung tendenziell größer als die der linken, und errechneten sich in der transversalen Schnittebene größer als in der sagittalen.

Die größte durchschnittliche Gefäßfläche der VJI fand sich auf der rechten Halsseite in Inspiration bei flacher Lagerung und auf Höhe des Ringknorpels in der transversalen Schnittebene. Die kleinste durchschnittliche Gefäßfläche der VJI hingegen findet sich links in Expiration in 45°-Lagerung drei Zentimeter oberhalb des Ringknorpels in sagittaler Schnittebene.

Die Querschnittsflächen der A. carotis communis unterschieden sich nicht signifikant vor und nach dem Positionswechsel aus der 0°- in die 45°-Position, sowie zwischen Rechts und Links.

Ein genauer statistischer Vergleich der Gefäßflächen folgt unter 3.7.

3.5 Inzidenz von Thromben und Plaques

Bei 28,7% der untersuchten Patienten fanden sich Thromben in der VJI; davon befanden sich 27 von 29 auf der rechten und zwei auf der linken Seite.

Bei 91 über die VJI eingebrachten ZVKs fand sich in 26 Fällen auf der kannülierten Seite eine intravasale Thrombenbildung. Daraus errechnete sich eine Rate von 28,6% für katheterassoziierte Thromben.

Im Einzelnen fanden sich bei 76 eingebrachten zentralen Venenkathetern in die rechte VJI in 21 Fällen (27,6%) rechtsseitig auch Thromben, hingegen bei 15 linksseitig liegendem ZVK nur in 2 Fällen (13,3%). Weitere Thrombenbildung fand sich dreimalig bei ZVK-Kannülierung in der V. subclavia links und einer Vorpunktion der rechten VJI ein Thrombus auf der rechten Seite. In den drei Fällen mit beidseitig eingebrachtem Fremdmaterial in die VJI fand sich jeweils nur auf der rechten Seite thrombotisches Material.

Von den 67 wandständigen Katheterverläufen kamen bei 20 Patienten Thromben vor (29,9%). Von den 12 zentralen Katheterverläufen lagen in fünf Fällen Thromben vor (41,7%). Drei der Patienten, die aktuell mit einem Subclaviakatheter versorgt waren, wiesen auf der vorpunktierten Seite Thromben auf, die sich jeweils frei im Gefäßlumen der rechten VJI erstreckten. Bei den Patienten, die auf der Seite des zum Zeitpunkt der Untersuchung liegenden Katheters Thromben zeigten, waren diese um den Katheter lokalisiert. Nur in einem Fall erstreckte sich, abweichend vom obigen Ergebnis, Thrombusmaterial um den Katheter und gleichzeitig an der gegenüberliegenden Gefäßwand.

Beispiele sonographischer Befunde von Thromben finden sich im Anhang.

19,8% der untersuchten Patienten wiesen arterielle Plaques auf und bei 5,0% wurden arterielle Wandverdickungen festgestellt.

Mit Hilfe des Chi²-Tests konnte keine höhere Inzidenz von Thromben gefunden werden, bei gleichzeitigem Vorliegen einer Sepsis, einem Multiorganversagen, einem ZVD über 12 cm H₂O oder bei wandständigem ZVK-Verlauf (Hypothese 6).

Bei der Fragestellung ob das Auftreten von Thromben bei einem ZVD >12 cm H₂O gleich dem bei einem ZVD <12 cm H₂O ist, ergab der exakte Test nach Fischer eine Signifikanz von p=1,00 (2-seitig) und war damit nicht signifikant, d.h. es ergab sich kein Unterschied.

Auch bei einer Sepsis (exakter Test nach Fischer 2-seitig=1,00), bei Multiorganversagen (exakter Test nach Fischer 2-seitig=1,00) und bei zentralem ZVK-Verlauf (χ^2 nach Pearson $p=1,254$) ergab sich kein Unterschied im Auftreten von Thromben.

Betrachtet man die vorpunktierten Patienten ($n=12$) genauer, sieht man, dass in fünf Fällen keine Thromben vorkamen, vier mal sich ein Thrombus auf der aktuell punktierten Seite befand und in drei Fällen sich ein Thrombus in dem vorpunktierten Gefäß (VJI) gebildet hatte, in dem zum Zeitpunkt der Untersuchung kein Katheter mehr lag. Der exakte Test nach Fischer (2-seitig: $p=0,036$) zeigt einen hoch signifikanten Unterschied beim Auftreten von Thromben zwischen Patienten, die aktuell vorpunktiert waren und denen, die dies nicht waren.

3.6 Messvariabilität

3.6.1 Intraobserver-Variabilität

3.6.1.1 Zweimalige Erhebung der Messwerte

Zwischen den beiden Messungen entwickelte ein Patient periphere Ödeme, ein anderer bildete Thromben.

Die Korrelation der jeweils gebildeten Paare liefert in 18 von 20 Fällen signifikante Werte ($p \leq 0,05$) und liegt zwischen 0,768 und 0,991. Nur bei zwei Paaren liegt mit 0,662, bzw. 0,398 keine signifikante Korrelation vor.

Bei dem mittels abhängiger t-Tests durchgeführten Vergleich der zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhobenen Messreihen liegt die Signifikanz mit nur einer Ausnahme oberhalb von 5% ($p > 0,05$). Die ermittelten Werte weichen somit nicht statistisch relevant voneinander ab.

3.6.1.2 Zweimalige Ausmessung der Sonogramme

Vergleicht man die Flächen der VJI und der ACC der ersten Auswertung mit den dreizehn Monate später erhobenen Daten, erhält man eine Korrelation zwischen 0,809 und 0,998. Die mittels abhängigen T-Tests ermittelte Signifikanz der einzelnen Tests ist in allen

Fällen größer 0,05. Die miteinander verglichenen Werte unterscheiden sich somit statistisch nicht.

3.6.2 Interobserver-Variabilität

Alle Sonogramme der VJI wurden zu einem späteren Zeitpunkt von einem zweiten Untersucher auf Thromben, arterielle Plaques und Wandverdickungen geprüft.

Die auf Thromben positiven Sonographiebefunde wurden in 100% vom zweiten Untersucher bestätigt. Abweichungen gab es bei der Beurteilung der Arterien. Es wurden nur in drei von fünf Fällen vom zweiten Untersucher Wandverdickungen und in 15 von 20 Fällen arterielle Plaques angegeben. Damit ergibt sich eine Variabilität bei der Beurteilung von Wandverdickungen von 0,6% (3/5) und von arteriellen Plaques von 0,75% (15/20).

3.7 Statistischer Vergleich der Mittelwerte

3.7.1 Asymmetrie rechts-links

In Rückenlage der Patienten war auf Höhe des Ringknorpels die rechte VJI in Inspiration in 63,5% der Fälle dominant, in Expiration in 62,5%. Ebenfalls in Rückenlage, aber drei cm oberhalb des Ringknorpels, lag in Inspiration in 68,8% und in Expiration in 67,7% der Fälle eine Asymmetrie zu Gunsten der rechten Seite vor.

In halb sitzender Position des Patienten war auf Höhe des Ringknorpels in 74,4% (Inspiration) und 75,6% (Expiration) eine größere rechte VJI auszumachen. Drei cm oberhalb des Ringknorpels war in Inspiration die rechte VJI in 74,7% und in Expiration in 73,6% der Fälle größer.

3.7.2 Multivariate Tests

Mittels der Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden die Querschnittsflächen der Vene jugularis interna unter verschiedenen Bedingungen (Atmung: Inspiration, Expiration; Position: 0°- und 45°-Position) und an verschiedenen Messorten (Seite: Rechts, Links; Höhe: Ringknorpel, 3cm oberhalb des Ringknorpels) miteinander verglichen. Gesucht wurde nach systematischen Unterschieden der Gefäßgröße (Haupteffekte) und nach auftretenden Interaktionen (Hypothese 1).

Für die Querschnittsflächen der VJI ergab sich ein signifikanter Haupteffekt Seite [F(1,99)=27,18, p<.001], ein signifikanter Haupteffekt Atmung [F(1,99)=342,9, p<.001], ein signifikanter Haupteffekt Position [F(1,99)=63,78, p<.001] und ein signifikanter Haupteffekt Höhe [F(1,99)=152,63, p<.001].

Anhand der Diagramme sieht man anschaulich, dass die rechte Seite signifikant größer war als die linke, die Querschnittsflächen in Inspiration signifikant größer als in Expiration, im Liegen größer als in 45°-Position und auf Ringknorpelhöhe größer als drei Zentimeter oberhalb des Ringknorpels (Abbildungen 3.2-3.5).

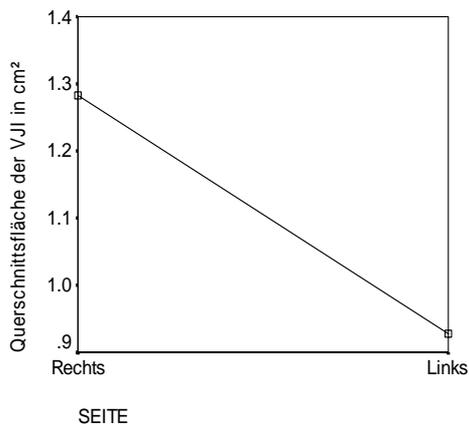


Abb. 3.2: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Seite

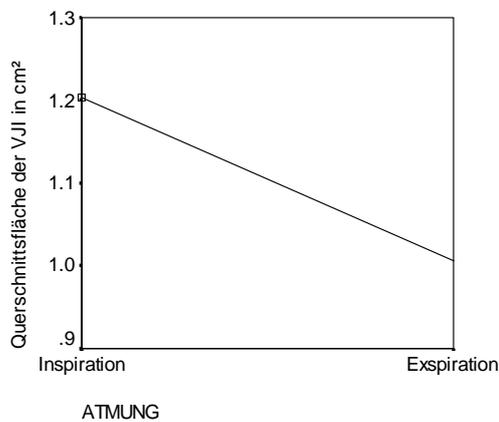


Abb. 3.3: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Atmung

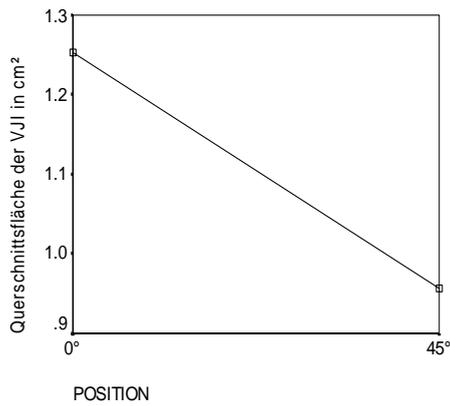


Abb. 3.4: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Position

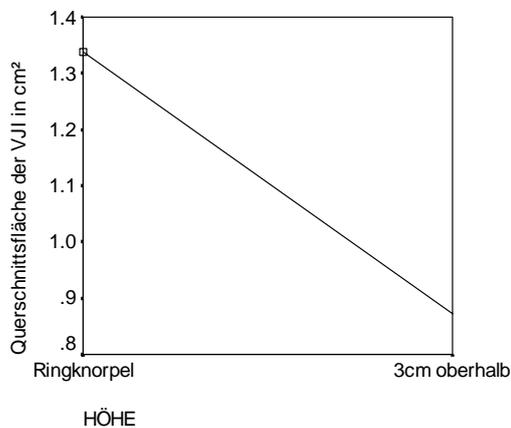


Abb. 3.5: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Höhe

Folgende signifikante Interaktionen traten bei der Varianzanalyse auf:

Atmung x Geschlecht [F(1,99)=4,04, $p < .05$], Lage x Geschlecht [F(1,99)=4,83, $p < .03$], Seite x Atmung [F(1,99)=18,72, $p < .001$], Atmung x Position [F(1,99)=47,48, $p < .001$], Seite x Höhe: [F(1,99)=7,81, $p < .001$], Atmung x Höhe [F(1,99)=36,95, $p < .001$], Position x Höhe [F(1,99)=14,38, $p < .001$].

Der Unterschied der Venenfläche zwischen Inspiration und Expiration ist größer auf der rechten Seite als auf der linken (Abb. 3.6).

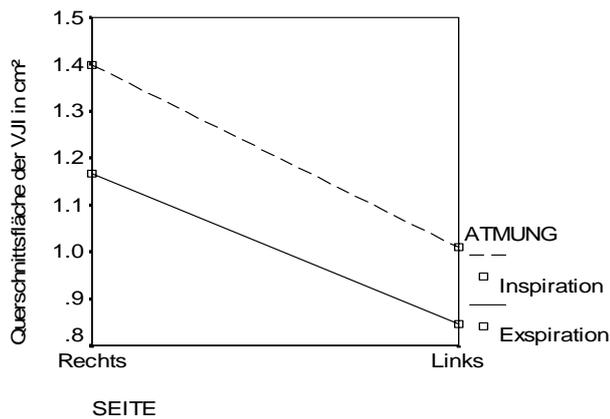


Abb. 3.6: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Seite*Atmung

Im Liegen ist der Unterschied zwischen Expiration und Inspiration geringer als im Sitzen (Abb. 3.7).

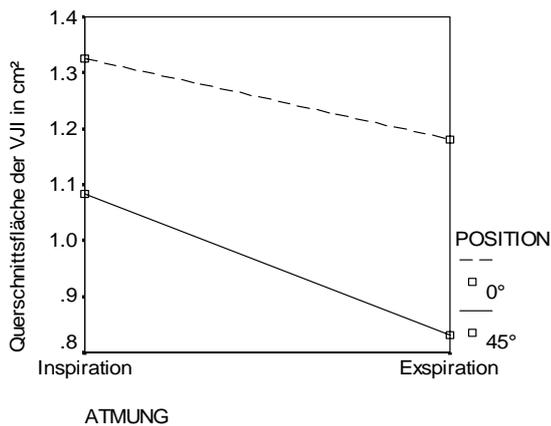


Abb. 3.7: Varianzanalyse Lineare Regression der Querschnittsfläche der VJI mit der Atmung*Position

Rechts, in Inspiration bzw. im Liegen ist ein größerer Unterschied der Gefäßfläche zwischen den Messungen auf Ringknorpelhöhe und drei Zentimeter oberhalb des Ringknorpels aufgetreten als Links, in Expiration bzw. in 45°-Position (Abb. 3.8-3.10).

