

Aus der Klinik für Anästhesiologie
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Volk

Ein Ausbildungscurriculum über die ultraschall- gesteuerte Punktion der Vena Subclavia mittels Micro-Convex-Schallkopf

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2025

vorgelegt von:

Moritz Eizenhammer

geb. am: 06.09.1988 in Berlin

Tag der Promotion: 24.07.2025

Dekan: Prof. Dr. M. Hannig

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. A. Meiser

2. Berichterstatter: Prof. Dr. B. Scheller-Clever

Widmung

Diese Dissertation ist meinen Eltern gewidmet, die mich mit ihrer Liebe, Geduld und Unterstützung auf diesem langen Weg begleitet haben.

Inhaltsverzeichnis

1	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	5
2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
3	ZUSAMMENFASSUNG	8
3.1	Deutsche Zusammenfassung	8
3.2	Abstract.....	9
4	EINLEITUNG	10
4.1	Ausbildung von Ärzten in der ultraschallgesteuerten Punktion der Vena Subclavia zur Etablierung eines zentralvenösen Katheters	10
4.2	Zentralvenöse Katheter	11
4.3	Vergleich eines Subclavia-ZVK gegenüber anderen Zugangswegen	11
4.4	Ultraschallgesteuerte Punktionstechniken	12
4.5	Vorteile der Microconvex-Sonde zur Punktion der VSC	13
4.6	Die Microconvex-Inplane-Subclavian-Puncture (MISP)-Technik	14
4.7	Simulationsbasiertes Training für Subclaviapunktionen	16
4.8	Trainingsphantome für ultraschallgesteuerte Gefäßpunktionen	16
4.9	Ziel der Arbeit / Fragestellung.....	17
5	MATERIAL UND METHODEN	18
5.1	Ethikvotum	18
5.2	Probanden	18
5.3	Datenerfassung	18

5.4	MISP-Kursstruktur	20
5.5	Station 1: Fragebogen und Datenerhebungsbogen	22
5.6	Station 2: Eingangstest / Abschlusstest	23
5.6.1	Gefäßverlauf am Modellskelett.....	23
5.6.2	Anatomiepunktescore	27
5.6.3	Multiple Choice-Test	29
5.7	Station 3: Theorie	32
5.7.1	Anatomie.....	32
5.7.2	Videotutorial über MISP-Technik	32
5.8	Station 4: Praxis.....	35
5.8.1	Ultraschallübungen der MISP-Technik an Schallmodels	35
5.8.2	Ultraschallgesteuerte Gefäßpunktion mittels MCS am Phantom	39
5.8.3	Entwicklung eines anatomischen Ultraschallphantoms zur Punktion der VSC.....	40
5.8.4	ZVK-Annahrt	44
5.8.5	ZVK-Komplikationen.....	45
5.9	Evaluation.....	47
5.10	Statistische Analyse	48
5.11	Diagramme und Grafiken	48
6	ERGEBNISSE	49
6.1	Probanden	49
6.2	Anatomie Punktescore	50
6.3	Multiple Choice-Test	52
6.4	Blindversuch Punktescore	53

6.5	Tiefenschätzung der VSC	54
6.6	Schallzeiten mit der MCS	56
6.7	Anatomisches Punktionsphantom.....	57
6.8	Punktionszeiten mit der MCS am Modell	59
6.9	ZVK-Annaht	60
6.10	ZVK-Komplikationen.....	61
6.11	Evaluation	63
7	DISKUSSION	64
7.1	Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung	65
7.1.1	MISP-Technik.....	65
7.1.2	MISP-Kursstruktur: Ein simulationsbasiertes Ausbildungskonzept.....	67
7.1.3	Vermittlung von anatomischen, theoretischen und praktischen Kenntnissen rund um die MISP-Technik.	68
7.1.4	Entwicklung eines anatomischen Punktionsphantoms	71
7.2	Methodische Limitationen	72
7.3	Schlussfolgerung und Ausblick	72
8	LITERATURVERZEICHNIS	74
9	DANKSAGUNG	77
10	LEBENS LAUF FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.	
11	ANHANG	78
11.1	CRF.....	78

1 Abkürzungsverzeichnis

ASC	<i>Arteria subclavia</i>
CABSI	<i>catheter related bloodstream infections</i>
CME	<i>Continuing Medical Education</i>
KRINKO	<i>Krankenhaushygiene und Infektionsprävention</i>
LMO	<i>Landmarkenorientiert</i>
LSK	<i>Linearschallkopf</i>
MCS	<i>Microconvex-Sonde</i>
MISP	<i>Die Microconvex-Inplane-Subclavian-Puncture</i>
VCS	<i>Vena cava superior</i>
VJI	<i>Vena jugularis interna</i>
VSC	<i>Vena subclavia</i>
ZVK	<i>Zentralvenöser Katheter</i>

2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich zwischen Linearschallkopf (A) und Microconvexsonde (B)	13
Abbildung 2: Schnittebenen der Microconvex-Inplane-Subclavian-Puncture (MISP)-Technik.	15
Abbildung 3: Kursaufbau	20
Abbildung 4: Fragebogen über die klinische Erfahrung der Probanden.....	22
Abbildung 5: Modellskelett.....	24
Abbildung 6: Digitale Bildbearbeitung.	25
Abbildung 7: Anatomisches Idealbild.....	25
Abbildung 8: Bildformatierung Gefäßanatomie am Skelettmodell.	26
Abbildung 9: Anatomiepunktescore.....	28
Abbildung 10: Multiple choice-Fragen	30
Abbildung 11: 3D-Anatomie App.....	32
Abbildung 12: Videotutorial.	32
Abbildung 13: Blindversuch mit der Microconvex-Sonde.	36
Abbildung 14: Tiefenschätzung der VSC.	37
Abbildung 15: Ultraschallphantome.	39
Abbildung 16: Entwicklung des anatomischen Ultraschallphantoms.....	41
Abbildung 17: Vergleich zwischen anatomischen Ultraschallphantom und Schallmodell.	43
Abbildung 18: Zentralvenöser-Katheter (ZVK)-Annahtstation.....	44
Abbildung 19: Röntgen-Thorax-Aufnahmen von typischen Komplikationen.....	46
Abbildung 20: Evaluationsbogen.	47
Abbildung 21: Erfahrungen der Probanden mit ZVK.....	49
Abbildung 22: Ergebnisse beim Anatomiepunktescore.	51
Abbildung 23: Ergebnisse im Multiple Choice Test.....	52

Abbildung 24: Ergebnisse im Blindversuch.....	53
Abbildung 25: Ergebnisse der Tiefenschätzung.....	55
Abbildung 26: Ergebnisse der Schallzeiten.	56
Abbildung 27: Vergleich des anatomischen Punktionsphantoms mit einem Schallmodel.....	57
Abbildung 28: Tiefe der anatomischen Strukturen am Punktionsphantom und am Schallmodel.	58
Abbildung 29: Ergebnisse der Punktionszeiten.	59
Abbildung 30: Ergebnisse der Annahtstation von zentralvenösen-Kathetern (ZVK).....	60
Abbildung 31: Ergebnisse über das Erkennen typischer Komplikationen bei der Anlage eines zentralvenösen Katheters (ZVK).....	61
Abbildung 32: Ergebnisse der Kursevaluierung.	63

3 Zusammenfassung

3.1 Deutsche Zusammenfassung

Mit der ultraschallgesteuerten Punktion der Vena subclavia (VSC) zur Etablierung eines zentralvenösen Katheters (ZVK) sind viele Ärzte oft nur wenig vertraut. An den Kliniken fehlt es an formalen Ausbildungsprogrammen zur Erlernung dieser Technik. Eine spezielle Microconvex-Sonde (MCS) bietet aufgrund ihrer kompakten konvexen Form zusätzliche Vorteile. Die Microconvex-Inplane-Subclavian-Puncture (MISP)-Technik führt die Vorteile der MCS und einer in-plane Punktion für ZVK-Anlagen in die VSC zusammen. Um ein unproblematisches, risikofreies Üben der Punktionstechnik zu ermöglichen, werden Phantome benötigt, die äußerst teuer und kaum verfügbar sind. Ein evaluiertes standardisiertes Curriculum zur Erlernung der MISP-Technik fehlte bis dato.