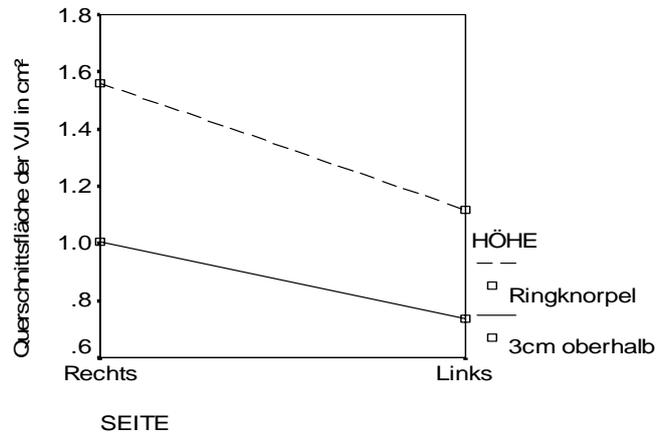


Abb. 3.8: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Seite*Höhe

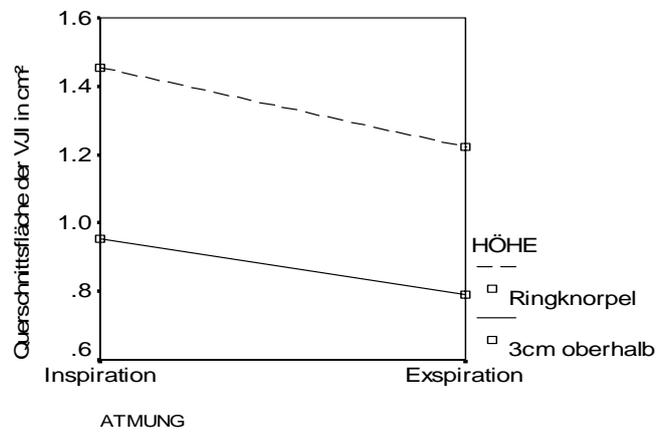


Abb. 3.9: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Atmung*Höhe

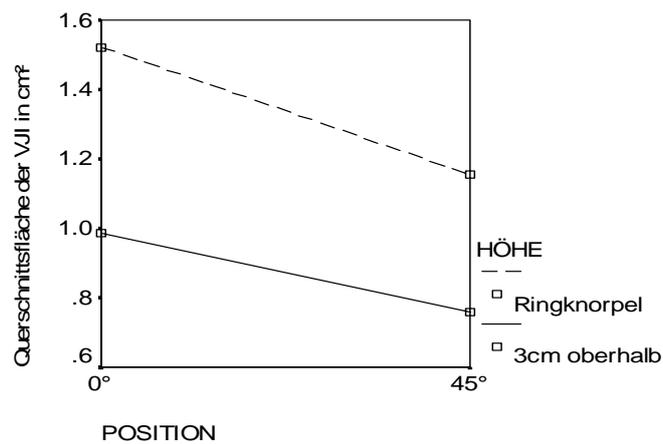


Abb. 3.10: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Position*Höhe

Bei Männern ist zum einen die Gefäßfläche signifikant größer, zum anderen ist der Unterschied zwischen In- und Expiration größer als bei Frauen (Abb. 3.11).

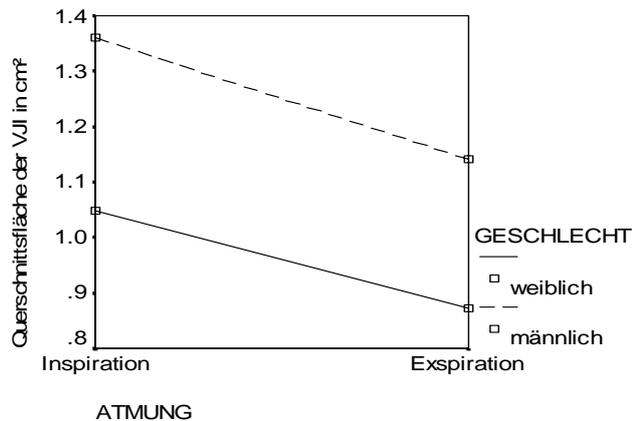


Abb. 3.11: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Atmung*Geschlecht

Ebenfalls wurde ein Geschlechterunterschied gefunden bei der Reduktion der Fläche beim Wechsel vom Liegen zum Sitzen. Bei Männern ist der Unterschied ausgeprägter (Abb. 3.12).

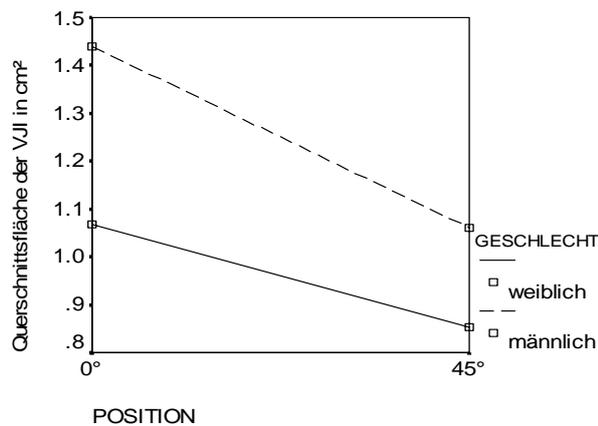


Abb. 3.12: Varianzanalyse der Querschnittsfläche der VJI mit der Position*Geschlecht

Der Test des Zwischensubjektfaktors zeigt einen signifikanten Einfluss des Geschlechts auf die Querschnittsfläche der VJI ($p < 0.005$) (Hypothese 3).

Bei dem Vergleich der Querschnittsflächen der A. carotis communis mittels der Varianzanalyse mit Messwiederholung unter den Bedingungen (Position: 0°- und 45°-Position) und an den Messorten (Seite: Rechts, Links) traten keine signifikanten Haupteffekte und Interaktionen auf (Hypothese 2).

Der Test des Zwischensubjektfaktors zeigt keinen signifikanten Einfluss des Geschlechts auf die Querschnittsfläche der A. carotis communis ($p = 0.33$) (Hypothese 3).

3.7.3 Lineare Regression

Zwischen Alter, BMI, systolischem sowie diastolischem Blutdruck und PEEP konnte mit Hilfe der Regressionsanalyse kein signifikanter Zusammenhang mit der Querschnittsfläche der VJI festgestellt werden (Hypothese 3).

Eine signifikante Interaktion zwischen Gefäßfläche und ZVD ergibt sich in der Hälfte der Fälle und zwischen Gefäßfläche und Halsumfang in 11 von 16 Messungen (Tabelle 3.8).

Tabelle 3.8: Lineare Regression der Querschnittsfläche der VJI mit dem Alter, BMI, PEEP, Blutdruck (systolisch und diastolisch), Halsumfang und ZVD

Regression	Alter		BMI		PEEP		RR syst.		RR diast.		Halsumfang		ZVD	
	R ²	p												
INR00	0,03	0,07	0,00	0,51	0,00	0,57	0,02	0,18	0,01	0,40	0,03	0,12	0,00	0,80
INR03	0,03	0,12	0,00	0,84	0,00	0,97	0,03	0,11	0,00	0,51	0,02	0,20	0,02	0,15
INR450	0,07	0,01	0,01	0,26	0,00	0,71	0,04	0,05	0,00	0,83	0,08	0,01	0,03	0,10
INR453	0,07	0,01	0,00	0,73	0,01	0,26	0,04	0,06	0,00	0,76	0,08	0,01	0,05	0,03
EXR00	0,03	0,08	0,01	0,36	0,01	0,49	0,02	0,16	0,00	0,51	0,04	0,06	0,00	0,63
EXR03	0,02	0,12	0,00	0,71	0,00	0,72	0,03	0,10	0,01	0,41	0,02	0,15	0,04	0,04
EXR450	0,06	0,01	0,03	0,12	0,01	0,43	0,03	0,09	0,00	0,57	0,10	0,00	0,05	0,03
EXR453	0,06	0,01	0,00	0,84	0,03	0,11	0,03	0,09	0,00	0,84	0,06	0,01	0,09	0,00
INL00	0,02	0,20	0,01	0,25	0,00	0,85	0,01	0,42	0,01	0,45	0,05	0,02	0,00	0,72
INL03	0,01	0,29	0,00	0,84	0,01	0,45	0,01	0,50	0,00	0,62	0,04	0,06	0,02	0,23
INL450	0,03	0,09	0,02	0,16	0,02	0,15	0,02	0,22	0,00	0,81	0,08	0,00	0,10	0,00
INL453	0,02	0,22	0,01	0,48	0,03	0,10	0,02	0,19	0,00	0,88	0,07	0,01	0,08	0,01
EXL00	0,02	0,15	0,02	0,17	0,00	0,84	0,01	0,43	0,01	0,34	0,07	0,01	0,01	0,40
EXL03	0,02	0,23	0,00	0,81	0,01	0,32	0,00	0,62	0,01	0,47	0,05	0,04	0,02	0,17
EXL450	0,03	0,08	0,02	0,14	0,04	0,05	0,03	0,11	0,00	0,74	0,11	0,00	0,13	0,00
EXL453	0,01	0,31	0,00	0,52	0,05	0,03	0,03	0,11	0,00	0,59	0,10	0,00	0,13	0,00

IN= Inspiration, EX= Expiration, R= Rechts, L= Links, 00= 0°-Position und Ringknorpelhöhe, 03= 0°-Position und 3 cm oberhalb des Ringknorpels, 450= 45°-Position und Ringknorpelhöhe, 453= 45°-Position und 3 cm oberhalb des Ringknorpels, R²= Bestimmtheitsmaß, Sigf.= Signifikanz, syst.= systolisch, diast.= diastolisch

Es wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Halsumfang und dem Abstand der VJI von der Hautoberfläche auf der rechten (R²=0,177, p=<.0001) und auf der linken Seite (R²=0,279, p=<.0001) festgestellt (Hypothese 5). Je größer der Halsumfang war, desto tiefer lag die VJI von der Hautoberfläche entfernt im Gewebe.

4 Diskussion

4.1 Einleitung

Die Anlage von zentralvenösen ein- oder mehrlumigen Kathetern dient in der Intensivmedizin hauptsächlich der supportiven Behandlung z.B. mit Katecholaminen, der parenteralen Ernährung, der Gabe von hochosmolaren venenreizenden Substanzen, der kontinuierlichen veno-venösen Hämodiafiltration sowie der Überwachung des Volumenstatus bzw. des kardialen Füllungsdrucks. Die verschiedenen Zugangswege zur VJI und die relevante Anatomie der Gefäßlokalisierung wurde von *DeFalque et al.* zusammengefasst (1). Vielerorts wird der zentralvenöse Zugang über die Vena jugularis interna (VJI) der rechten Halsseite favorisiert, weil das Gefäß nahezu geradlinig über die Vena cava superior in den rechten Vorhof mündet.

Die erfolgreiche Punktion und das Einführen der Katheter setzen genaue Kenntnisse der speziellen Anatomie und Informationen zur Lagebeziehung der avisierten zentralvenösen Blutgefäße voraus. Da die perkutane Punktion in der Regel mit Hilfe von externen Landmarken und ohne Visualisierung der Gefäße durchgeführt wird, ist es zudem essentiell, die Variabilität der anatomischen Verhältnisse bei Veränderungen der Patientenlagerung zu kennen.

Das Wissen um die unterschiedlichen Dimensionen und die Lagebeziehungen der VJI und der A. carotis communis (ACC) bei Personen unterschiedlichen Alters, Geschlechts und Körpergröße ist für den Kliniker dann besonders hilfreich, wenn die Gefäße zu den oben genannten Zwecken punktiert bzw. kannüliert werden müssen. Einige Übersichten zu den bisher veröffentlichten Informationen über die intraluminalen Durchmesser der Halsgefäße beim Menschen wurden von *Bazaraal und Harlan* 1981, *Jasinski und Rubin* 1984, *Dresser und McKinney* 1987, sowie *Lee und Chimyanga* 1985 publiziert (2-5).

In der vorliegenden Studie wurde in Erweiterung der genannten Publikationen untersucht, welche anatomischen Verhältnisse und Dimensionen der Halsgefäße bei beatmeten Patienten unter verschiedenen Bedingungen und Lokalisationen vorliegen. Als wichtigste Ergebnisse der Untersuchung zeigten sich die folgenden:

1. Der Gefäßdurchmesser der VJI war auf der rechten Halsseite durchschnittlich größer als auf der linken. Diese Seitendifferenz zeigte sich durchgehend auf allen Messhöhen

der Halsregion und unabhängig von der Lagerung und der Beatmungsphase. Der Gefäßdurchmesser erreichte in der Inspirationsphase und bei flacher Lagerung des Patienten auf Höhe des Ringknorpels auf der rechten Seite einen Maximalwert.

2. Erwartungsgemäß war der Gefäßdurchmesser der VJI in allen Fällen während der Inspirationsphase durchschnittlich größer als in der Expirationsphase.
3. Der Gefäßmittelpunkt der VJI auf Höhe des Ringknorpels fand sich im Durchschnitt 2,0 cm unter der Hautoberfläche, die proximal zur Haut gelegene Gefäßwand 1,4 cm unterhalb des Hautniveaus. Die Katheter perforierten die Haut im Durchschnitt etwa 1,8 cm oberhalb des Gefäßeintrittsniveaus (Lot vom Gefäßeintritt zur Hautoberfläche).
4. Die Inzidenz einer katheterassoziierten Thrombenbildung in der VJI fand sich in 28% auf der rechten Seite und nur in 13% auf der linken Seite. Bei den 67 wandständigen Katheterverläufen fanden sich in 20 Fällen Thromben vor (30%), bei den 12 zentralen Katheterverläufen in fünf Fällen Thromben (42%). Die Unterschiede ließen sich wegen der unterschiedlichen Gruppengröße nicht auf Signifikanz prüfen.
5. Eine arterielle Pathologie lag in 25% der Fälle vor, die sich zu 20% auf arterielle Plaques und zu 5% auf arterielle Wandverdickungen verteilten.

4.2 Anatomie der großen Halsgefäße

Die venöse Drainage des Gehirns erfolgt über oberflächliche (externe) und tiefe (innere) Venen (6). Beide Venensysteme drainieren in die Sinus, der Abfluss erfolgt über die VJI und die V. vertebralis.