Das Ziel dieser Arbeit lag in der Entwicklung eines standardisierten simulationsbasierten Curriculums, welches nachweislich die theoretischen und praktischen Kompetenzen der Teilnehmer im Umgang mit der MCS zur Punktion der VSC mittels MISP-Technik sowie grundlegende Kenntnisse über die Anwendung von ZVKs verbessern soll. Darüber hinaus sollte gezeigt werden, dass die MISP-Technik auch für unerfahrene ZVK-Anwender einfach zu erlernen ist. Am Universitätsklinikum des Saarlandes in Homburg wurden mehrere Kursveranstaltungen durchgeführt, wobei die Teilnehmer, größtenteils Anästhesisten, als Probanden für eine prospektive Beobachtungsstudie dienten. Der Kurs bestand aus einem theoretischen sowie einem praktischen Teil. Als Hauptzielgrößen wurden bei den Teilnehmern Ergebnisse in Wissenstests, Punktescores sowie benötigte Zeiten bei Schall- und Punktionsübungen vor und nach Kursabsolvierung erfasst. Als Nebenzielgröße wurden dabei Unterschiede zwischen den Ergebnissen erfahrener und unerfahrener ZVK-Anwendern betrachtet. Für die Punktionsübungen wurde ein anatomisches Phantom entwickelt, welches den Kursteilnehmern ein kostengünstiges und realitätsnahes Üben der Punktion von VSC mittels MCS ermöglichen sollte. Insgesamt wiesen die Probanden nach Absolvierung der jeweiligen Kursabschnitte signifikant verbesserte theoretische Kenntnisse, einen verbesserten praktischen Umgang mit der MCS zur VSC-Punktion und bessere Punktionsfähigkeiten auf. Nach Kursabsolvierung fanden wir nahezu keinen signifikanten Unterschied zwischen erfahrenen und unerfahrenen ZVK-Anwendern. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Erlernung der MISP-Technik mit diesem Curriculum effektiv und auch für unerfahrene ZVK-Anwender geeignet ist.

3.2 Abstract

Many doctors are unfamiliar with ultrasound-guided puncture of the subclavian vein (SCV) to establish a central venous catheter (CVC). Hospitals lack formal training programmes for learning this technique. A special microconvex probe (MCS) offers additional advantages due to its compact convex shape. The microconvex in-plane subclavian puncture (MISP) technique combines the advantages of the MCS and an in-plane puncture for CVC insertions in the SCV. In order to enable easy, risk-free practice of the puncture technique, phantoms are required, which are extremely expensive and rarely available. An evaluated standardised curriculum for learning the MISP technique has been lacking to date.

The aim of this work was to develop a standardised simulation-based curriculum that would demonstrably improve the theoretical and practical skills of participants in handling the MCS for puncturing the SCV using the MISP technique as well as basic knowledge about the use of CVCs. In addition, the aim was to demonstrate that the MISP technique is easy to learn even for inexperienced CVC users. Several courses were held at the Saarland University Hospital in Homburg, with the participants, mostly anaesthetists, serving as subjects for a prospective observational study. The course consisted of a theoretical and a practical part. The main outcome measures were the participants' results in knowledge tests, point scores and the time required for ultrasound and puncture exercises before and after completing the course. Differences between the results of experienced and inexperienced CVC users were considered as a secondary objective. An anatomical phantom was developed for the puncture exercises to enable the course participants to practise the puncture of SCV using MCS in a cost-effective and realistic manner. Overall, the participants showed significantly improved theoretical knowledge, improved practical handling of the MCS for SCV puncture and better puncture skills after completing the respective course sections. After completing the course, we found almost no significant difference between experienced and inexperienced CVC users. The results indicate that learning the MISP technique with this curriculum is effective and also suitable for inexperienced doctors.

4 Einleitung

In dieser Dissertation wird aus Gründen der Lesefreundlichkeit auf eine gendersensible Sprache verzichtet. Alle geschlechtsspezifischen Bezeichnungen sind im Sinne der wissenschaftlichen Tradition neutral zu verstehen und schließen sämtliche Geschlechter gleichermaßen ein.

4.1 Ausbildung von Ärzten in der ultraschallgesteuerten Punktion der Vena Subclavia zur Etablierung eines zentralvenösen Katheters

Eine Vielzahl von Patienten, insbesondere kritisch kranke, benötigen im perioperativen Verlauf oder stationären Krankenhausaufenthalt einen zentralvenösen Katheter (ZVK). Dieser ermöglicht u.a. eine effektive und problemlose Gabe von Katecholaminen sowie gefäßreizenden Lösungen. Die Auswahl der Vene hängt von verschiedenen Faktoren ab. Vor- und Nachteile des jeweiligen Zugangs müssen für jeden Patienten individuell abgewogen werden. Ein Subclavia-ZVK weist im Allgemeinen eine hohe Erfolgsrate sowie ein günstiges Risikoprofil auf. Bislang ist hier jedoch das Pneumo-/Hämatothorax-Risiko gegenüber anderen Punktionswegen am höchsten [12].

Die Verwendung von Ultraschall zur Verfahrensführung bei Subclavia-ZVKs hat gegenüber der landmarkenorientierten Technik (LMO) jedoch gezeigt, dass eine höhere Erfolgsrate erzielt sowie das Risiko für spezifische mechanische Komplikationen reduziert werden. Dies gilt insbesondere bei Patienten mit einer schwierigen Oberflächenanatomie [9]. Für die ultraschallgesteuerte Punktion der VSC wird in den meisten Fällen bisweilen ein Linearschallkopf (LSK) verwendet. Der Nutzen einer Microconvex-Sonde (MCS) bietet aufgrund ihrer kompakten konvexen Form zusätzliche Vorteile. Die Vorteile der MCS und einer in-plane Punktion, in der die Punktionsnadel im Längsschnitt abgebildet und die Nadelspitze dauerhaft visualisiert wird, werden in der sog. Microconvex-Inplane-Subclavian-Puncture (MISP)-Technik zusammengeführt.

Die ultraschallgesteuerte Punktion der Vena subclavia (VSC) zur Etablierung eines ZVK stellt insbesondere für Anästhesiologen und Intensivmediziner eine wichtige klinische Tätigkeit dar, mit der viele Ärzte ungenügend vertraut sind. An den Kliniken fehlt es an formalen Ausbildungsprogrammen zur Erlernung dieser Technik.

Um ein unproblematisches, risikofreies Üben der Punktionstechnik zu ermöglichen, werden ZVK- Trainingsphantome benötigt, die äußerst teuer und kaum verfügbar sind.

Die Verbesserung dieser Ausbildungssituation stellt ein wichtiges Ziel dar.

Um die ärztliche Kompetenz bei der ultraschallgesteuerten Punktion der VSC zu steigern und Komplikationen in diesem Zusammenhang zu verringern, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Entwicklung eines standardisierten simulationsbasierten Ausbildungskonzepts zur Erlernung der MISP-Technik.

4.2 Zentralvenöse Katheter

Ein zentralvenöser Katheter wird in eine herznahe Vene vorgeschoben und ermöglicht die Applikation zahlreicher Medikamente. Dies ermöglicht u.a. eine effektive und problemlose Gabe von Katecholaminen sowie gefäßreizende Lösungen.

Die Auswahl der Vene hängt von verschiedenen Faktoren ab. Vor- und Nachteile des jeweiligen Zugangs müssen für jeden Patienten individuell abgewogen werden. Für die Katheteranlage können die Vena jugularis interna (VJI), Vena femoralis und die VSC punktiert werden.

4.3 Vergleich eines Subclavia-ZVK gegenüber anderen Zugangswegen

Bei einem intubiert beatmeten Patienten kommt es infolge des erhöhten intrathorakalen Drucks zu erhöhten Blutdrücken in den herznahen extrathorakalen Venen, was teilweise die VJI prominent hervortreten lässt und deren Punktion für eine ZVK-Anlage vereinfacht.

Beim wachen spontanatmenden Patienten ist dies nicht der Fall. Erst durch eine Kopftieflage (Trendelenburg-Lagerung) vergrößert sich der Durchmesser der VJI so weit, dass eine problemlose Punktion möglich wird. Aufgrund von Dyspnoe oder einer vorliegenden Herzinsuffizienz ist oft keine Kopftieflage des Patienten möglich. Die Punktion der VSC bietet hier eine gute Alternative, da hier keine Trendelenburg-Lagerung nötig ist und die Vene selbst im Schock nicht kollabiert, da diese durch Bindegewebe an den umliegenden Strukturen befestigt ist und so auch bei hypovolämischen Verhältnissen punktabel ist [2]. Bei wachen Patienten oder Traumapatienten mit Verdacht auf eine Halswirbelsäulenverletzung wird häufig ein Subclavia-ZVK bevorzugt, da hier ein Abnehmen der Halskrause und eine spezielle Kopflagerung nicht erforderlich sind. Eine multi-zentrische prospektive, randomisierte Studie bei erwachsenen Intensivpatienten ergab, dass der Anlageort im Vergleich zur Vena femoralis und VJI mit weniger Katheter-assoziierten Blutstrominfektionen (catheter related bloodstream infections, CABSIs) assoziiert ist [12]. Nach einer Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) sollte insbesondere bei Patienten, welche zur Langzeitbeatmung tracheotomiert werden, bezüglich des erhöhten Infektionsrisikos auf einen Jugulariskatheter verzichtet werden [4].

Bislang ist jedoch das Pneumo-/Hämatothorax-Risiko bei Subclavia-ZVKs gegenüber anderen Punktionswegen am höchsten [4].

4.4 Ultraschallgesteuerte Punktionstechniken

Grundsätzlich können ultraschallgesteuerte Punktionen in der long-axis in-plane und in der short-axis out-of-plane Technik erfolgen [15].

Short axis: Die US-Sonde wird in einer transversalen Position relativ zum Gefäß platziert. Auf dem US-Bildschirm erscheint ein Querschnittsbild des Gefäßes. Diese Ansicht wird als „kurze Achse“ bezeichnet.

Long axis: Eine "langachsige" Ansicht (d. h. ein Längsbild des Gefäßes) erhält man, indem der Schallkopf parallel zum Verlauf des Gefäßes positioniert wird.

Die Begriffe out of plane und in-plane beschreiben die Richtung der Punktionsnadel relativ zur Ultraschallebene.

Out of plane-Technik: Die Punktionsnadel ist hier nur im Querschnitt zu sehen. Die Technik ist für den ungeübten zwar einfacher in der Handhabung, jedoch birgt sie aufgrund der nicht permanenten Visualisierung der Nadelspitze ein erhöhtes Risiko für Komplikationen [10].

In-plane Technik: Die Punktionsnadel ist im Längsschnitt abgebildet, wodurch die Nadelspitze dauerhaft visualisiert wird.

Für die Punktion der VSC sollte die long-axis in-plane-Technik favorisiert werden, da diese mit einem niedrigeren Risiko für Verletzungen der Venenhinterwand assoziiert ist [18].

4.5 Vorteile der Microconvex-Sonde zur Punktion der VSC

Die Beschaffenheit des Oberflächenreliefs der infraclaviculären Mohrenheimschen Grube, in welcher die VSC punktiert wird, ist stark vom Habitus des Patienten abhängig. Bei normalgewichtigen und insbesondere kachektischen Verhältnissen weist die Grube eine ausgeprägte Konkavität auf. Die schmale konvex geformte MCS kann sich dem Oberflächenrelief dieser Region bestens anschmiegen. Durch das fächerförmige Ultraschallbild kann die VSC ein Stück weit unter der Clavicula dargestellt werden, was bei der Verwendung eines LSK nicht möglich ist. Abbildung 1 zeigt MCS und LSK im direkten Vergleich.

Durch die schmale Schallkopfgröße wird eine proximalere Gefäßpunktion der VSC ermöglicht, was den Vorteil hat, dass diese hier meist oberflächlicher in der Brustwand verläuft.

Aufgrund der kleinen Schallkopfgröße der MCS könnte die Einstellung von Gefäßen in der langen Achse im Vergleich mit einem LSK stark vereinfacht werden, da hier ein deutlich kürzerer gerader Gefäßverlauf ausreicht, um dieses problemlos in der langen Achse abzubilden.

Ein weiterer Vorteil der MCS liegt in der Möglichkeit, eine Lagekontrolle des Drahtes ohne zweiten Schallkopf oder Untersucher durchzuführen sowie einen Pneumothorax sonographisch auszuschließen. Dadurch kann auf eine anschließende routinemäßige, zeit- und kostenintensive Röntgenthorax-Aufnahme theoretisch verzichtet werden. Aufgrund der geringen Größe der MCS kann mit dieser problemlos von supraclaviculär in die obere Thoraxapertur hineingeschallt werden. Form und Schallfrequenzspektrum der MCS ermöglichen die Darstellung von tiefen Strukturen, wie der Vena cava superior und Pulmonalarterien. Ein Umschlagen des Drahtes in diesen tiefen Strukturen kann so gleichermaßen ausgeschlossen werden wie eine Drahtfehl- lage in die ipsilaterale VJI.

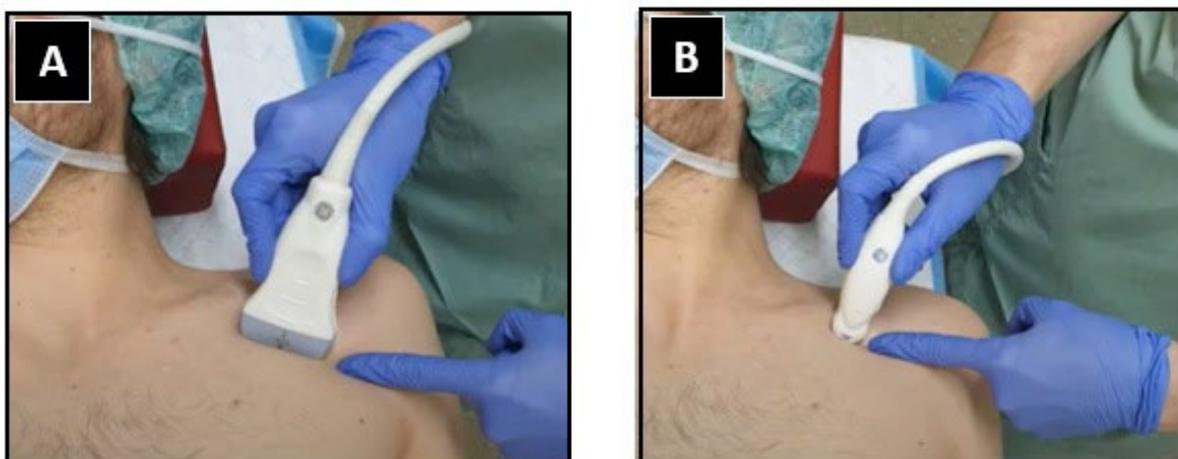


Abbildung 1: Vergleich zwischen Linearschallkopf (A) und Microconvexsonde (B)

4.6 Die Microconvex-Inplane-Subclavian-Puncture (MISP)-Technik

Die MISP-Technik führt die Vorteile der MCS und einer in-plane Punktion der VSC zusammen. Der erwachsene Patient sollte in eine leichte Kopftieflagerung (Trendelenburg-Lagerung) gebracht werden. Schulter und Arm bleiben neutral gelagert und der Kopf wird nicht gedreht. Nach der Lagerung muss ein Ultraschall-Pre-scan zur Visualisierung der Gefäßanatomie erfolgen. Dies ist entscheidend für die Auswahl der sichersten Punktionsstelle. Die Punktion sollte so proximal wie möglich erfolgen, da die VSC hier am oberflächlichsten verläuft und der Venendurchmesser am größten ausfällt [4]. Um eine Fehlpunktion zu vermeiden ist die sichere Identifizierung von Arteria subclavia (ASC) und VSC essenziell. Dies wird gewährleistet, indem zuerst die ASC aus der kurzen Achse heraus in der langen Achse eingestellt wird. Anschließend wird der Schallkopf nach kaudal verschoben, bis die VSC im Längsschnitt dargestellt ist. Nun wird die MCS im Verlauf der Vene so weit nach medial verschoben, bis der Schallkopf Kontakt mit der Clavicula hat. Die Punktion erfolgt in der in-plane Technik, da diese mit weniger Hinterwandsverletzungen und sonstigen Komplikationen assoziiert ist [18]. Die Punktionsnadel wird während dem Vorschieben sonographisch visualisiert, somit kann ein Durchstechen der Venenwand und Verletzung nahegelegener Strukturen weitestgehend verhindert werden [5]. Nach Drahteinlage erfolgt die Überprüfung der korrekten Drahtlage zum einen über der Punktionsstelle und zum anderen durch ein Schallfenster in der Fossa supraclavicularis. Hier kann der Draht bis in die Vena brachiocephalica bzw. Vena cava superior verfolgt werden. Die MISP-Technik ist in Abbildung 2 abgebildet.