Die VJI beginnt in der hinteren, lateralen Abteilung des Foramen jugulare mit einer Erweiterung, dem Bulbus superior venae jugularis. In diesen fließt über den Sinus sigmoideus und den Sinus petrosus inferior das Blut aus der Schädelhöhle. Die VJI schließt sich in ihrem Verlauf zunächst dorsomedial der A. carotis interna, später lateral der ACC an. Sie wird mit der A. carotis communis von einer gemeinsamen Bindegewebehülle eingefasst, in der auch der N. vagus verläuft. Die Vagina und Vene sind mit einer Zwischensehne des M. omohyoideus und der Lanina pretrachealis der Fascia cervicalis verbunden. Dadurch wird das Venenlumen bei Bewegungen des Halses und negativem Innendruck während der Füllungsphase der Vorhöfe offen gehalten. Hinter dem Sternoklavikulargelenk im Venenwinkel, Angulus venosus, vereinigt sie sich mit der V.

subclavia zur V. brachiocephalica. Der unterste Teil der VJI ist zum Bulbus inferior venae jugularis erweitert. An seinem oberen Ende befinden sich Klappen. Da der Weg der Vene zum Herzen rechts kürzer und gradliniger ist als links, wird der rechtsseitige Zugang zur VJI bei der zentralvenösen Katheterisierung bevorzugt (7).

Die wichtigsten Zustromgebiete der VJI sind nahezu das gesamte Blutleitersystem des Gehirns, oberflächlicher und tiefer Gesichtsbereich, sowie der Halsbereich (8). Normalerweise erfolgt der venöse Rückstrom aus dem oberen Venensystem passiv durch den inspiratorischen Druckabfall im Thorax.

Die rechtsseitige ACC geht in Höhe des rechten Sternoklavikulargelenkes aus dem Truncus brachiocephalicus hervor, der am Aortenbogen wurzelt, die linksseitige ACC entspringt dem Aortenbogen direkt. Beide arteriellen Gefäße steigen seitenzugeordnet hinter dem M. sternocleidomastoideus auf und laufen im Gefäß-Nerven-Strang des Halses gemeinsam mit der lateral gelegenen VJI und dem dorsal zwischen beiden Gefäßen liegenden N. vagus umhüllt von der Vagina carotica. Von ihrem Ursprung bis zu ihrer Aufgabelung gibt die ACC in der Regel keine Äste ab. In Höhe der Prominentia laryngea (meist in der Höhe zwischen dem Querfortsatz des 3. Halswirbels und dem Unterrand des 4. Halswirbels) gabelt die ACC sich in der Bifurcatio carotidis in die A. carotis externa (medial vorne) und A. carotis interna (lateral hinten). Im Gegensatz zur A. carotis externa gibt die A. carotis interna im extrakraniellen Verlauf keine Äste ab (9).

4.3 Sonographie der großen Halsgefäße

4.3.1 Qualitative Darstellung

Im Normalfall imponieren Blutgefäße im orthogonalen wie transversalen Querschnitt durch ein echoschwaches oder echoloses Lumen. Die normale Gefäßwand eines größeren arteriellen Gefäßes wie der ACC setzt sich „sonomorphologisch“ aus 3 Schichten zusammen: Einer inneren, dem Gefäßlumen anliegenden echoreichen Linie (Intima- und subintimale Anteile), folgt eine etwas breitere echoarme Schicht („Intima-Media-Kontur“). Zum perivaskulären Fettbindegewebe hin grenzt sich die Wand nochmals durch eine echoreichere unscharf begrenzte Schicht ab (Mediaanteile und Adventitia). B-mode und farbkodierte Duplexsonographie der A. carotis communis werden zunehmend zur

Bestimmung der Intima-Media-Dicke (IMT) eingesetzt. Die Normalwerte der Intima-Media-Dicke liegen unter 1,5 mm.

Da der Ultraschall nicht Gewebe oder Gewebeschichten abbildet, sondern Schallreflexionen an Grenzzonen unterschiedlicher akustischer Impedanz, entsprechen die beschriebenen Schichtungen auch nicht exakt den Gefäßwandanteilen Intima, Media und Adventitia. Der so genannte Grenzzonenreflex lässt somit keine Beurteilung der Intima selbst zu (10, 11).

Verschiedene morphologische und ultraschalltomographische Untersuchungen haben eine Korrelation zu Veränderungen bei arteriosklerotischen Gefäßprozessen beschrieben. Für ihre Beurteilung ist die Beschreibung der Veränderungen nach dem B-Bild durch geeignete Parameter sinnvoll. Sonographisch wichtige Charakteristika eines Plaques sind nach Einschätzung der europäischen Konsensuskonferenz: Gefäßform, Gefäßgröße, pathologische Veränderungen wie Lokalisation, Form, Größe, Oberfläche, Echostruktur, Plaquebewegung und embolische Aktivität. Es gibt aber auch kritische Stimmen, die darauf hinweisen, dass sonographisch nur vage Korrelationen zwischen Plaquebeschaffenheit und histologischem Befund bekannt sind und die Gefäßwandbeurteilungen sehr geräte- und untersucherabhängig sind (GeräteEinstellung). Ungeachtet dessen sind Grenzzonenreflexe von über 1 mm als pathologisch anzusehen im Sinne von diffusen Gefäßwandveränderungen, wie bei Fettstoffwechselstörungen oder Diabetes mellitus. Ab 2 mm spricht man von einer Plaque. Überschreitet die Plaque eine gewisse Dicke, kommt es zu Ernährungsstörungen, weil die Gefäßintima über keine eigenen Blutgefäße versorgt wird, sondern über Diffusion vom Gefäßlumen. Die Einlagerung von Lipiden, Lipoproteinen und Cholesterin führt zu einer weiteren Verdickung. Die Einsprossung von Fibroblasten führt zur Sklerose, und es kann zu Kalzifikationen in der Plaque kommen. Hauptlokalisationen von Plaques sind die Karotisbifurkation und die proximalen 2-3 cm der A. carotis interna (10, 11).

Ein größeres venöses Gefäß wie die VJI stellt sich wie folgt dar: Die Venen sind meist dünnwandiger als die Arterien und die gesamte Textur der Venenwand ist lockerer. Die Gliederung der Venenwände in Intima, Media und Adventitia bleibt öfter undeutlich (10, 33).

Sonographisch lassen sich bei gesunden Probanden im Halsgefäßbündel typische Pulsationen der Gefäßwände nachweisen. Die maximale Venendistension findet sich beim spontan atmenden Probanden während der Expiration, während der minimale

Venendurchmesser am Ende der Inspiration beobachtet wird. Während des Valsalva-Manövers kommt es zu einer Dilatation der Vene mit verminderten Pulsationen, bei vertiefter Inspiration dagegen zu einem Kollaps des Gefäßlumens (11).

Bei mechanisch ventilerten bzw. kontrolliert beatmeten Patienten stellt sich der Querschnitt der großen arteriellen und venösen Gefäße während der Inspiration bzw. Expiration anders dar. In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich, dass bei druckkontrolliert beatmeten Patienten die Fläche der rechten sowie der linken VJI am Ende der Inspiration signifikant größer war als endexpiratorisch. Die Größenzunahme war sowohl in der waagerechten, wie auch in der sitzenden Lage zu beobachten. Anders als beim spontan atmenden Probanden erfolgt die Zunahme des intrathorakalen Drucks beim kontrolliert beatmeten Patienten nicht während der Expiration, sondern während der Inspiration. Es kommt somit während der Inspiration durch den erhöhten intrathorakalen Druck zu einer verbesserten Füllung der V. subclavia (31) und der VJI, und dadurch zu einer Abnahme des Druckgradienten zwischen Kopfbereich und rechtem Vorhof. Daraus resultiert ein Rückstau des venösen Blutes und in Folge kommt es zu einer Größenzunahme der Halsgefäße (18). Da mit der Inspiration beim beatmeten Patienten jedoch die Pleurakuppen nach kranial gebläht und das Risiko einer Pleurapunktion in diesem Moment erhöht ist, wählt man in der Praxis einen positiv endexpiratorischen Druck und den Zeitpunkt der Venenpunktion am Ende der Expiration.

4.3.2 Quantitative Darstellung

4.3.2.1 Vena jugularis interna

Auf der rechten Seite hat die VJI in Rückenlage des Patienten eine durchschnittliche Querschnittsfläche von $1,50 \pm 0,88 \text{ cm}^2$ in neutraler Position und $1,19 \pm 0,80 \text{ cm}^2$ in halbsitzender Position, auf der linken Seite liegen die Werte bei $1,13 \pm 0,64 \text{ cm}^2$ und bei $0,80 \pm 0,54 \text{ cm}^2$ (Durchschnittswert im gesamten rechten bzw. linken Halsbereich erhoben aus den Gefäßquerschnittsflächen in Inspiration, Expiration auf Ringknorpelhöhe und 3 cm oberhalb davon).

Bei der Durchsicht der Literatur fanden sich ähnliche Werte wie in der vorliegenden Untersuchung. *Schreiber et al.* (16) maßen eine durchschnittliche Querschnittsfläche der VJI in Rückenlage von $1,02 \text{ cm}^2$, *Armstrong et al.* (18) einen durchschnittlichen

Durchmesser von 1,15 cm (das entspricht rechnerisch einer Querschnittsfläche von 1,04 cm²).

In weiteren Studien wurde ein durchschnittlicher Durchmesser der Jugularvene von $1,42 \pm 0,34$ cm (19) bzw. 1,13 cm (20) auf der rechten Seite und $1,22 \pm 0,38$ cm (19) bzw. 1,09 cm (20) auf der linken Seite angegeben. *Lichtenstein et al.* beschrieben in einer Publikation, dass die Jugularvenen in ca. 25 % der Fälle eine Fläche von 0,4 cm² oder weniger hatten (21).

Bazaraal et al. bestimmten die Venendurchmesser auf Höhe des Ringknorpels sowie 1,5 cm kephal und kaudal davon und fanden heraus, dass die Jugularvene signifikant größer kaudal des Ringknorpels war (2). Bei der Gegenüberstellung der Lumendurchmesser der VJI auf Höhe der Klavikula und des Ringknorpels waren diejenigen auf Höhe der Klavikula größer (1,58 cm vs. 1,24 cm) (15).

Auch in der vorliegenden Studie zeigt sich übereinstimmend mit den oben zitierten Studien, dass die Gefäßquerschnittsflächen bei den kaudal gelegenen Messorten größer als bei den kranial gelegenen waren: Auf Ringknorpelhöhe war die Gefäßfläche der VJI auf beiden Halsseiten signifikant um 35 % größer ($p < .001$) als drei Zentimeter oberhalb des Ringknorpels.

4.3.2.2 Arteria carotis communis

Die durchschnittliche Größe der ACC betrug rechts $0,43 \pm 0,17$ cm² sowie links $0,43 \pm 0,15$ cm². Bei einer 1990 veröffentlichten Studie von *Mortensen et al.* wurde der Durchmesser der ACC ein Zentimeter oberhalb der Klavikula bestimmt. Er wurde rechts mit 0,66 cm und links mit 0,64 cm angegeben (20). Berechnet man aus den genannten Durchmessern die Flächen der Arterien, erhält man für die rechte Seite einen Wert von 0,34 cm² und für die linke Seite 0,32 cm². Die Normwerte für den Durchmesser der ACC liegen laut einem Lehrbuch bei 0,63-0,7 cm (11). Außerdem wird beschrieben, dass die ACC mit konstantem Lumendurchmesser bis zum Bulbus verläuft und der Durchmesser dort 0,65-0,75 cm beträgt, während distal davon und damit weiter kephal er auf 0,43-0,53 cm abnimmt. In ca. 6-8% der untersuchten Fälle findet sich laut Lehrbuch diese typische Bulbuserweiterung nicht (11).

4.4 Variation des Gefäßdurchmessers der Vena jugularis interna

4.4.1 Maßnahmen

Auch wenn es nicht von großer klinischer Bedeutung ist, den präzisen Gefäßdurchmesser der VJI zu kennen, so ist eine annähernde Vorstellung von der Größe und Lokalisation des Gefäßes sehr hilfreich für die anstehende Gefäßpunktion. *Gordon et al.* beobachteten, dass der Erfolg beim ersten Punktionsversuch der rechten VJI signifikant korrelierte mit dem Durchmesser der Vene (27). Auf dieser Erkenntnis beruhend wurde der Einfluss vieler Manöver und Positionen auf den Durchmesser der Halsvenen untersucht. Zur Vergrößerung des Venendurchmessers wurden zahlreiche Methoden u.a. die Kopftieflage (15, 18, 28, 64), das Valsalva-Manöver (15, 17, 18, 62), die Leberkompression (24, 29) und die forcierte Expiration bei spontan atmenden Patienten (12, 21) oder die Inspiration bei beatmeten Patienten (21, 24, 29, 30) vorgeschlagen.

Eine Vergrößerung der VJI geht in der Regel mit einer Zunahme des zentralen Venendrucks einher, der wiederum beeinflusst wird vom vaskulären Volumen und damit vom vaskulären Druck, vom venösen Rückfluss und vom intrathorakalen Druck. Durch das Valsalva-Manöver (maximale Bauchpresse und Anspannung der Expirationsmuskulatur bei geschlossener Glottis nach tiefer Inspiration) oder bei beatmeten Patienten durch einen positiven endexpiratorischen Druck bzw. eine endinspiratorische Pause erreicht man sehr effektiv eine Zunahme des intrathorakalen Drucks (15). Ein erhöhter intrathorakaler Druck z.B. durch einen gehaltenen positiven inspiratorischen Druck (PIP) erweitert die rechte VJI hauptsächlich durch die Kompression der V. subclavia (31). Alle Techniken, die den venösen Rückfluss unterstützen, wie die Trendelenburg-Position, führen ebenfalls zu einer Größenzunahme (18). Die Trendelenburg-Position, bei der der Patient ca. 20-30° schräg gelagert ist, wobei Kopf und Oberkörper nach unten, die Beine nach oben gelagert werden, erhöht die Höhe zwischen dem rechten Atrium und der rechten VJI, wodurch der venöse Rückstrom zum Herzen über die V. subclavia abnimmt (24). Der Durchmesser beider VJI nimmt bei der Kombination des Valsalva-Manövers mit der Trendelenburg-Position mehr zu als unter nur einer der Maßnahmen (17).

Eine signifikante Zunahme im Durchmesser der rechten VJI lässt sich laut *Parry et al.* auch durch das Unterlegen eines kleinen Kissens unter den Kopf sowohl in Horizontallage, wie auch in der Trendelenburg-Lagerung erzielen. Eine erhöhte Spannung der Halsstrukturen ist seiner Auffassung nach der zugrunde liegende Mechanismus (64).

Die meisten Studien evaluierten die Effekte dieser Manöver an wachen, nicht intubierten Patienten oder an freiwilligen Probanden. Anästhesisten hingegen punktieren die VJI meist nach Einleitung einer Allgemeinanästhesie und unter kontrollierter Beatmung des Patienten. Auf diesen Unterschied machten *Lobato et al.* mit seinen Beobachtungen aufmerksam. Sie fanden heraus, dass bei den meisten spontan atmenden Patienten die Leberkompression und der positive intrathorakale Druck jeweils allein oder gemeinsam zur Vergrößerung der rechten VJI auch ohne eine Änderung der Position des Patienten führte (24). Auch in endotracheal intubierten Patienten bewirkte entweder die Leberkompression oder der positive intrathorakale Druck eine signifikante Erhöhung des Durchmessers der rechten VJI. Befindet sich der Patient in der Trendelenburg-Lagerung, führen die oben aufgeführten Manöver nicht zu einer weiteren Zunahme der Gefäßgröße, erhöhen aber den intravasalen Druck und damit den Widerstand der Vene. Bei einer Kompression der Vene durch außen, neigt diese weniger zum Kollabieren, so dass die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Punktion sich dadurch erhöht (24).

Botero et al. beschäftigten sich u.a. mit der Frage, welche Methode am effektivsten eine Zunahme der Venengröße bewirkt und beobachtete in anästhesierten Kindern, dass die Trendelenburg-Position nicht so effektiv war wie ein gehaltener PIP von 20 cm H₂O. Bei einem Wechsel aus der Rückenlage in die Trendelenburg-Position stieg der rechte Gefäßdurchmesser um 16% und der linke um 20%, wohingegen bei einem gehaltenen PIP der Durchmesser sich rechts um 38% und links um 29% vergrößerte (23). Dazu im Gegensatz stehen vorherige Studien, die bei Erwachsenen von einem 32%igen bzw. 14%igen Anstieg des Durchmessers der rechten VJI während der Trendelenburg-Position bzw. dem gehaltenen PIP berichten (31).

Bei einigen Patienten, die einen erhöhten zentralen Venendruck hatten, war die VJI in der Grundeinstellung „at baseline“ groß. Weder die Trendelenburg-Position noch das Valsalva-Manöver bewirkten einen weiteren Anstieg des Durchmessers der VJI in diesen Patienten (13). Gründe für die gestaute VJI können u.a. eine kongestive Herzinsuffizienz, ein Spannungsneumothorax oder eine Herzbeutelamponade sein (72). In drei 3% der Patienten hingegen war die Vene ungewöhnlich klein (13, 14) und erhöhte auch nicht ihren Durchmesser während des Valsalva-Manövers (13).

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich in den eigenen Ergebnissen, dass sowohl in 0° Rückenlage wie auch in der 45°-Position der Durchmesser der VJI in der Inspirationsphase zunahm. Wie erwartet kam es in der Inspirationsphase über die Zunahme

des intrathorakalen Drucks zu einem Anstieg des zentralvenösen Drucks und zu einer Größenzunahme der Venen.

Im Liegen war der Unterschied zwischen den Werten in Expiration und Inspiration geringer als im Sitzen. Dadurch, dass im Sitzen der venöse Rückfluss zum Herzen begünstigt wird und der Druck in den Halsvenen geringer ist, könnte man sich vorstellen, dass die Druckunterschiede bei der Inspiration und Expiration stärker zum Tragen kommen. Der größere Unterschied zwischen In- und Expiration bei Männern als bei Frauen ist möglicherweise durch die durchschnittlich größere Lungenkapazität der Männer gegenüber den Frauen zu erklären und die damit verbundenen größeren intrathorakalen Druckunterschiede. Der größere Unterschied der Venenfläche zwischen Inspiration und Expiration auf der rechten Seite gegenüber der linken entzieht sich dagegen eingängigen Erklärungsversuchen, ebenso wie der größere Unterschied der Gefäßfläche zwischen den Messungen auf Ringknorpelhöhe und drei Zentimeter oberhalb des Ringknorpels in Inspiration und im Liegen gegenüber der Expiration und der 45°-Position.

Eine Reduzierung des Durchmessers der VJI erfolgt durch Palpation der Arterie und komplette Streckung des Halses bzw. extreme Kopffrotation (2, 15, 18). Des Weiteren reduziert die tiefe Inspiration den Durchmesser der VJI, durch einen abnehmenden intrathorakalen Druck (12). Das Verschieben der Nadel bei der Punktion kann die Vene verdrehen oder zum Kollabieren bringen (15).

Die oben geschilderten Methoden zur Durchmesserergrößerung der VJI sind nicht immer risikolos. Die am häufigsten angewandte Methode, die Trendelenburg-Position, ist zwar eine sehr gute und effektive Methode in Bezug auf die Größenzunahme der VJI (20), bei bestimmten Patienten, gerade auf dem Gebiet der Intensivmedizin, aber oftmals kontraindiziert. So bewirkt die Trendelenburg-Position eine Verlagerung der viszerale Organe nach kopfwärts, reduziert damit die funktionelle Residualkapazität der Lunge und kann zudem ein abnormales Ventilations-Perfusions-Verhältnis hervorrufen. Dies kann weiter mit einer Zunahme des myokardialen Sauerstoffverbrauchs einhergehen und stellt insbesondere bei koronar herzkranken Patienten ein Risiko für eine Myokardischämie dar (32). Weitere relative Kontraindikationen des Trendelenburg-Manövers sind außerdem ein kardiogenes Lungenödem (15) und ein reduzierter zerebraler Perfusionsdruck.

Auch in Bezug auf den Hirndruck kann die Trendelenburg-Lagerung nachteilig sein. Bei der Bestimmung des zerebralen Blutflusses gesunder Männer, die in 20°-Kopftieflage gebracht wurden, wurde herausgefunden, dass es zu einer Zunahme des durchschnittlichen

Blutdrucks in den Karotiden kommt. Es resultiert eine Zunahme des kardiovaskulären Widerstandes, der wiederum die Abnahme des zerebralen Blutflusses bedingt (34). Diese Beobachtung führte zur Annahme, dass bei der 20°-Kopftieflage in den zerebralen Venenbetten das Blut vermutlich gesammelt wird.

In einer anderen Studie nahm bereits in 10°-Kopftieflage die durchschnittliche maximale Geschwindigkeit des Blutflusses in der VJI signifikant ab und dazu gegensätzlich die Gefäßquerschnittsfläche der VJI signifikant zu. Der geschätzte Blutfluss der VJI veränderte sich während des Manövers nicht (28). Zudem kam es zu einer signifikanten Zunahme (16%) des Herzzeitvolumens (28). Im Rahmen der kardiovaskulären Adaptation nahm der systemische vaskuläre Widerstand ab, und der arterielle Blutdruck wurde gehalten. Ein milder Trendelenburg führt daher bei gesunden Probanden wahrscheinlich nicht zu einer Blutansammlung im venösen Bett.

Bei Patienten mit einer Kopfverletzung ist die zerebrale Autoregulation dagegen aber oft gestört. In diesem Fall würde sogar eine geringe Zunahme des durchschnittlichen arteriellen Blutdrucks im Kopf zu einem Anstieg des zerebralen arteriellen Zuflusses und möglicherweise folglich auch des intrakraniellen Drucks führen. Bei Patienten mit pathologisch erhöhtem intrakraniellen Druck ist die Trendelenburg-Lagerung daher kontraindiziert und muss bei Patienten mit einer Kopfverletzung sorgsam abgewogen werden (28).

Um dieses Risiko einer Hirndruckzunahme bei gefährdeten Patienten zu vermeiden, bei denen ein ZVK angelegt werden soll, punktierten *Brederlau et al.* beatmete Patienten in 30°-Oberkörper-Hochlagerung unter Ultraschallbildgebung (60). Die Punktion verlief in allen Fällen trotz der im Vergleich zur Flachlagerung oder gar Trendelenburg-Lagerung geringen Venenfüllung erfolgreich und komplikationslos, so dass die sonographiegesteuerte Punktion der VJI bei Patienten mit intrakranieller Pathologie künftig Standard sein sollte.

Die Ergebnisse unserer Studie unterstützen die Beobachtung, dass eine Oberkörper-Hochlagerung mit einer Abnahme der zervikalen Venenfüllung einhergeht. Bei dem Lagewechsel aus der 0°- in die 45°-Lage zeigt sich eine mittlere Reduktion der VJI-Gefäßquerschnittsfläche um 25%, ohne dass es aber zu einem Kollaps des Gefäßes kam. Anhand dieser Ergebnisse kann vermutet werden, dass ein ZVD von ca. 15 cm H₂O (Mittelwert: 14,90 ± 5,39 cm H₂O) in Flachlage eine Oberkörper-Hochlagerung von 45°

zulässt, ohne dass es zu einem Kollaps oder einer die Panktion wesentlich erschwerenden Verkleinerung des Lumens der VJI kommt.

4.4.2 Sonstige Faktoren

Es war kein signifikanter Unterschied der Gefäßgröße der VJI in Abhängigkeit vom Alter, BMI, systolischem sowie diastolischem Blutdruck und PEEP auszumachen. Fragliche Faktoren in der Beeinflussung der Querschnittsfläche der VJI sind nach den vorliegenden Ergebnissen unserer Untersuchung der Halsumfang und der ZVD (siehe Tab.3.7). Ein signifikanter Unterschied fand sich zwischen den Geschlechtern. Bei Männern war die VJI rechts, bzw. links signifikant größer als bei Frauen auf der rechten, bzw. linken Seite. *Armstrong et al.* und *Stickle et al.* wiesen darauf hin, dass es keine Korrelation zwischen dem Durchmesser und der Größe, Gewicht, Alter und Halsumfang des Patienten gab (18, 70). Auch *Mortensen et al.* und *Yildirim et al.* fanden (in einer Studie mit Kindern zwischen 7 und 12 Jahren) heraus, dass das Alter keinen Einfluss auf die Weite der Venen hat (20, 62). *Puchen et al.* und *Mortensen et al.* beobachteten keinen Unterschied in der Venenausdehnung zwischen Männern und Frauen (12, 20), in einer anderen Studie von *Kathri et al.* hingegen war die Vene signifikant größer bei Männern im Vergleich mit Frauen auf beiden Seiten (19).

4.4.3 Seitenunterschiede

In dieser Studie beobachteten wir, dass die Flächen der rechten VJI signifikant größer als die der linken Seite waren ($p < .001$). Auch in vorhergehenden Untersuchungen zeigte sich, dass die rechte ACC und die rechte VJI normalerweise signifikant größer sind, als die Gefäße auf der kontralateralen Seite (2-4, 19, 20, 62).

Auch *Botero et al.* schrieben, dass in neutraler Position der Durchmesser der rechten VJI in 69% größer als der der linken sei, gleich oder kleiner in 31% der Patienten (23).

Unseren Ergebnissen ist zu entnehmen, dass sowohl in 0°-Rückenlage wie auch in 45° aufrecht sitzender Position die rechte Jugularvene größer ist als die linke ($p < .001$). Die Observationen von *Lichtenstein et al.* bestätigen eine Asymmetrie unabhängig der Position des Untersuchten. Sie stellten fest, dass die venöse Asymmetrie nicht durch dynamische Manöver (Trendelenburg, Valsalva) beeinflusst wird. In der Studie von *Lichtenstein et al.* lag in 62,5% eine Asymmetrie vor. In der Gruppe der asymmetrischen Patienten war in 68% die rechte Jugularvene die Dominante, in 32% die Linke (21).

Auf den Blutfluss in den jugulären Venen scheint der Größenunterschied jedoch keinen relevanten Einfluss zu haben. In der Arbeit von *Pucheu et al.* (12) wird betont, dass der Blutfluss auf der rechten und linken Seite gleichgross war auch im Falle einer Asymmetrie bzw. Hypoplasie einer Seite. Die Venen auf der Katheterseite unterschieden sich nicht von denen der gegenüberliegenden Seite, bis auf die Präsenz des Katheters an sich.

4.5 Punktion der Vena jugularis interna

4.5.1 Lokalisation

Die VJI liegt in der vorliegenden Studie mit dem Gefäßmittelpunkt durchschnittlich auf der rechten Seite $2,1 \pm 0,4$ cm und links $1,9 \pm 0,4$ cm unter der Hautoberfläche. In früheren Studien wurde gezeigt, dass die VJI oberflächlich, anterolateral der ACC in einer Tiefe von 1 bis 1,5 cm (92%) (12, 13) bzw. 1,73 cm (14) unter der Haut liegt. Der durchschnittliche Abstand von der Haut zur VJI war auf Höhe der Klavikula geringer als auf Höhe des Ringknorpels (1,18 vs. 1,48 cm) (15).

Der meist frequentierte Punkt zur Einführung der Nadel in die Jugularvene liegt nach *Schreiber et al.* 1,5 cm kaudal des Ringknorpels (16). Nach eigenen Messungen liegt durchschnittlich die Punktionsstelle 3 cm unterhalb des Ringknorpels. Die Größe der Vene ist abhängig von dem Untersuchungsort. Auf Ringknorpelhöhe waren die Venen signifikant größer als drei Zentimeter oberhalb davon. Da die Punktionsstelle des ZVK jedoch durchschnittlich 3 cm unterhalb des Ringknorpels lag, wäre es von Interesse die Venengröße auf dieser Höhe zu kennen, bzw. zu untersuchen.

Die Vorteile der Jugularvenenpunktion schließen den einfachen Zugangsweg, die oberflächliche Lokalisation und die geringere Inzidenz eines Pneumothorax und anderer Komplikationen verglichen mit dem Zugang über die V. subclavia ein (17). Oft können Anästhesisten diesen Zugang nutzen, da, mit der Ausnahme von Kopf- und Halseingriffen, dieser normalerweise außerhalb des operativen Feldes liegt.

4.5.2 Punktionsort

Im Allgemeinen wird die Punktion der rechten VJI bevorzugt, da sie zum einen direkt in die Vena cava superior führt, zum anderen die Pleurakuppe auf der rechten Seite tiefer liegt. Außerdem besteht auf der linken Seite die Gefahr einer Verletzung des Ductus

thoracicus (17). Hinzu kommt, dass generell die Punktion der linken Jugularvene als schwieriger erachtet wird, weil sie nicht so oft durchgeführt wird und der Durchmesser sowie die anatomische Relation mit der linken Karotidarterie nicht so konstant ist wie auf der rechten Seite (17).