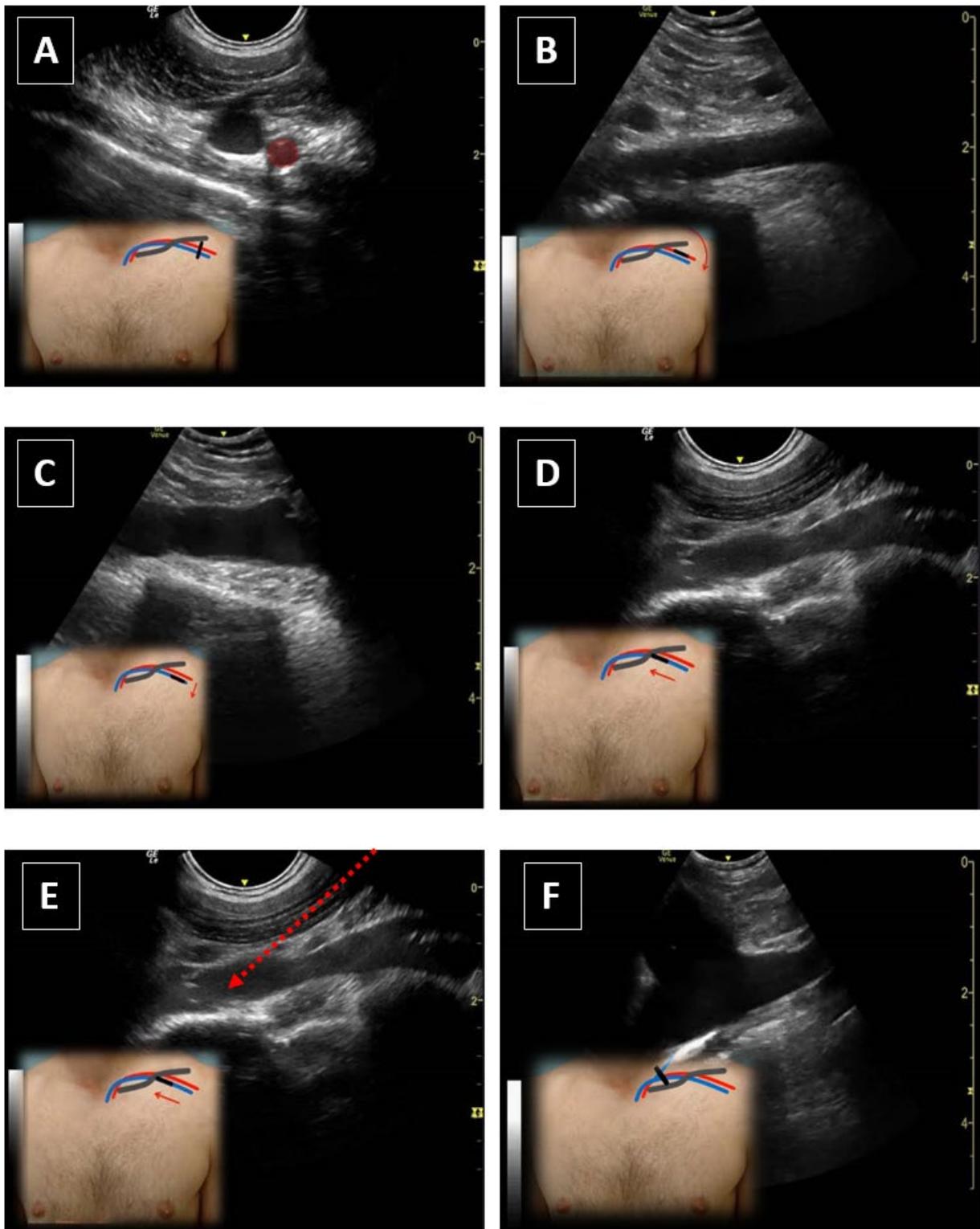


Abbildung 2: Schnittebenen der Microconvex-Inplane-Subclavian-Puncture (MISP)-Technik.

A) Sagittale Platzierung der Microconvexsonde (MCS) in der Mohrenheimschen Grube. Die Arteria subclavia (ASC) (hier:rot) kommt in der kurzen Achse zur Darstellung. **B)** Nach Drehung der MCS im Uhrzeigersinn erscheint die ASC in der langen Achse. **C)** Anschließend erfolgt eine Verschiebung oder Angulation der MCS nach kaudal, bis die Vena subclavia (VSC) in der langen Achse erscheint. **D)** Die MCS wird nun entlang der VSC nach proximal verschoben, bis diese von Clavicula und Rippe umgeben ist. **E)** Dann erfolgt eine In-plane Punktion der VSC mit Punktion auf die Rippe zu. **F)** Nach der Drahteinlage erfolgt eine supraclaviculäre Darstellung des Confluens und Kontrolle des Drahtverlaufs zum Ausschluss einer Drahtfehlage in die ipsilaterale Vena jugularis interna..

4.7 Simulationsbasiertes Training für Subclaviapunktionen

Die Verbesserung der Fähigkeiten durch Verfahrenssimulation ist effektiver als die traditionelle Ausbildung am Krankenbett [3]. Viele Studien konnten bereits beweisen, dass simulationsbasierte Lernprogramme die Fähigkeiten der Teilnehmer deutlich gegenüber herkömmlichen Trainingsmethoden verbessern und Komplikationen im Zusammenhang mit ZVK-Anlagen verringern können [1,3]. Eine Metaanalyse von 2011 von 20 veröffentlichten Studien ergab eine Reduktion der Pneumothoraxrate sowie eine Verbesserung der Qualitätsindikatoren durch simulationsbasiertes Training [6].

Ein von Tanwani et al. entwickeltes Curriculum zur Erlernung der ultraschallgesteuerten Punktion der VSC konnte bereits nachweislich die Fähigkeiten der Teilnehmer verbessern [17]. Dieses bestand aus einem vorbereitenden Theorieteil, gefolgt von einer didaktischen Vorlesung, welche sich auf die Verwendung von Ultraschall und das Management von Komplikationen konzentriert, und einer gezielten Übungssitzung, bei der freiwillige Schallmodelle geschallt und die Gefäßpunktion an einem 3D-Phantom geübt wurden.

4.8 Trainingsphantome für ultraschallgesteuerte Gefäßpunktionen

Bei der ultraschallgesteuerten Punktion eines Gefäßes zur Etablierung eines ZVK besteht das Risiko erheblicher Komplikationen. Ein Ausbildungskonzept mit Übungen an Leichen wurde bereits erfolgreich angewendet. Allerdings ist der Zugang zu offenen Venensystemen von Leichen stark eingeschränkt [7].

Selbstgebaute oder kommerzielle Trainingsphantome erleichtern die Ausbildung in der ultraschallgesteuerten Gefäßpunktion. Solche Phantome sollten zur Erlernung von Punktionstechniken lebenden Patienten immer vorgezogen werden. Diese ermöglichen ein unproblematisches, risikofreies Üben. Der Lernprozess kann dabei durch die hier mögliche sichere Lernatmosphäre beschleunigt werden. Allerdings sind die meisten ZVK-Simulatoren äußerst teuer und außerhalb von Simulationszentren kaum verfügbar [14]. Die Kosten von kommerziellen Modellen belaufen sich von 1000 bis 8000 USD [17].

4.9 Ziel der Arbeit / Fragestellung

Vor dem in der Einleitung beschriebenen Problemhintergrund hat die vorliegende Arbeit das folgende Ziel: Die Entwicklung eines standardisierten Ausbildungskonzepts zur Erlernung der MISP-Technik, welches die theoretischen und praktischen Kompetenzen der Teilnehmer im Umgang mit der MCS zur VSC-Punktion sowie grundlegende Kenntnisse über die Anwendung von ZVKs verbessert.

Durch Punktionssimulationen am Phantom können neue Techniken sicher und ohne Komplikationsrisiken trainiert werden. Solche Simulatoren für eine VSC-Punktion sind jedoch kostenintensiv und in Simulationszentren kaum verfügbar. Es sollte ein kostengünstiges wiederverwendbares Phantom konzipiert werden, welches alle relevanten anatomischen Strukturen beherbergt.

Es fanden mehrere Ausbildungskurse am UKS statt, bei denen die Teilnehmer als Probanden für eine prospektive Beobachtungsstudie dienten und folgende Fragen beantwortet werden sollten:

1. Um zu untersuchen, ob dieses Ausbildungskonzept erfolgreich theoretisches Wissen und praktische Fertigkeiten vermittelt, wurden die Leistungen der Probanden vor und nach dem Kurs miteinander verglichen.
2. Des Weiteren sollte der Schwierigkeitsgrad der MISP-Technik untersucht und die Frage geklärt werden, ob diese auch für unerfahrene ZVK-Anwender geeignet ist bzw. schnell erlernt werden kann. Dazu wurden die Fertigkeiten erfahrener (>100 ZVK) mit der von unerfahrenen (<100 ZVK) Probanden verglichen.

Als Hauptzielgröße wurden bei den Teilnehmern die benötigten Zeiten bei Schall- und Punktionübungen vor und nach Kursabsolvierung erfasst. Als Nebenzielgröße betrachteten wir dabei Unterschiede zwischen den Ergebnissen erfahrener und unerfahrener ZVK-Anwender. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit liegt in der Entwicklung eines Trainingsphantoms, welches den Kursteilnehmern ein kostengünstiges und realitätsnahes Üben der Punktion von VSC mittels MCS ermöglichen soll. Als weitere Nebenzielgröße wurden dabei sonographische Unterschiede zwischen Phantom und Mensch betrachtet.

5 Material und Methoden

5.1 Ethikvotum

Die Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes erteilte für das Forschungsvorhaben am 5.2.2021 ein positives Votum (Zeichen: Ha 08/21).

5.2 Probanden

Es handelte sich um eine willkürliche Stichprobe (convenience sampling). Ärztliche Mitarbeiter des UKS sowie Medizinstudenten im Praktischen Jahr im Wahltertial Anästhesie konnten sich freiwillig für eine Teilnahme anmelden. Im Rahmen einer offiziellen Continuing Medical Education (CME)-zertifizierten Fortbildung fand der Kurs an zwei Terminen statt, an denen die Probanden Fortbildungspunkte erhielten. Die Probanden erhielten für ihre Teilnahme kein Honorar. Von allen liegt eine schriftliche Einverständniserklärung vor, welche vor Beginn des Kurses und nach ausführlicher Aufklärung eingeholt wurde.

Im Rahmen der Kursauswertung erfolgte eine Einteilung in erfahrene und unerfahrene Probanden.

5.3 Datenerfassung

Den Probanden wurde einige Tage vor Kursbeginn ein Online-Link per E-Mail zugesendet. Der Link führte auf eine von mir erstellten Microsoft-Forms Seite (Microsoft Corporation, Redmond, WA 98052-6399, USA). Hierauf konnte der Fragebogen bereits im Vorfeld online ausgefüllt werden.

Link: <https://forms.office.com/r/rnubyApKFm>

Zu Beginn des jeweiligen Kurstages in Präsenz bekam jeder Proband einen personalisierten Daten-Erhebungsbogen ausgehändigt. Auf diesem wurde die jeweilige Teilnehmernummer notiert und die notwendigen Einverständniserklärungen über Erhebung und Veröffentlichung von Daten sowie Fotoaufnahmen eingeholt. Die Tutoren der jeweiligen Kursstation dokumentierten darauf die Leistungen der Probanden während des Kurses.

Die ZVK-Komplikationen wurden im Rahmen des Präsenzkurses über Microsoft-Forms demonstriert, erfragt und dokumentiert.

Link: <https://forms.office.com/r/m0tAnnCBjB>

Nachdem der Kurs von den Probanden absolviert worden war, konnte der Abschlusstest über Microsoft Forms entweder in Präsenz oder online absolviert werden.

Link: <https://forms.office.com/r/8i8dTSi9D0>



5.4 MISP-Kursstruktur

Der Kurs wurde in verschiedene Stationen gegliedert und von den Probanden als sog. „Übungsparcours“ durchlaufen. Die Stationen wurden von eingearbeiteten bzw. instruierten Tutoren betreut. Die Gesamtdauer betrug ca. zwei Stunden. Der Kursaufbau ist in Abbildung 3 dargestellt.

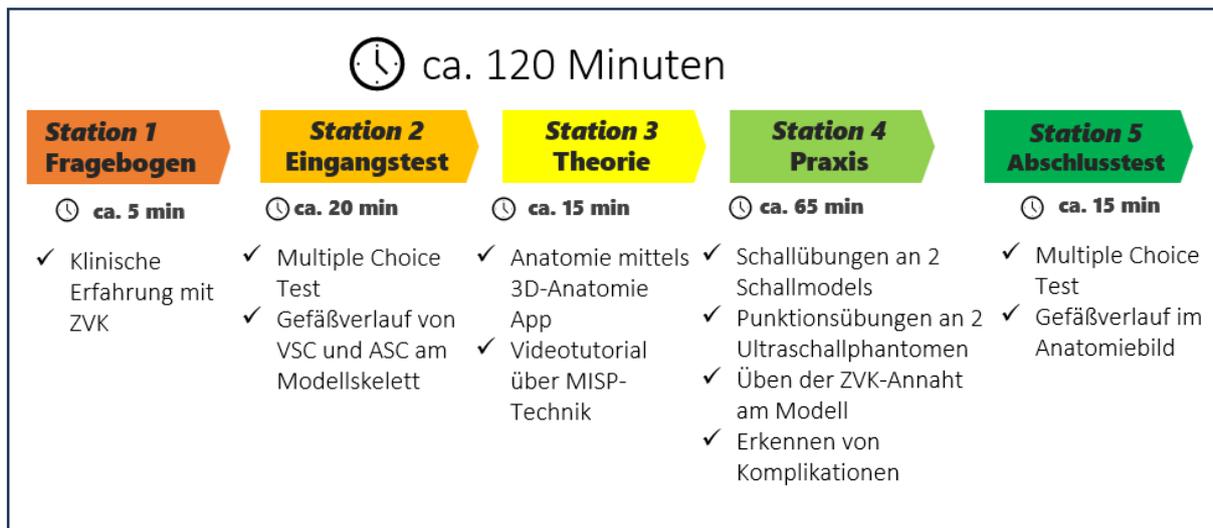


Abbildung 3: Kursaufbau

Station 1 Fragebogen

Vor Kursbeginn erhielten die Probanden einen standardisierten Fragebogen, welcher ihre klinische Erfahrung im Umgang mit ZVKs erfassen sollte.

Station 2 Eingangstest

In einem Eingangstest wurden die theoretischen Kenntnisse der Probanden in Form eines Multiple Choice-Tests abgefragt. Zur Erfassung der anatomischen Kenntnisse diente ein Modellskelett, an welchem die Probanden ihre Vorstellung vom Verlauf der ASC und VSC zwischen Clavicula und 1. Rippe plastisch darstellen sollten. Um diese beurteilen und vergleichen zu können, wurde ein Punktescore entwickelt.

Station 3 Theorie

Um den bestmöglichen Lernerfolg zu erzielen, haben die Probanden direkt im Anschluss ihre Vorstellungen der Gefäßverläufe mit einer 3D-Anatomie App überprüfen und deren Kenntnisse rund um die anatomische Region um die VSC vertiefen können.

Anschließend sahen alle Probanden ein eigens für den Kurs produziertes Videotutorial, in dem theoretisches Wissen über die MISP-Technik vermittelt und die Vorteile dieser Technik erörtert wurden.

Station 4 Praxis

Im praktischen Teil des Kurses wurden die Probanden auf vier Stationen verteilt.

Das Einstellen der Schnittebenen in MISP-Technik und das Handling des Schallkopfes konnte an zwei Schallmodells unter Supervision geübt werden.

Das Üben der Punktionstechnik fand an zwei Phantomen statt. Hier konnte die In-plane-Punktion, also die Nadelführung exakt in der Schallebene, mit der MCS geübt werden. Zunächst wurde an einem planen Phantom, danach an einem selbst entwickelten anatomischen Phantom, welches der Infraclavicularregion nachempfunden wurde, geübt. Die ZVK-Annahrt wurde an einem weiteren Trainingsphantom geübt und der sichere Halt mit einem Gewicht von 2,5 kg überprüft.

An einer weiteren Station wurden den Probanden Röntgen-Thorax-Aufnahmen gezeigt. Auf diesen waren typische Komplikationen von ZVK-Anlagen zu sehen, welche von den Probanden erkannt werden sollten.

Station 5 Abschlusstest

Nach Absolvierung des Kurses wurde durch einen Abschlusstest der Lernerfolg überprüft. Die theoretischen Kenntnisse wurden erneut in einem Multiple Choice-Test abgefragt. Zur Erfassung der anatomischen räumlichen Vorstellung sollte der Gefäßverlauf von ASC und VSC in ein entsprechend konfiguriertes Anatomiebild eingezeichnet werden. Zur Auswertung diente erneut der Punktescore aus dem Eingangstest.

5.5 Station 1: Fragebogen und Datenerhebungsbogen

Ein Fragebogen diente zur Erfassung von Berufserfahrung sowie der klinischen Erfahrung im Umgang mit ZVKs der Probanden. Dieser ist in Abbildung 4 abgebildet.

Anhand der Angaben erfolgte für die Auswertung des Kurses eine Einteilung in erfahrene und unerfahrene Probanden. In einzelnen Fällen, bei denen die Angabe der Probanden nicht plausibel erschien, wurde die Zahl der gelegten ZVKs anhand von Narkoseprotokollen überprüft.

Jeder Proband erhielt einen Datenerhebungsbogen, auf dem seine Ergebnisse während des Kurses dokumentiert wurden (siehe Anhang).

Fragebogen	
Tätigkeit in der Anästhesie (Jahre)	
Tätigkeit als Facharzt für Anästhesie (Jahre)	
Tätigkeit in der Intensivmedizin (Jahre)	
ZVK-Anlagen insgesamt (Anzahl)	
Subclavia-ZVK-Anlagen in Landmarkentechnik (Anzahl)	
Subclavia-ZVK-Anlagen ultraschallgesteuert in-plane mit LSK (Anzahl)	
Subclavia-ZVK-Anlagen ultraschallgesteuert out of plane mit LSK (Anzahl)	
Subclavia-ZVK-Anlagen ultraschallgesteuert mit MCS (Anzahl)	

Abbildung 4: Fragebogen über die klinische Erfahrung der Probanden.

5.6 Station 2: Eingangstest / Abschlusstest

Der theoretische Wissensstand der Probanden wurde jeweils vor und nach dem Kurs mit einem Anatomie-Punktescore sowie Multiple-Choice-Test erfasst und anschließend miteinander verglichen.

5.6.1 Gefäßverlauf am Modellskelett

Zur Erfassung und Verbesserung der anatomischen Kenntnisse diente ein Modellskelett, an welchem die Probanden ihre Vorstellung vom Verlauf der ASC und VSC zwischen Clavicula und 1. Rippe plastisch darstellen sollten. Um diese beurteilen und vergleichen zu können, haben wir einen Punktescore entwickelt.

Als Anatomieskelett diente das Modell Sam der Firma 3B Scientific GmbH, Hamburg, Deutschland). Dieses ist mit 160 cm lebensgroß und zeichnet sich besonders durch Wirklichkeitstreue und anatomische Genauigkeit aus.

An einem metallischen Quergestänge, welches sich mittig in der oberen Thoraxapertur auf Höhe der dritten Rippe befand, wurden zwei ca. 50 cm lange und 1 cm dicke Pfeifenputzer befestigt. Diese waren durch ihren flexiblen Draht im Inneren gut geeignet, um die Gefäßverläufe nachbilden zu lassen. Mit dem roten Draht sollte der Verlauf der ASC, mit dem Blauen der der VSC am Skelett plastisch nachgestellt werden.