In der Literatur wird des Weiteren berichtet über eine geringere Erfolgsrate (25), mehr Versuche (14, 65), eine höhere Inzidenz von Komplikationen (25, 65) und eine längere Dauer (65) beim Punktionsversuch der linken VJI.

Es gibt jedoch einige Umstände, in denen die linke VJI zur Punktion gewählt wird. Das ist der Fall bei Patienten, die sich einer Herztransplantation unterziehen (die rechte VJI ist reserviert für spätere endokardiale Biopsien), bei rechtsseitiger Karotisstenose, Pathologie oder Deformierung der rechten VJI (rechte radikale Halsoperation, Thrombose der rechten VJI), vorausgegangene, nicht erfolgreiche Versuche bei der Punktion der rechten VJI (17), oder eine Infektion des vorhandenen rechten Katheters (14).

4.5.3 Ultraschallgestützte Punktion

Der Verlauf der Halsgefäße ist ideal für die Darstellung im B-Bild, weil selbst mit einem großen Schallkopf dieser Gefäßabschnitt regelmäßig und mit großer Zuverlässigkeit in mehreren Ebenen darzustellen ist. Umschriebene Wandveränderungen lassen sich in diesem Bereich daher auch mit einer der Angiographie überlegenen Trefferquote nachweisen und in ihrer morphologischen Struktur näher beschreiben (11). Mit Hilfe von Ultraschall kann man sehr leicht eine Hypoplasie oder aneurysmatische Dilatation diagnostizieren.

Sonographische Beurteilungskriterien der Gefäße sind deren Komprimierbarkeit, Lumenweite, Wandbeschaffenheit und die Binnenstrukturen (10). Der bildgebende Ultraschall bzw. die B-mode-Verfahren stellen aufgrund der Visualisierung der Gefäße (Gefäßlage und -weite, den Gefäßinhalt und die Wandbeschaffenheit) und des Punktionsvorgangs den „Gold-Standard“ dar (74). Die Sonographie von Halsgefäßen ist ein schnelles, einfaches und fast überall durchführbares Verfahren, das Informationen der Anatomie und Durchgängigkeit der großen Venen liefert (37). Weitere Vorteile bestehen darin, dass es sich um ein nicht invasives Verfahren handelt, das obendrein keine radiogene Exposition mit sich bringt, zudem nicht teuer ist und einfach am Patientenbett durchgeführt werden kann (43, 21).

Als allgemeine Nachteile des Verfahrens sind die mangelnde Objektivierbarkeit der Befunde und die stark untersucherabhängige Validität der Aussagen zu sehen. *Lichtenstein et al.* führten außerdem auf, dass es langes Training braucht, um die Sonographie zu beherrschen, hingegen räumten sie ein, dass „Erste-Hilfe“-Sonographie leicht erlernbar zu sein scheint (56). Es ist außerdem die methodische Limitierung zu bedenken. Die Sonographie kann kein Gewebe visualisieren, sondern ist nur die Reflexion des Schallstrahls an Grenzflächen unterschiedlicher Impedanz. Untersuchungen im B-mode ohne korrespondierende hämodynamische Beschreibung können daher irreführend sein. Fehlerquellen, bzw. Interpretationsschwierigkeiten stellen subtotale Strömungshindernisse vs. Verschlüsse, proximale und distale Stenosen außerhalb des direkt untersuchten Gefäßabschnitts, sowie Etagenstenosen extra- und intrakraniell dar (11).

Viele Studien, in denen Ultraschall zum Legen eines Katheters bei erwachsenen Patienten genutzt wurde, bestätigten bei Gebrauch des Ultraschalls eine Verbesserung der Erfolgsrate (59), eine Reduzierung der Fehlversuche (39) und des Einflusses anatomischer Faktoren (14), sowie eine Verminderung der Komplikationen (14, 58, 59, 66, 67). Die benötigte Zeit konnte jedoch nur in einigen Studien reduziert werden (39, 57). In einer Studie mit über 480 Patienten konnte hingegen keine Verbesserung des Erfolgs beim Legen eines zentralen Venenkatheters oder eine verminderte Komplikationsrate festgestellt werden (68).

Wichtig ist es einen Weg von der Haut zur Vene zu wählen, der die arteriovenöse Überlappung minimiert bei Maximierung der Venenbreite. Den geeignetsten Weg findet man unter Ultraschallkontrolle durch Veränderung des Winkels der Kopfdrehung, Wahl zwischen hohem und tiefem Zugang der rechten bzw. linken Seite (48).

Eine Indikation zur Anwendung der Doppler-Technik ist immer dann gegeben, wenn ein peripherer Zugang nicht möglich ist und Schwierigkeiten vorauszusehen oder bereits eingetreten sind, so z.B. bei Patienten mit Gerinnungsstörungen, Patienten nach erfolgloser Vorpunktion, mit schwierigen anatomischen Verhältnissen, beispielsweise bei kleinen Kindern, bei Fehlen anatomischer Leitstrukturen sowie bei Hautemphysem und Kontrakturen der Halsmuskulatur, bei Patienten mit einem kurzen Hals, mit cushingoiden Merkmalen, Adipositas, oder bei solchen Patienten, die sich im Vorfeld einer operativen Intervention am Hals unterzogen hatten oder die Halsregion bestrahlt wurde (13, 37). Bei Patienten, die eine Kopftieflagerung nicht tolerieren (Linksherzinsuffizienz, erhöhter

Hirndruck) ist mit Hilfe der Doppler-Technik eine Lokalisation und erfolgreiche Punktion auch bei leicht hochgelagertem Kopf möglich (37). In der oben schon zitierten Studie von *Brederlau et al.* konnten Patienten mit 30° aufgerichtetem Oberkörper unter Ultraschallkontrolle in allen Fällen erfolgreich punktiert werden (60). Auf eine Trendelenburg-Lagerung oder Einstellung eines PEEP kann bei ultraschallgesteuerter Punktion der VJI bei Kleinkindern, Säuglingen und Neugeborenen nach *Trautner et al.* verzichtet werden (63). Das kann zudem für Patienten mit erhöhtem intrakraniellen Druck bedeutend sein, die sich einer Anlage eines zentralvenösen Katheters unterziehen müssen, ohne das Risiko einer weiteren Druckerhöhung eingehen zu wollen.

Bei einer von *Pieckenpack et al.* durchgeführten Bewertung des, auch in dieser Studie verwendeten, tragbaren Ultraschallgerätes kam heraus, dass es sich für den klinischen Routinebetrieb eignet und aufgrund seiner Transporteigenschaften Vorteile insbesondere für den Einsatz bei bettlägerigen Patienten auf den (Intensiv-)Stationen bietet.

In 89% der Fälle konnte ein befriedigender Befund erhoben werden. Insbesondere die gute Bildqualität unter Tageslichtbedingungen sowie das geringe Transportgewicht und –volumen machten es zum favorisierten Untersuchungsgerät im Bereich der Notfall- und Intensivmedizin. Bewertet wurden die Bildqualität im Sinne der Detailauflösung, die Zufriedenheit mit der Monitorgröße, die Einsetzbarkeit bei Tageslicht und die Bedienerfreundlichkeit (61).

4.6 Komplikationen der ZVK-Anlage über die Vena jugularis interna

4.6.1 Risiken der Blindpunktion

Die Punktion der VJI ist Routine auf der Intensivstation. Komplikationen bei der Prozedur kommen in Abhängigkeit von der Erfahrung des Arztes in 5,4-11,0% der Fälle vor (21). Bei der Durchsicht weiterer Literatur fanden sich bezüglich der Fehlpunktion Werte zwischen 1,9% und 12,3% (38).

Bei der Blindpunktion kommt es vermehrt zu einer Traumatisierung des umliegenden Gewebes mit der Gefahr eines Hämato- und Pneumothorax, Verletzungen des Ductus thoracicus, sowie diverse Nervenverletzungen (37) z.B. des zervikalen und brachialen Nervenplexus, des zervikalen sympathischen Grenzstrangs (9-12) und anderer kranialer

Nerven (38). Es kann zur traumatisierenden Punktion des Ganglion stellatum, venöser Strukturen (V. jugularis anterior), der Pulmonalarterie, Vertebralarterie, Aorta, des Mediastinums und Pleura, sowie zu einer Laceration der Trachea kommen (39).

Mit Hilfe von Ultraschall lassen sich die Gründe für derlei Fehlpunktionen in vielen Fällen sehr einfach erklären. So sind kollabierte Venen ein offensichtlicher Grund für eine Fehlpunktion, weil die Perforation der Vene nicht bemerkt wird und der Aspirationstest negativ sein kann. Weitere Gründe sind abweichende Lokalisationen bzw. Gefäßverläufe oder Thrombosen (21).

In ungefähr 10% der Patienten auf einer Intensivstation ist nach einer Studie zu erwarten, dass die VJI auf einer Seite nicht angelegt, okkludiert oder ungewöhnlich konfiguriert ist (15). Bei der landmarkengestützten Kannülierung bzw. Blindpunktion einer unerkannt thrombosierte VJI kann sich außerdem unbemerkt thrombotisches Material lösen und in den Lungenkreislauf einschwemmen.

Die akzidentelle Punktion der A. carotis kann einhergehen mit einer Blutung oder einem Hämatom, einer arteriovenösen Fistelbildung und mit einer zerebralen Perfusionstörung einzelner arterieller Gefäße (z.B. A. ophtalmica) bis hin zur zerebralen Halbseitensymptomatik, die durch das Lösen arterieller Plaques mit zerebrovaskulärer Einschwemmung verursacht werden (37). Denkbar ist auch das Auslösen des vagalen Reflexes. Es ist zudem davon auszugehen, dass nach einer Punktion der A. carotis die Lokalisation der VJI schwieriger wird, da die Vene durch das aus der Arterie tretende Blut und das entstehende Hämatom komprimiert wird.

4.6.2 Katheterassoziierte Probleme

Katheterassoziierte Infektionen und Thrombosen sind die meist gefundenen Komplikationen nach einer zentralvenösen Kannülierung. Die Diagnose einer katheterassoziierten Thrombose kann mit Ultraschall frühzeitig anhand bestimmter Kriterien gestellt werden. Für Venen sind diese 1. eingeschränkte Komprimierbarkeit der Vene mit dem Schallkopf, 2. Visualisierung von intravasalen Verdichtungen (mit Aussparung des Farbdoppler-kodierten Blutflusses), 3. die Abwesenheit respiratorischer Variationen des Gefäßdurchmessers, und 4. die Abwesenheit von spontanem Fluss bei der Doppleruntersuchung (43, 44). Ältere Thrombosen gehen mit der Schrumpfung des Lumens und der zunehmenden Inhomogenität und Echogenität einher (10). Beim postthrombotischem Syndrom sieht man ein geschrumpftes Gefäßlumen, eine verwaschene

Gefäßwandstruktur, eine verdickte Gefäßwand, eine Wandsklerose, Verkalkungen in der Gefäßwand, intraluminale Stränge (bindegewebig), Synechien, einen echogenen Gefäßinnenraum und eine fehlende komplette Komprimierbarkeit (10). Es ist zu beachten, dass frische Thromben wegen ihrer identischen akustischen Impedanz zu Blut im B-Bild in der Regel nicht nachweisbar sind und sich erst in der farbkodierten Duplexsonographie, am besten im Amplituden-/Power-mode, darstellen lassen. Nur durch das Dopplersignal ist zu beweisen, dass das Gefäß eingengt bzw. bei fehlendem Signal verschlossen ist (11). Der Farb-Doppler hat für die Diagnose einer Thrombose eine Sensitivität von 89-96% und eine Spezifität zwischen 94% und 100% (44).

Die Anteil thrombosierter Gefäße bzw. einer thrombosierten VJI lag bei den von uns untersuchten Patienten mit 28,7% im erwarteten Bereich. Bei *Van Rooden et al.* betrug die gesamt kumulative Inzidenz von katheterassoziierten Thrombosen 28,6% (43). Eine ebenfalls hohe kumulative Inzidenz von 33% subklinischer Thrombosen wurde bei kritisch kranken Patienten auf einer Intensivstation in einer Studie vom *Timsit et al.* gefunden (44).

In der Literatur ist die Inzidenz von zentralvenösen Fremdkörper-assoziierten Thrombosen sehr unterschiedlich beschrieben. Sie rangiert zwischen 2,3% und 67%, abhängig von den Patienten und den verwendeten Materialien bzw. Gegenständen. Nicht in allen Patienten wurden alle Halsgefäße systematisch untersucht (38, 40, 41, 42). Die meisten Thrombosen der V. jugularis interna scheinen asymptomatisch zu verlaufen, sind aber leicht mit Hilfe von Ultraschall feststellbar (40).

In unserer Studie wurde gezeigt, dass es statistisch gesehen keine Assoziation von Sepsis, Multiorganversagen, einem ZVD > 12 cm H₂O und dem intravasalen ZVK-Verlauf mit der Häufigkeit einer Thrombose gab. Eine signifikante Korrelation bestand hingegen zwischen der Thrombose rate und einer im Rahmen des Krankenhausaufenthalts vorherigen Punktion des Gefäßes. In den Fällen, in denen das Gefäß während des Krankenhausaufenthalts zuvor punktiert worden war, traten häufiger Thromben auf.

Anhand mehrerer Studien war eine katheterassoziierte zentrale Venenthrombose nicht assoziiert mit dem Vorkommen von multiplen Venenpunktionen oder arterieller Punktion (44), zudem unabhängig von Geschlecht (44, 46), SAPS (simplified acute physiology score) bei der Einführung des Katheters (44), der Erfahrung des Arztes (44), Kathetertyp (Anzahl der Lumen) (44, 51), Seite der venösen Punktion (44), Thrombozytenzahl (44), Anwesenheit von Schock (44) oder Krebs (44), Dauer der Kannülierung (51), Art der Heparinisierung (51) und Grunderkrankung (51).

Als Risikofaktoren einer katheterassoziierten Thrombose hingegen wurden genannt: Das Alter (> 65 Jahre) (44), die Route über die VJI (44), Organsystemversagen >1 während der Einführung (44), die Abwesenheit von einer therapeutischen Heparinisierung (44), Thrombogenität der Katheter (44), Katheter-Assoziierte Sepsis (44), Seite der Kathetereinführung (42, 46, 53), Anzahl der Tage mit einem Katheter (53), die Agens, die über den Katheter infundiert wird (53), Krebs (53) und die Kathetergröße (46, 53).