Eine verstellbare Kamerahalterung (S8-20130428_SML von LONZOTH, China) wurde am gegenüberliegenden Schulterdach fixiert. Der flexible Schwanenhals dieser Halterung wurde so ausgerichtet, dass ein Bild der linken Thoraxhälfte aus der Vogelperspektive aufgenommen werden konnte. Mit einer Kamera (C920 HD von Logitech, Lausanne, Schweiz) wurden die Versuche von allen Probanden dokumentiert. Die Aufnahme und Bearbeitung der Bilder erfolgte anschließend an einem Computer (ZenBook UX325EA von Asus, Teipei, Taiwan). Um bei der späteren Bildauswertung maßstabsgetreu Strecken messen zu können, wurde horizontal auf Höhe der 1. Rippe ein Lineal befestigt. In Abbildung 5 ist der Versuchsaufbau mit Modellskelett, Kamerahalterung, Kamera, Pfeifenputzern und Lineal abgebildet.

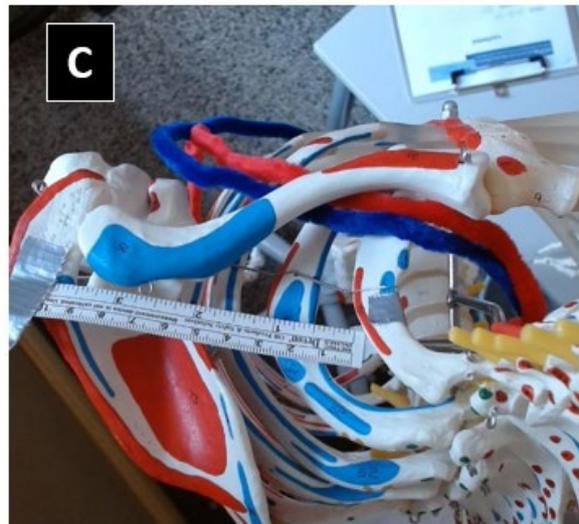
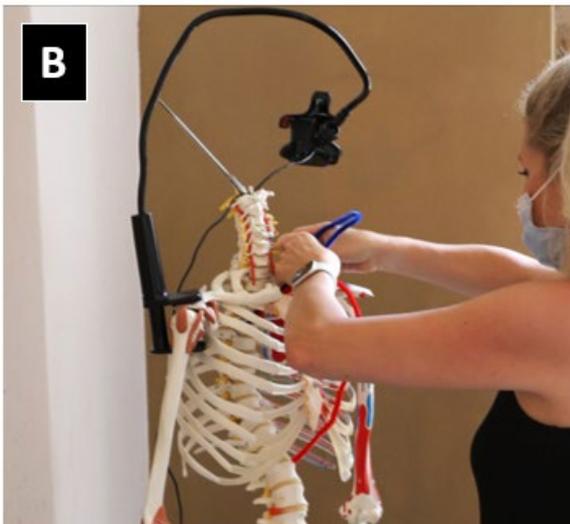
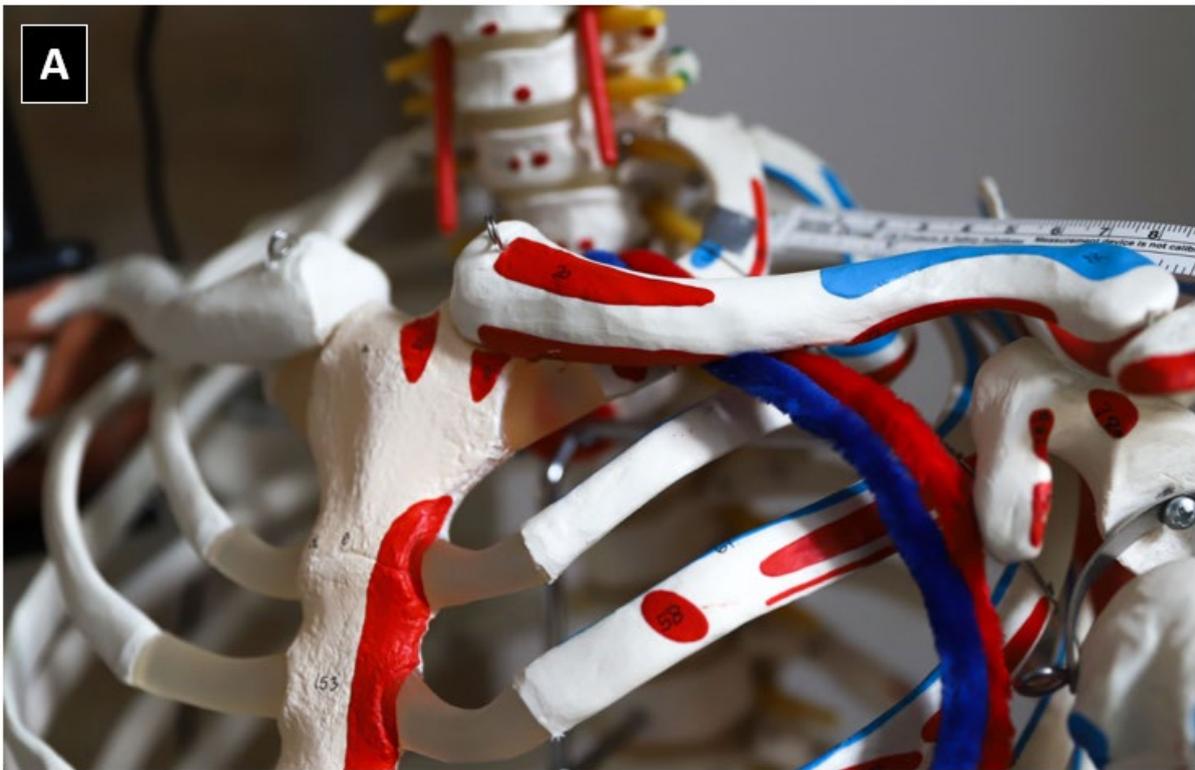


Abbildung 5: Modellskelett. **A)** mit fixierten Pfeifenputzern sollte der Gefäßverlauf von Vena subclavia (blau) und Arteria subclavia (rot) nachgebildet werden. **B)** Versuchsaufbau. **C)** Aufnahme aus der fixierten Kameraperspektive.

Alle Bilder wurden anschließend digital so zugeschnitten, dass diese durch folgende Strukturen begrenzt wurden: laterales Claviculaende (oben), proximales Claviculaende (unten), der dorsale Anfang der 1. Rippe (links), Vorderkante der 2. Rippe (rechts). Die Bildgröße wurde auf 500 x 641 Pixel festgelegt. Der Horizont wurde entlang der claviculären Maximallänge ausgerichtet. Die Messskala wurde anhand des sichtbaren Lineals festgelegt. Die Bildbearbeitung erfolgte mit Adobe Photoshop 2022 (Adobe Inc., Kalifornien, USA). Die Bildbearbeitung ist in Abbildung 6 dargestellt.

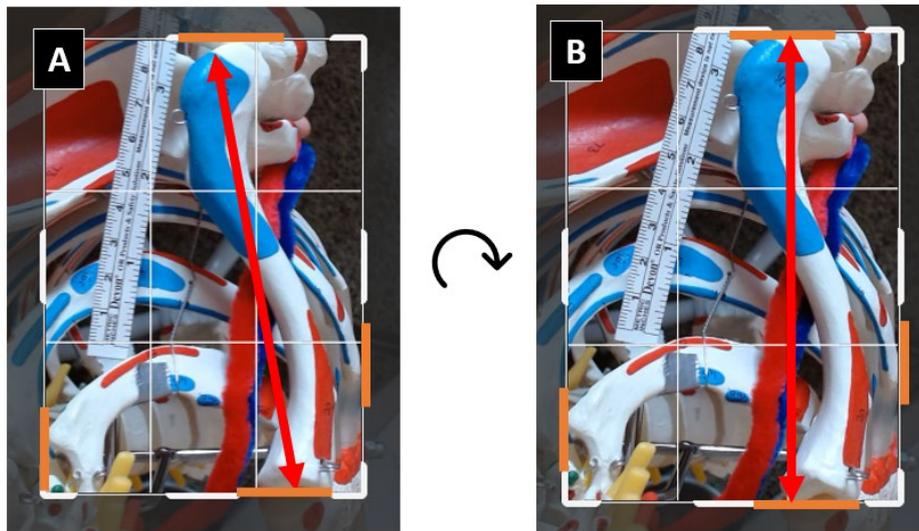


Abbildung 6: Digitale Bildbearbeitung. A) Festlegen der Bildbegrenzung B) Bildausrichtung entlang der Maximallänge der Clavicula

Die so identisch bearbeiteten Bilder aller Probanden dienen der Auswertung. Die nachgebildeten Gefäßverläufe wurden anschließend mit denen eines Idealbildes verglichen. Dieses Idealbild wurde mit Hilfe des Computerprogramms Atlas der Humananatomie 2022: Körper des Menschen in 3D (Invisible Body, Old Connecticut, USA) erstellt und identisch formatiert (Abbildung 7 A). Im Abschlusstest am Ende des Kurses sollten die Probanden erneut ihre Vorstellungen der Gefäßverläufe von ASC und VSC demonstrieren. Diesmal wurde das oben beschriebene Idealbild, jedoch ohne Gefäße, ausgedruckt und den Probanden vorgelegt. Der Gefäßverlauf sollte mit einem roten (ASC) und einem blauen (VSC) Marker eingezeichnet werden. Zwei Kreise symbolisierten den Beginn, von welchem aus die Gefäße eingezeichnet werden mussten (Abbildung 7 B).

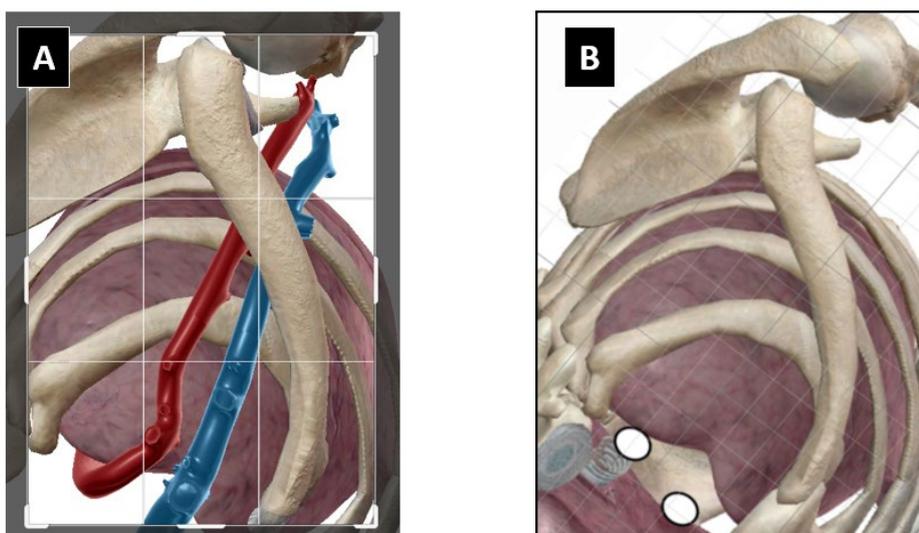


Abbildung 7: Anatomisches Idealbild. A) Vergleichsbild B) Schablone für Abschlusstest.

Die Abtestatbilder wurden digitalisiert und identisch formatiert (Abbildung 8 C).

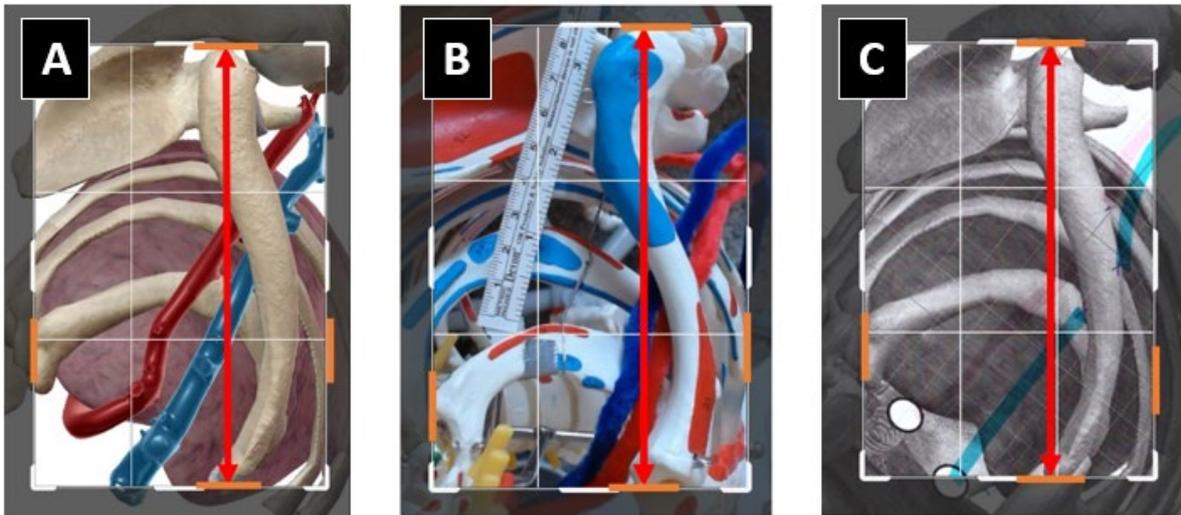


Abbildung 8: Bildformatierung Gefäßanatomie am Skelettmodell. A) Bildformatierung Idealbild B) Bildformatierung Antestat C) Bildformatierung AbtestatFür jeden Probanden konnte so eine Schablone erstellt werden, mit welcher parallel die Ergebnisse zu Beginn mit denen nach dem Kurs ausgewertet werden konnten.

5.6.2 Anatomiepunktescore

Um die anatomische räumliche Vorstellung der Probanden vergleichen zu können, entwickelten wir einen Punktescore. Dieser bewertet für eine erfolgreiche Punktion wichtige anatomische Aspekte. Die Zusammensetzung des Punktescores ist in Abbildung 9 abgebildet.

Lagebeziehung zwischen ASC und VSC

Es wurde die Lagebeziehung von ASC und VSC zueinander bewertet. Die Vene verläuft im Regelfall ventrokaudal zur Arterie. Eine korrekte Darstellung wurde mit einem Punkt bewertet (Abbildung 9 A).

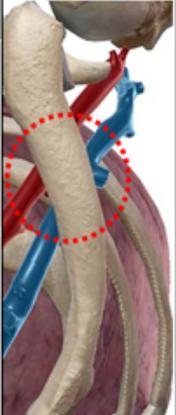
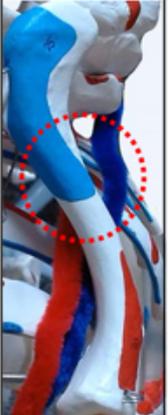
Lagebeziehung VSC und Clavicula

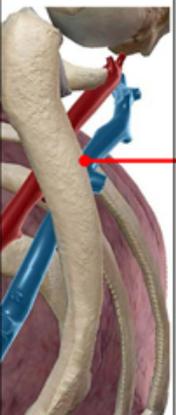
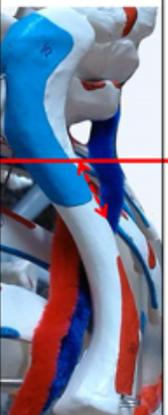
Des Weiteren wird für die Punktion der VSC eine Vorstellung darüber benötigt, an welcher Stelle diese am Unterrand der Clavicula verläuft. Korrekterweise müsste man davor von der Vena axillaris sprechen. Aus Gründen der Einheitlichkeit spreche ich weiterhin von der VSC, da sich diese Nomenklatur in der Klinik durchgesetzt hat. Um diesen Faktor in den Punktescore zu integrieren, wurde der Abstand des Kreuzungspunktes der anmodellierten/eingezeichneten VSC mit der Claviculavorderkante mit dem Kreuzungspunkt im Idealbild bestimmt. Die Messskala wurde anhand eines Lineals definiert, welches horizontal auf der 1. Rippe des Modellskeletts befestigt worden war. Ein Abstand von weniger als zwei cm wurde mit einem Punkt bewertet (Abbildung 9 B).

Verlauf der VSC in der Transversalebene zur Sagittalachse

Damit eine mögliche Verletzung der Venenhinterwand vermieden werden kann, sollte der Punktierende eine Vorstellung darüber haben, in welchem Winkel die VSC zur oberen Thoraxapertur verläuft. Um dies im Punktescore abzubilden, wurden die von den Probanden dargestellten Verläufe mit einem Idealwinkel verglichen. Dieser Idealwinkel wurde im Vergleichsbild bestimmt. Der erste Schenkel des Winkels bildet eine horizontale Gerade, welche der Sagittalachse entspricht. Der Zweite wird durch eine Gerade gebildet, welche durch den Kreuzungspunkt der VSC mit der Hinterkante der 1. Rippe und mit der Vorderkante der 3. Rippe verläuft. Im Rahmen der Bildformatierung wurde der vertikale Horizont entlang der Maximallänge der Clavicula ausgerichtet. Der so definierte Idealwinkel betrug 67° .

Auf gleiche Weise wurde der Winkel der Venenverläufe bei den Probanden bestimmt und mit dem Idealwinkel von 67° verglichen. Eine Winkeldifferenz von weniger als 20° wurde mit 1 Punkt bewertet (Abbildung 9 C).

A Lagebeziehung VSC /ASC		Idealbild	vor Kurs	nach Kurs
Parameter	Darstellung der VSC ventrokaudal (im Bild rechts) zur ASC (im Bild links)			
Bewertung	Korrekte Darstellung = 1 Punkt			

B Lagebeziehung VSC / Clavicula		Idealbild	vor Kurs	nach Kurs
Parameter	Abstand zum idealen Kreuzungspunkt VSC / Clavicula (cm)			
Bewertung	Abstand < 2cm = 1 Punkt			

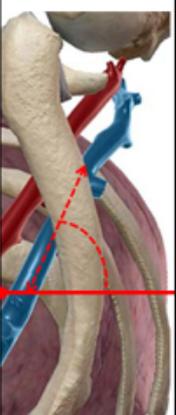
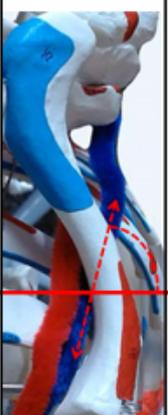
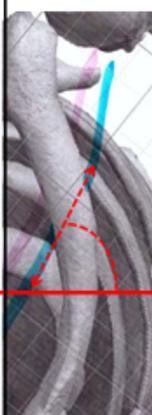
C Verlauf der VSC		Idealbild	vor Kurs	nach Kurs
Parameter	Winkel zwischen Gefäßverlauf der VSC und Sagittalachse			
Bewertung	Winkeldifferenz < 20° zum Idealwinkel = 1 Punkt			

Abbildung 9: Anatomiepunktescore. **A)** Bewertung der Lagebeziehung zwischen Vena subclavia (VSC) und Arteria subclavia (ASC). **B)** Bewertung der Lagebeziehung zwischen VSC und Clavicula. **C)** Bewertung des Verlaufs der VSC in der Transversalebene zur Sagittalachse.