Hauptkomplikationen einer katheterassoziierten zentralen Venenthrombose sind eine katheterassoziierte Infektion (40, 52) und Sepsis (44), eiternde Thrombophlebitis, Fortpflanzung der Thrombose in die Vena cava superior, in intrakranielle Sinus oder Venen, und eine Lungenembolie (54). Anderen Untersuchungen zu Folge war die Inzidenz von Lungenembolien oder Bakteriämie in Patienten mit Thrombosen nicht häufiger als in Patienten ohne Thrombosen (47).

Bei Patienten, die häufig einer Jugularvenenpunktion unterzogen wurden, konnten neben zerstörten Venenklappen und Verdickungen der Venenwände im Punktionsbereich flottierende Thromben nachgewiesen werden (55). Diese Funde bestätigen die Wichtigkeit der Entfernung von zentralen Venenkathetern sobald es klinisch möglich ist.

Eine nicht primär durch Ultraschall zu erkennende, aber dennoch wichtige andere Komplikation ist die nosokomiale Infektion (beginnende Hautinfektionen auf der Seite des Kathetereintritts, Phlebitis, und Bakteriämie oder Sepsis). Die Inzidenz der inflammatorischen und infektiösen Komplikationen lag bei *Malatinsky et al.* insgesamt bei 5,7% (38) in einer anderen Studie bei 2,29% der Katheter (69). Als Erreger spielen Staphylokokken und *Candida* die bedeutendste Rolle. Risikofaktoren für Infektionen sind folgende: Lange Verweildauer der Katheter, thrombogenes Material, häufige Manipulation am Katheter, inadäquater Einsatz von Antiseptika und Instandhaltungstechniken, transparente Plastikverbände, kontaminierte Lösungen für die Haut, Lokalisation des Katheters und möglicherweise mehrlumige ZVKs (53). Präventive Maßnahmen sollten topische Desinfektionslösungen und Antibiotika, mit antiseptischen Agens beschichtete Katheter (53), optimale Wahl der Punktionsseite (69), maximale Vorsicht bei der Insertion des Katheters und geschultes Personal beinhalten (53, 69).

4.6.3 Vorteile der Ultraschallbildgebung

Neben den oben aufgeführten Vorteilen des Ultraschalls ist hervorzuheben, dass mit Hilfe der Sonographie eine Orientierung und das Erkennen von pathologischen Befunden der

VJI und/oder ACC erleichtert wird. Mit Hilfe der Ultraschallbildgebung ist von daher nicht nur eine kontrollierte Venenpunktion, sondern auch ein frühzeitiges Aufdecken von Komplikationsquellen sowohl für den weiteren Krankheitsverlauf als auch für weitere Kannülierungsmaßnahmen im Halsbereich möglich.

4.7 Limitationen der vorliegenden Untersuchung

4.7.1 Methodenkritik

In der vorliegenden Arbeit wurden die Befunde mit einem tragbaren Ultraschallgerät erhoben. Die häufig in der Literatur diskutierte Untersucherabhängigkeit und mangelnde Objektivierbarkeit von Ultraschallbefunden (11) wurde in dieser Studie minimiert, indem nur ein Untersucher die Befunderhebung unter standardisiertem Ablauf immer mit demselben Gerät durchführte und die Befunde durch einen weiteren Untersucher kontrolliert wurden. Das Patientenkollektiv bestand durchgehend aus sedierten und beatmeten Personen, die nach standardisierter Vorgehensweise zentralvenös kannüliert worden waren. Leider war eine komplette Untersuchung aufgrund der Schwere der Erkrankungen und der Gefährdung des Patienten bei bestimmten Lagerungsmanövern nicht immer möglich.

Mögliche Fehlerquellen und leichte Abweichungen waren bei der Untersuchung gegeben durch eine nicht immer identische Kopflagerung des Patienten, durch Winkelabweichung beim Aufsetzen des Schallkopfes und bei der Lagerung des Patienten in der 45°-Ebene.

Da statt des allgemein für solche Untersuchungen verwendeten nicht-sterilen Ultraschallgels aus Hygienegründen ein Hautdesinfiziens (Cutasept®) als Kontaktmedium zwischen Schallkopf und Haut genutzt wurde, kann dieses Vorgehen die Bildqualität beeinträchtigt haben. Da es jedoch die Infektionsgefahr des Katheters zu vermeiden bzw. minimieren galt, wurde dieses Vorgehen ebenso wie die zusätzliche Abschwächung der Ultraschallwellen durch den sterilen Handschuh, der über den Schallkopf gestülpt wurde, zugunsten der Patientensicherheit in Kauf genommen.

4.7.2 Intraindividuelle Variabilität

Bei der statistischen Auswertung der zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Messungen an einem Patienten ließ sich eine hohe Korrelation der Werte nachweisen. Es

zeigte sich in 18 von 20 Fällen kein statistisch relevanter Unterschied zwischen den Gefäßflächen. Das es an zwei Messpunkten zu einem signifikanten Unterschied kommt, ist durch den Umstand zu erklären, dass zwischen den beiden Erhebungen der Gefäßflächen bis zu fünf Tage liegen, in der Zeit bei einem Patienten peripher Ödeme, bei einem anderen Thromben aufgetreten sind, sich die Bedingungen also erheblich verändert haben. Vor diesem Hintergrund ist es erstaunlich, dass sich nicht auch in weiteren Messungen größere Unterschiede gezeigt haben.

Die zweifache Ausmessung der Gefäßflächen anhand der gespeicherten Computerbilder zeigt eine deutlich höhere Korrelation der Gefäßflächen, als bei der erneuten Messung am Patienten. Hierbei ist sicherlich nicht zu vernachlässigen, dass Störfaktoren und Abweichungen, die bei einer dynamischen Untersuchung auftreten, wie z.B. ein leicht veränderter Schallwinkel, hierbei keine Rolle spielen.

Die dem Ultraschallverfahren vorgeworfene Untersucherabhängigkeit wurde in dieser Studie wie oben aufgeführt nur bei zwei Werten während der dynamischen Messung der Gefäßflächen vorgefunden. Hingegen ergaben sich bei der erneuten Auswertung der gespeicherten Bilder keine Unterschiede in der Gefäßfläche, die sich als statistisch relevant erwiesen.

Man kann also festhalten, dass solange man mit dem Ultraschall dynamische Parameter misst, auch unter dem Versuch einer Standardisierung eine Variabilität bestehen bleiben wird, bei der wiederholten Auswertung von Standbildern jedoch keine relevanten Abweichungen zu erwarten sind.

4.7.3 Beobachtersvariabilität

Es ist nicht verwunderlich, dass es zwischen der Beurteilung der Standbilder durch die zwei Untersucher einige kleiner Abweichungen gab. Insbesondere ist zu bedenken, dass der erste Untersucher eine Bildinterpretation einer von ihm (ihr) selbst vorgenommen Untersuchung durchgeführt hatte und insofern nicht „geblindet“ war, während der zweite Untersucher bei der Beurteilung der Standbilder über derlei Informationen außer der aktuellen Uhrzeit der Untersuchung (dem Dateinamen) und dem Datum auf dem Standbild nicht verfügte.

Als weiteres, die Ergebnisse beider Untersucher leicht überlagerndes Problem ist zu nennen, dass beide Untersucher die digitalisierten Ultraschallaufnahmen an Bildschirmen

unterschiedlicher Auflösungsqualität befundeten. Eine statistisch begründbare Relevanz ergab sich hieraus jedoch nicht.

4.8 Fazit

Mit Hilfe der Ultraschallbildgebung lassen sich die großen Halsgefäße sehr einfach zum Zwecke der zentralvenösen Kannülierung lokalisieren und zur Abklärung eventueller Pathologien wie katheterassoziierter Thrombenbildung darstellen. Die Unterschiede in den Dimensionen werden leicht aufgedeckt und der Füllungszustand der Halsvenen ebenso wie mögliche Obstruktionen gut dargestellt.

Als bevorzugtes Punktionsziel bei einer geplanten ZVK-Anlage über die VJI ist auch unter Ultraschallbildgebung der Gefäßabschnitt auf Höhe des Ringknorpels anzusehen, weil hier die VJI in der Regel einen signifikant größeren Durchmesser als einige Zentimeter oberhalb aufweist. Bei einem weiter kaudalwärts gewählten Punktionsziel muss von einer erhöhten Gefahr einer Pleurapunktion ausgegangen werden. Bei einer transkutanen Einführung der Kanüle etwa 2 cm oberhalb des Ringknorpels ist bei einer Winkelführung von etwa 45° nach etwa 2,5 cm mit einer Punktion der VJI auf Höhe des Ringknorpels zu rechnen.

Das Ultraschallverfahren bietet grundsätzlich einen guten Überblick über die anatomische Situation und die Halsgefäßgröße. Aufgrund der Reflexion und Abschwächung der Ultraschallwellen ist die Eindringtiefe in das Gewebe jedoch eingeschränkt. Auch wenn man den Eintritt eines zentralen Venenkatheters in die Vene gut darstellen kann, lässt sich der intravasale Verlauf nur über wenige Zentimeter weiter verfolgen. Die mittels Ultraschallbildgebung kontrollierte Punktion und Kannülierung der VJI kann daher die ZVK-Lagekontrolle mittels intraatrialer EKG-Ableitung oder eines Röntgen-Thoraxbildes nicht erübrigen.

Zu erwähnen als weiteres Fazit dieser Studie ist neben der Kontrollmöglichkeit bei der Punktion der Halsgefäße auch der potentielle hohe didaktische Wert, den die Ultraschallbildgebung beim Erlernen zentralvenöser Kannülierungstechniken aufweist. Durch das Verfahren werden wichtige klinische Einsichten in den Gefäßverlauf und in eine eventuell vorhandene Gefäßpathologie vermittelt. Zusätzlich ergeben sich Einblicke in die Beschaffenheit und in die Lageverhältnisse der arteriellen und venösen Blutgefäße sowie ein weitergehendes Verständnis für mögliche Komplikationen.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende sonographische Studie zur Anatomie und Punktion der großen Blutgefäße am Hals befasste sich vor allem mit folgenden Fragestellungen: Wie tief etwa liegt die VJI unter der Hautoberfläche? Ist die Gefäßgröße abhängig von Alter, Geschlecht, BMI, Blutdruck, positiv endexpiratorischem Beatmungsdruck (PEEP), Halsumfang oder dem zentralvenösen Druck (ZVD)? Wie und in welchem Ausmaß verändern sich die Durchmesser der Vena jugularis interna (VJI) und der Arteria carotis communis (ACC) unter einem Lagewechsel von der 0°-Position in die sitzende Position? Wie hoch ist die Inzidenz von Thromben in der VJI?

Insgesamt wurden 101 kritisch kranke und beatmete Patienten der operativen Fachgebiete in die Untersuchung aufgenommen. Die sonographische Untersuchung erfolgte nach folgendem Protokoll: Zuerst wurden die Durchmesser der VJI und der ACC in 0°-Rückenlage auf der rechten sowie linken Seite in Inspiration, Expiration, auf Ringknorpelhöhe und drei Zentimeter oberhalb davon gemessen. Daraufhin wurden die Messungen in sitzender Position (45°) wiederholt. Die Punktionsstelle des ZVK und das Vorhandensein von Thromben oder Plaques wurden registriert.

Die Querschnittsfläche der VJI sowohl in Horizontallage als auch in (halb)sitzender Position des Patienten war in Inspiration signifikant größer als am Ende der Expiration, rechts größer als links, und auf Ringknorpelhöhe größer als drei Zentimeter oberhalb des Ringknorpels. Bei Lagewechsel in die sitzende Position zeigte sich zwar eine mittlere Reduktion der Querschnittsfläche der VJI um 25%, die VJI war aber dennoch gut sonographisch darstellbar und nicht kollabiert. Ein signifikanter Unterschied der Gefäßgröße lag einzig zwischen den Geschlechtern vor. Bei Männern war beidseits die VJI signifikant größer als bei Frauen. Die anderen untersuchten Faktoren hatten keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Querschnittsfläche der Venen.

Der Gefäßmittelpunkt der VJI lag im Durchschnitt auf der rechten Seite $2,1 \pm 0,4$ cm und links $1,9 \pm 0,4$ cm unter der Hautoberfläche. Die Punktionsstelle der VJI in der Tiefe des Gewebes liegt durchschnittlich auf Höhe des Ringknorpels. Es fand sich eine unerwartet hohe Thromboserate mit Lumeneinengungen der VJI von ca. 30%, die in der Mehrzahl der Fälle katheterassoziiert war.

Wir schließen aus diesen Ergebnissen, dass beatmete männliche wie weibliche Patienten zum Legen eines zentralvenösen Katheters für die Punktion der VJI nicht in Kopftieflage verbracht werden müssen, wenn die Kannülierung unter bildgebender Ultraschallkontrolle erfolgt. Die Punktionskannüle sollte etwa 2 cm oberhalb des Ringknorpels im 45°-Winkel durch die Haut geführt werden. In der Regel sollte die Kanüle dann nach ca. 2,5 cm die Gefäßwand erreichen und sich bei maximal scharfem Schliff in das Gefäß einführen lassen.

Die hohe Inzidenz von katheterassozierten Thromben in der VJI weist auf das Risiko kleinerer rezidivierender Lungenembolien und thrombenassoziierter Katheterinfektionen hin, selbst wenn es sich um heparinisierte Intensivpatienten handelt. Möglicherweise ist die regelmäßige sonographische Kontrolle der am Hals eingeführten zentralen Venenkatheter ein probates Mittel, um dieses Risiko durch Früherkennung zu vermindern.

6 Literatur

- (1) DeFalque RJ
Percutaneous catheterization of the internal jugular vein.
Anesth Analg.1974 Jan-Feb; 53(1):116-21

- (2) Bazaral M, Harlan S
Ultrasonographic anatomy of the internal jugular vein relevant to percutaneous cannulation.
Crit Care Med.1981 Apr; 9(4):307-10

- (3) Jasinski RW, Rubin JM
CT and ultrasonographic findings in jugular vein ectasia.
J Ultrasound Med.1984 Sep; 3(9):417-20

- (4) Dresser LP, McKinney WM
Anatomic and pathophysiologic studies of the human internal jugular valve.
Am J Surg.1987 Aug;154(2): 220-4

- (5) Lee KC, Chinyanga HM
Use of a modified Doppler flow detector for percutaneous cannulation of the internal jugular vein.
Can Anaesth Soc J. 1985 Sep; 32(5): 548-50

- (6) Andeweg J
The anatomy of collateral venous flow from the brain and its value in aetiological interpretation of intracranial pathology.
Neuroradiology. 1996 Oct; 38(7): 621-8

- (7) Benninghoff, Drenckhahn
Anatomie, Band 2
16.Auflage Urban & Fischer Verlag, München [u.a.] 2004

- (8) Lippert, Herbert
Lehrbuch Anatomie
6. Auflage Urban & Fischer Verlag, München [u.a.] 2003
- (9) Rauber/Kopsch
Anatomie des Menschen, Lehrbuch und Atlas
Band 4, Topographie der Organsysteme, Systematik der peripheren Leitungsbahnen
Thieme Verlag, Stuttgart [u.a.] 1988
- (10) W. Schäberle
Ultraschall in der Gefäßdiagnostik
2. Auflage Springer Verlag, Berlin [u.a.] 2004
- (11) Doris Neuerburg-Heusler und Michael Hennerici unter Mitarbeit von Thomas Karasch,
Wolfgang Rautenberg
Gefäßdiagnostik mit Ultraschall
3. Auflage Thieme Verlag, Stuttgart [u.a.] 1999
- (12) Pucheu A, Evans J, Thomas D, Scheuble C, Pucheu M
Doppler ultrasonography of normal neck veins.
J Clin Ultrasound. 1994 Jul-Aug; 22 (6): 367-73
- (13) Denys BG, Uretsky BF
Anatomical variations of internal jugular vein location: impact on central venous access.
Crit Care Med. 1991 Dec; 19 (12): 1516-9
- (14) Docktor B, So CB, Saliken JC, Gray RR
Ultrasound monitoring in cannulation of the internal jugular vein: anatomic and technical considerations.
Can Assoc Radiol J. 1996 Jun; 47 (3): 195-201

- (15) Mallory DL, Shawker T, Evans RG, McGee WT, Brenner M, Parker M, Morrison G, Mohler P, Veremakis C, Parrillo JE
Effects of clinical maneuvers on sonographically determined internal jugular vein size during venous cannulation.
Crit Care Med. 1990 Nov; 18 (11): 1269-73
- (16) Schreiber SJ, Lambert UK, Doepp F, Valdueza JM
Effects of prolonged head-down tilt on internal jugular vein cross-sectional area.
Br J Anaesth. 2002 Nov; 89 (5): 769-71
- (17) Lobato EB, Sulek CA, Moody RL, Morey TE
Cross-sectional area of the right and left internal jugular veins.
J Cardiothorac Vasc Anesth. 1999 Apr; 13 (2): 136-8
- (18) Armstrong PJ, Sutherland R, Scott DH
The effect of position and different manoeuvres on internal jugular vein diameter size.
Acta Anaesthesiol Scand. 1994 Apr; 38 (3): 229-31
- (19) Khatri VP, Wagner-Sevy S, Espinosa MH, Fisher JB
The internal jugular vein maintains its regional anatomy and patency after carotid endarterectomy: A prospective study.
Ann Surg. 2001; 233 (2): 282-286
- (20) Mortensen JD, Talbot S, Burkart JA
Cross-sectional internal diameters of human cervical and femoral blood vessels: relationship to subject's sex, age, body size.
Anat Rec. 1990 Jan; 226 (1): 115-24
- (21) Lichtenstein D, Saifi R, Augarde R, Prin S, Schmitt JM, Page B, Pipien I, Jardin F
The internal jugular veins are asymmetric. Usefulness of ultrasound before catheterization.
Intensive Care Med. 2001 Jan; 27 (1): 301-5

- (22) Rosen M, Latta IP, Ng WS
Percutaneous central venous cannulation.
Br Med J. 1980 Aug 2; 281(6236): 372-5
- (23) Botero M, White SE, Younginger JG, Lobato EB
Effects of Trendelenburg position and positive intrathoracic pressure on internal jugular vein cross-sectional area in anesthetized children.
J Clin Anesth. 2001 Mar; 13 (2): 90-3
- (24) Lobato EB, Florete OG Jr, Paige GB, Morey TE
Cross-sectional area and intravascular pressure of the right internal jugular vein during anesthesia: effects of Trendelenburg position, positive intrathoracic pressure, and hepatic compression.
J Clin Anesth. 1998 Feb; 10 (1): 1-5
- (25) Muralidhar K
Left internal versus right internal jugular vein access to central venous circulation using the Seldinger technique.
J Cardiothorac Vasc Anesth. 1995 Feb; 9(1): 115-6
- (26) Sonosite 180 Ultraschallsystem, www.sonosite.de
- (27) Gordon AC, Saliken JC, Johns D, Owen R, Gray RR
US-guided puncture of the internal jugular vein: complications and anatomic considerations.
J Vasc Interv Radiol. 1998 Mar-Apr; 9(2): 333-8
- (28) Terai C, Anada H, Matsushima S, Shimizu S, Okada Y
Effects of mild Trendelenburg on central hemodynamics and internal jugular vein velocity, cross-sectional area, and flow.
Am J Emerg Med. 1995 May; 13(3): 255-8

- (29) Verghese ST, Nath A, Zenger D, Patel RI, Kaplan RF, Patel KM
The effects of the simulated Valsalva maneuver, liver compression, and/or Trendelenburg position on the cross-sectional area of the internal jugular vein in infants and young children.
Anesth Analg. 2002 Feb; 94(2): 250-4, table of contents
- (30) Hayashi H, Ootaki C, Tsuzuku M, Amano M
Respiratory jugular venodilation: A new landmark for right internal jugular vein puncture in ventilated patients.
J Cardiothorac Vasc Anesth. 2000 Feb; 14 (1): 40-4
- (31) Attubato MJ, Katz ES, Feit F, Bernstein N, Schwartzman D, Kronzon I
Venous changes occurring during the valsalva maneuver: evaluation by intravascular ultrasound.
Am J Cardiol. 1994 Aug 15; 74(4): 408-10
- (32) Suarez T, Baerwald JP, Kraus C
Central venous access: The effects of approach, position, and head rotation on internal jugular vein cross-sectional area.
Anesth Analg. 2002 Dec; 95 (6): 1519-24, table of contents
- (33) Ulrich Welsch
Lehrbuch Histologie
2. Auflage Urban & Fischer Verlag, München [u.a.] 2006
- (34) Shenkin HA, Scheuerman WG, Spitz EB, Groff RA
Effect of change of position upon the cerebral circulation of man.
J Appl Physiol 1949 Dec; 2(6): 317-26
- (35) Lichtenstein D
Relevance of ultrasound in predicting the ease of central venous line insertions
7th International Trauma Anesthesiology Critical Care Symposium.
Eur J Emergencies 7: 46 1994

- (36) Hans Kaarmann
Ultraschalltechnik
VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1988
- (37) Schregel W, Straub H, Cunitz G, Ulmer WT
Ultrasound Doppler sonography: A simple method for the improvement of internal jugular vein catheterization.
Anaesthesist. 1985 Feb; 34 (2): 93-7
- (38) Malatinsky J, Faybik M, Samel M, Majek M
Surgical, infectious and thromboembolic complications of central venous catheterization.
Resuscitation. 1983 Aug; 10 (4): 271-81
- (39) Koski EM, Suhonen M, Mattila MA
Ultrasound-facilitated central venous cannulation.
Crit Care Med. 1992 Mar; 20 (3): 424-6
- (40) Lordick F, Hentrich M, Decker T, Hennig M, Pohlmann H, Hartenstein R, Peschel C
Ultrasound screening for internal jugular vein thrombosis aids the detection of central venous catheter-related infection in patients with haemato-oncological diseases: A prospective observational study.
Br J Haematol. 2003 Mar; 120 (6): 1073-8
- (41) Haire WD, Lynch TG, Lieberman RP, Lund GB, Edney JA
Utility of duplex ultrasound in the diagnosis of asymptomatic catheter-induced subclavian vein thrombosis.
J Ultrasound Med. 1991 Sep;10(9): 493-6
- (42) DeCicco M, Matovic M, Balestreri L, Panarello G, Fantin D, Morassut S, Testa V
Central venous thrombosis: an early and frequent complication in cancer patients bearing long-term silastic catheter—a prospective study.
Thromb Res 1997 Apr; 86(2): 101-113

- (43) Van Rooden CJ, Rosendaal FR, Barge RM, van Oostayen JA, van der Meer FJ, Meinders AE, Huisman MV
Central venous catheter-related thrombosis in haematology patients and prediction of risk by screening with Doppler-ultrasound.
Br J Haematol. 2003 Nov; 123 (3): 507-12
- (44) Timsit JF, Farkas JC, Boyer JM, Martin JB, Misset B, Renaud B, Carlet J
Central vein catheter-related thrombosis in intensive care patients: incidence, risk factors, and relationship with catheter-related sepsis.
Chest. 1998 Jul; 114 (1): 207-13
- (45) Wu X, Studer W, Skarvan K, Seeberger MD
High incidence of intravenous thrombi after short-term central venous catheterization of the internal jugular vein.
J Clin Anesth. 1999 Sep; 11 (6): 482-5
- (46) Trerotola SO, Kuhn-Fulton J, Johnson MS, Shah H, Ambrosius WT, Kneebone PH
Tunneled infusion catheters: increased incidence of symptomatic venous thrombosis after subclavian versus the internal jugular venous access.
Radiology. 2000 Oct; 217 (1) : 89-93
- (47) Ducatman BS, McMichan JC, Edwards WD
Catheter-induced lesions of the right side of the heart. A one-year prospective study of 141 autopsies.
JAMA 1985 Feb 8;253(6): 791-5
- (48) Riopelle JM, Ruiz DP, Hunt JP, Mitchell MR, Mena JC, Rigol JA, Jubelin BC, Riopelle AJ, Kozmenko VV, Miller MK
Circumferential adjustment of ultrasound probe position to determine the optimal approach to the internal jugular vein: a noninvasive geometric study in adults.
Anesth Analg. 2005 Feb; 100(2): 512-9

- (49) Borow M, Crowley JG
Evaluation of central venous catheter thrombogenicity.
Acta Anaesthesiol Scand Suppl. 1985; 81: 59-64
- (50) Balestreri L, De Cicco M, Matovic M, Coran F, Morassut S
Central venous catheter-related thrombosis in clinically asymptomatic oncologic patients:
a phlebographic study.
Eur J Radiol. 1995 Jul; 20(2): 108-11
- (51) Karnik R, Valentin A, Winkler WB, Donath P, Slany J
Duplex sonographic detection of internal jugular venous thrombosis after removal of
central venous catheters.
Clin Cardiol. 1993 Jan; 16(1): 26-9
- (52) Press OW, Ramsey PG, Larson EB, Fefer A, Hickman RO
Hickman catheter infections in patients with malignancies.
Medicine (Baltimore). 1984 Jul; 63(4): 189-200
- (53) Raad II
The pathogenesis and prevention of central venous catheter-related infections.
Middle East J Anesthesiol. 1994 Feb; 12(4): 381-403
- (54) McDonough JJ, Altemeier WA
Subclavian venous thrombosis secondary to indwelling catheters.
Surg Gynecol Obstet. 1971 Sep; 133(3): 397-400
- (55) Krünes U, Dübel HP, Romaniuk P, Warnke H, Engelmann U
Duplexsonographische Untersuchungen an häufig punktierten Venen bei
herztransplantierten Patienten.
Ultraschall Klin. Prax. 7 (1992) 147
- (56) Lichtenstein D, Courret JP
Feasibility of ultrasound in the helicopter.
Intensive Care Med 1998 Oct; 24(10): 1119

- (57) Verghese A, Widrich WC, Arbeit RD
Central venous septic thrombophlebitis--the role of medical therapy.
Medicine (Baltimore). 1985 Nov; 64(6): 394-400
- (58) Tryba M, Kleine P, Zenz M
Sonographic studies for optimizing the cannulation of the internal jugular vein.
Anaesthesist. 1982 Nov; 31(11): 626-9
- (59) Randolph AG, Cook DJ, Gonzales CA, Pribble CG
Ultrasound guidance for placement of central venous catheters: a meta-analysis of the literature.
Crit Care Med. 1996 Dec; 24(12): 2053-8
- (60) Brederlau J, Greim C, Schwemmer U, Haunschmid B, Markus C, Roewer N
Ultrasound-guided cannulation of the internal jugular vein in critically ill patients positioned in 30 degrees dorsal elevation.
Eur J Anaesthesiol. 2004 Sep; 21(9): 684-7
- (61) Pieckenpack A, Klebel F, Dorenbeck U, Scholmerich J, Lock G, Schlottmann K
Evaluation eines tragbaren Ultraschallgerätes im Routinebetrieb der Klinik.
RoFo-Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr. 2002 Mar; 174 (3) : 349-52
- (62) Yildirim I, Yuksel M, Okur N, Okur E, Kylic MA
The sizes of internal jugular veins in Turkish children aged between 7 and 12 years.
Int J Pediatr Otorhinolarygol. 2004 Aug; 68(8): 1059-62
- (63) Trautner H, Greim CA, Arzet H, Schwemmer U, Roewer N
Ultrasound-guided central venous cannulation in neuropaediatric patients to avoid measures causing potential increase in brain pressure.
Anaesthesist. 2003 Feb; 52(2): 115-9

(64) Parry G

Trendelenburg position, head elevation and midline position optimize right internal jugular vein diameter.

Can J Anaesth. 2004 Apr; 51(4): 379-81

(65) Sulek CA, Blas ML, Lobato EB

A randomized study of left versus right internal jugular vein cannulation in adults.

J Clin Anesth. 2000 Mar; 12(2): 142-5

(66) Mallory DL, McGee WT, Shawker TH, Brenner M, Bailey KR, Evans RG, Parker MM, Farmer JC, Parillo JE

Ultrasound guidance improves the success rate of internal jugular vein cannulation. A prospective, randomized trial.

Chest. 1990 Jul; 98(1):157-60

(67) Gann M Jr, Sardi A

Improved results using ultrasound guidance for central venous access.

Am Surg. 2003 Dec; 69(12): 1104-7

(68) Martin MJ, Husain FA, Piesman M, Mullenix PS, Steele SR, Andersen CA, Giacompe GN

Is routine ultrasound guidance for central line placement beneficial? A prospective analysis

Curr Surg. 2004 Jan-Feb;61(1):77-4

(69) Deshpande KS, Hatem C, Ulrich HL, Currie BP, Aldrich TK, Bryan-Brown CW, Kvetan V

The incidence of infectious complications of central venous catheters at the subclavian, internal jugular, and femoral sites in an intensive unit population.

Crit Care Med. 2005 Jan; 33(1): 234-5

(70) Stickle BR, McFarlane H

Prediction of a small internal jugular vein by external jugular vein diameter.

Anaesthesia. 1997 Mar; 52(3): 220-2

(71) Jang T, Aubin C, Naunheim R, Char D

Ultrasonography of the internal jugular vein in patients with dyspnea without jugular venous distention on physical examination.

Ann Emerg Med. 2004 Aug; 44(2): 160-8

(72) to the Editor: Ultrasonographie of the internal jugular vein in patients with dyspnea.

Annals of Emergency Medicine April 2005, Volume 5, Number 4

(73) Armstrong PJ, Cullen M, Scott DHT

The "SiteRite" ultrasound machine – an aid to internal jugular vein cannulation.

Anaesthesia 1993 Apr; 48(4): 319-323

(74) Brass P, Volk O, Leben J, Schregel W

Central venous cannulation – always with ultrasound support?

Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 2001 Oct; 36(10): 619-27

7 Anhang

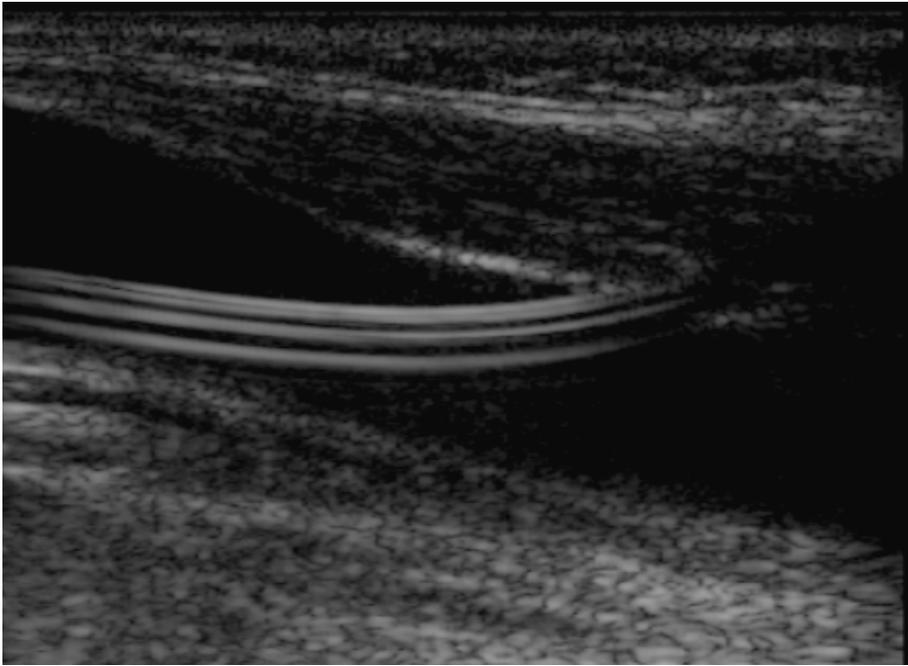


Abb. 7.1: Katheterverlauf im Sagittalschnitt

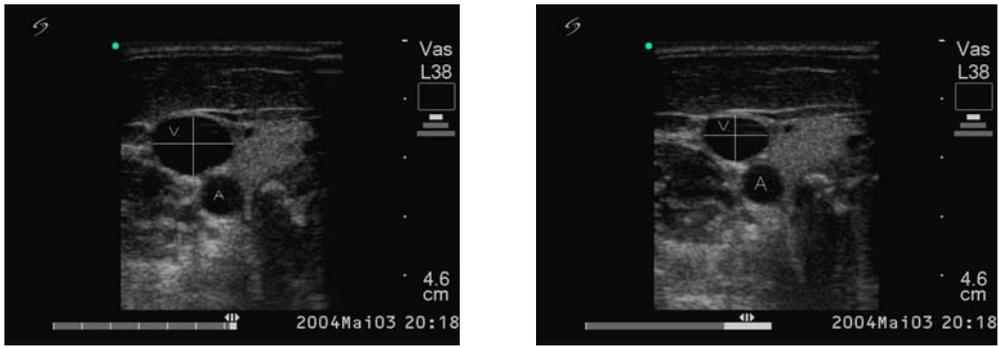


Abb. 7.2: Darstellung der linken VJI mit zwei orthogonalen Durchmessern und der A. carotis communis in Inspiration (links) und Expiration (rechts).

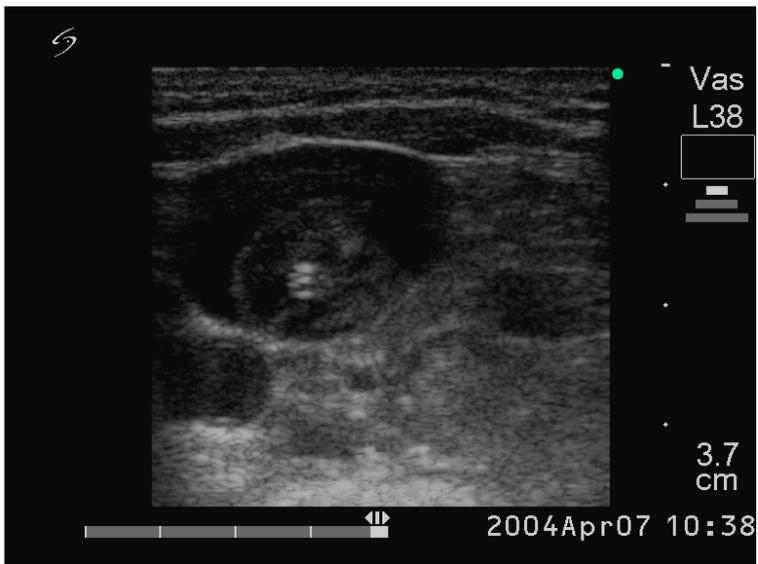


Abb. 7.3: Thrombose der VJI

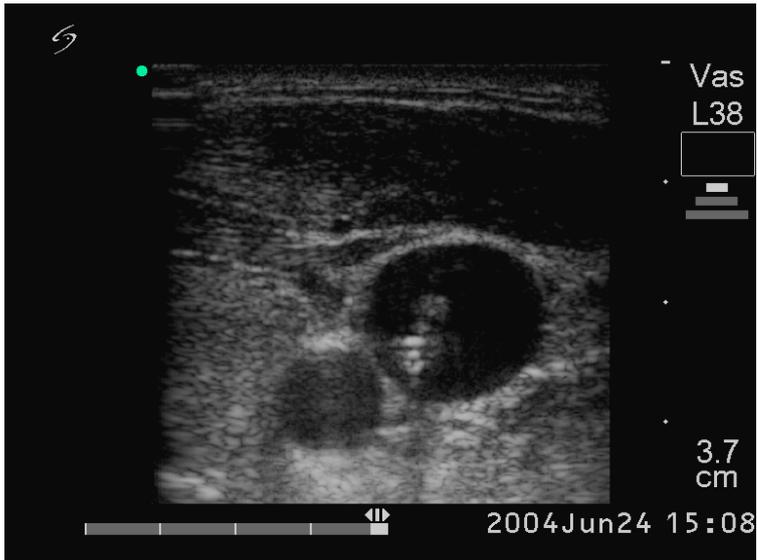


Abb. 7.4: Thrombose der VJI

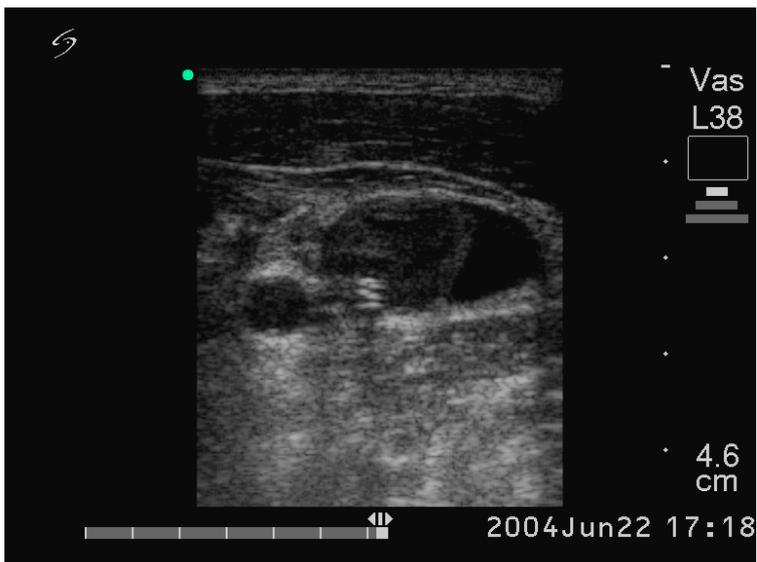


Abb. 7.5: Thrombose der VJI

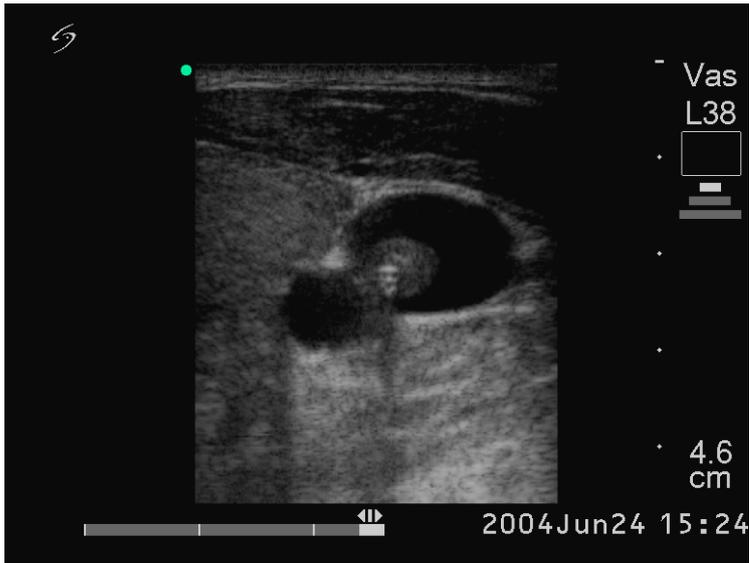


Abb. 7.6: Thrombose der VJI

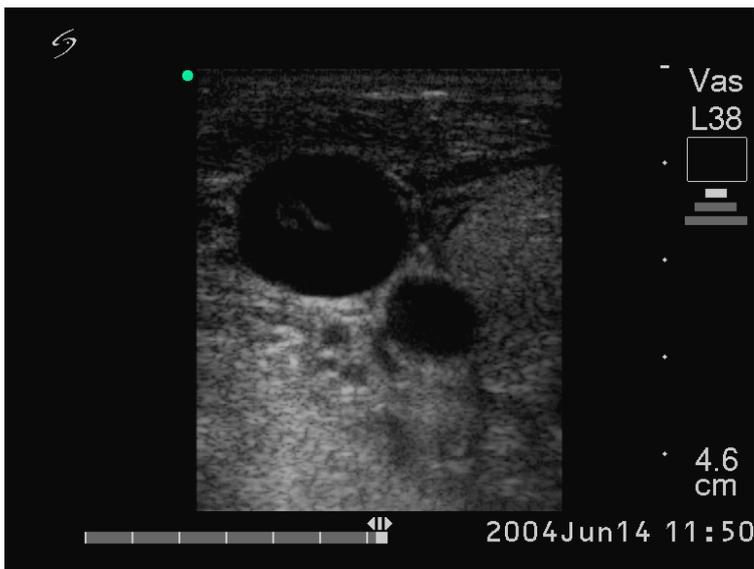


Abb. 7.7: Thrombose der VJI

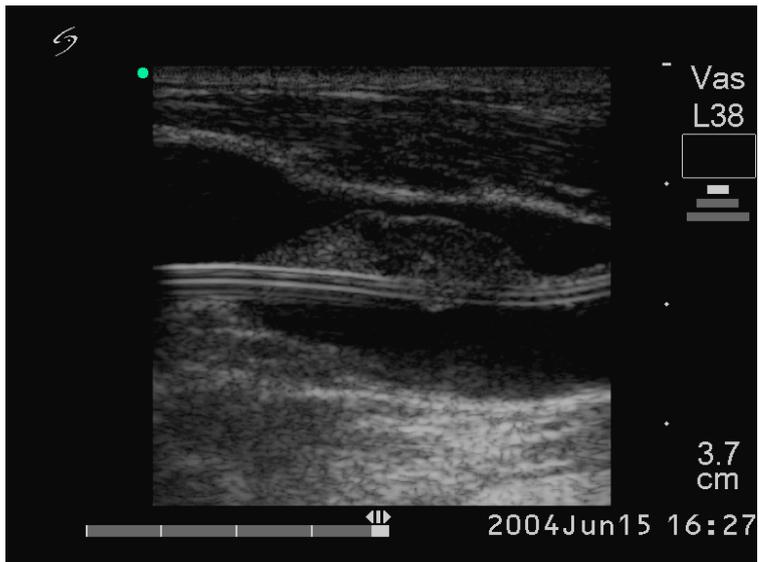


Abb. 7.8: Thrombose der VJI

Danksagung

Herrn Prof. Dr. N. Roewer danke ich für das mir entgegengebrachte Vertrauen, für die Ermöglichung der zügigen Durchführung der Arbeit in einem hervorragenden Team und für die freundliche Übernahme des Korreferats.

Herrn Prof. Dr. C.-A. Greim danke ich für die Überlassung des Promotionsthemas, die konstante und umfassende wissenschaftliche Betreuung bei der Erstellung der Arbeit, sowie für die unermüdliche, hervorragende und freundliche Beratung, die nicht hätte besser sein können.

Weiterhin danke ich denjenigen Mitarbeitern der Kliniken für Anästhesiologie und Chirurgie, die mich während des praktischen Teils unterstützt haben.

Korbinian Müller, Robert Grosch und Herrn Spahn möchte ich für die Beratung in Fragen der Statistik danken.

Für die Korrektur des Manuskripts und die wertvolle Unterstützung möchte ich Andreas Jandl und Frank Sievers danken.

Ein herzliches Dankeschön auch an Frau Dr. Silke Kniesch für die umfassende Unterstützung in allen Belangen.