5.6.3 Multiple Choice-Test

In einem MC-Test sollte der theoretische Kenntnisstand der Probanden über Subclavia-ZVK vor und nach Beendigung des Kurses erhoben werden. Hierzu wurden fünf Fragen gestellt mit jeweils fünf Antwortmöglichkeiten, von denen die Falschaussage gesucht war. Für jede richtige Antwort wurde ein Punkt vergeben. Für die Bearbeitung des Tests hatten die Probanden 15 Minuten Zeit (drei Minuten/ Frage). Der Fragenkatalog beinhaltete die wichtigsten Aspekte der MISP-Technik.

Themengebiete des Tests:

- Vorteile eines Subclavia-Katheters im Vergleich zu anderen Punktionsorten
- Vorbereitungen für die Ultraschall-gesteuerte Punktion der V. Subclavia
- Vorgehen beim Prescan in MISP-Technik
- Vorteile des MCS gegenüber dem Linearschallkopf bei Punktion der VSC
- Aspekte die bei der Punktion der VSC zu beachten sind

Der Multiple Choice-Test ist in Abbildung 10 abgebildet.

Im weiteren Kursverlauf, insbesondere dem folgenden Videotutorial, wurde den Probanden das notwendige theoretische Wissen zur korrekten Beantwortung der Fragen vermittelt. Nachdem der Kurs absolviert wurde, sollte erneut ein Multiple Choice-Test mit abgeänderter Reihenfolge der Fragen sowie Antwortmöglichkeiten beantwortet werden.

MC-Fragen

Wählen Sie die FALSCHAUSSAGE aus.

17

Vorteile eines Subclavia-Katheters im Vergleich zu anderen Punktionsorten. * (1 Punkt)

- Die Region ist meist auch auf einer Intensivstation gut zugänglich.
- Durch den Faszienzug wird eine Kollabierung der Venenwände auch bei hypovolämischer Kreislaufsituation verhindert.
- Der Zugang bietet eine potentiell niedrigere Infektions- und Thrombose rate.
- Bei wachen Patienten bietet der Zugang einen besseren Komfort.
- Der Zugang ist auch mit der Landmarkentechnik besonders komplikationsarm. ✓

18

Vorbereitungen für die Ultraschall-gesteuerte Punktion der V. Subclavia. * (1 Punkt)

- Lagerungsmanöver wie Arm auslagern, Schulter unterpolstern oder die Trendelenburg-Lagerung können die Punktion deutlich erleichtern.
- Bei wachen Patienten können durch weniger Knochenkontakte mit der Kanüle im Vergleich zur Landmarkentechnik deutlich Lokalanästhetikum, Sedierung und Zeit eingespart werden.
- Der ausgelagerte Arm sollte nicht über 90° abduziert werden.
- Vor Punktion muss eine Trendelenburg-Lagerung erfolgen. ✓
- Das Ultraschallgerät sollte in Stichrichtung gegenüber der Punktionsseite auf Kopfhöhe platziert werden.

19

Vorgehen beim Prescan in MISP-Technik. * (1 Punkt)

- Der Ultraschallkopf wird in der Mohrenheimschen Grube aufgesetzt.
- Idealerweise wird zuerst die A. subclavia in der kurzen Achse zentral eingestellt und dann in die lange Achse gedreht. Anschließend Verschiebung des Schallkopfes nach kaudal um die Vene einzustellen.
- Nach sicherer Identifizierung von Vene und Arterie wird der Schallkopf, unter Beibehaltung der Vene in der langen Achse, so weit nach medial verschoben, bis der Schallschatten der Clavicula ins Bild kommt.
- Nach Einstellung der A. subclavia in langer Achse wird der Schallkopf nach kranial verschoben um die Vene einzustellen. ✓
- Je medialer die Vene eingestellt wird, desto oberflächiger verläuft sie und desto kürzer kann der Punktionsweg ausfallen.

Abbildung 10: Multiple choice-Fragen, welche die Probanden vor Beginn und nach Absolvierung des Kurses in abgeänderter Reihenfolge beantworten mussten.

20

Vorteile des Micro-Convex-Schallkopfes (MCS) gegenüber dem Linearschallkopf (LSK) bei der Subclavia-Punktion. * (1 Punkt)

- Das Anbringen einer sterilen Hülle ist durch die konvexe Schallkopfform deutlich einfacher. ✓
- Der MCS kann für eine supraclaviculäre Lagekontrolle des Drahtes mit Verfolgung bis in die V. cava sup. benutzt werden.
- Mit dem MCS kann ein weiter medial liegender Punktionsort (in plane) erreicht werden.
- Durch seine ideale Passform in die Mohrenheimsche Grube verringert der MCS Bildartefakte, die durch Abkopplung des Schallkopfes entstehen können.
- Der MCS ermöglicht teilweise die supraclaviculäre Darstellung der Pulmonalarterien und kann somit zur Lagekontrolle des Katheters beitragen.

21

Bei der Punktion der V. Subclavia ist auf Folgendes zu achten: * (1 Punkt)

- Bleibt die Punktion frustan, kann sofort auf die andere Seite gewechselt werden. ✓
- Wenn möglich, sollte der Punktionswinkel so gewählt werden, dass eine zu tiefe Punktion durch eine Rippe verhindert wird.
- Idealerweise wird das Ultraschallbild so eingestellt, dass Rippe und Clavicula eine Art „Schlund“ um die V. subclavia bilden. Das Risiko einer Fehlpunktion wird so, unter strenger Beibehaltung der Kanüle in der Schallebene, minimiert
- Wird die V. Subclavia unter der Clavicula punktiert, wird eine Kompression des Gefäßes am Punktionsort durch den Schallkopfdruck verhindert.
- Nach erfolgreicher Punktion besteht beim Ablegen des Schallkopfes die Gefahr, dass die Punktionsnadel aus dem Gefäß disloziert. Der nun fehlende Kompressionsdruck von außen führt zu einer Reexpansion des Gewebes und die Distanz zwischen Haut und Gefäß nimmt zu und die Nadelspitze kann aus dem Gefäß gleiten.

Fortsetzung Abbildung 10

Station 1
Fragebogen

Station 2
Eingangstest

Station 3
Theorie

Station 4
Praxis

Station 5
Abschlusstest

5.7 Station 3: Theorie

5.7.1 Anatomie

Die Probanden konnten ihre anatomischen Kenntnisse mit der 3D-Anatomie-App (Visible Body Suite (Version 4.31), Old Connecticut, USA) auffrischen und vertiefen (Abbildung 11).



Abbildung 11: 3D-Anatomie App

5.7.2 Videotutorial über MISP-Technik



Abbildung 12: Videotutorial. <https://www.youtube.com/watch?v=06CAkkWCOVM>

Durch ein standardisiertes zehn-minütiges Videotutorial über die MISP-Technik konnte sichergestellt werden, dass alle Probanden den identischen Theorieunterricht erhielten. Folgender Text gibt die Inhalte des Videos in gekürzter Form wieder.

Die Jugularisanlage ist vor allem beim intubiert beatmeten Patienten leicht durchzuführen, da hier die Jugularvenen meist gut sichtbar sind. Beim wachen Patienten ist wegen Dyspnoe oft keine Kopftieflage möglich, außerdem wird oft reflektorisch die Schulter angehoben, was eine Punktion erschwert. Die Subclavia-Punktion bietet hier eine gute Alternative, da hier keine Trendelenburg-Lagerung nötig ist und die Vene selbst im Schock nicht kollabiert. Der Komfort im Umgang mit Subclaviakathetern ist wesentlich höher, Dislokationen wesentlich seltener. Ein Femoraliszugang hat aufgrund seiner Nähe zur Genitalregion ein deutlich höheres Risiko für catheter related bloodstream infections (CABSI). Bislang ist jedoch das Pneumo-/Hämatothorax-Risiko bei Subclavia-ZVK am höchsten, da oft eine LM-gestützte Punktion erfolgt und eine ultraschallgesteuerte Punktion als fortgeschritten gilt. Eine Vereinfachung durch die MISP-Technik und dadurch Reduzierung des Risikos für einen Pneumothorax würde dazu führen, dass der Subclavia-Katheter überwiegend Vorteile aufweist.

Eine Metaanalyse über CABSI begünstigt die V. subclavia als Punktionsort. Nach einer Empfehlung der KRINKO sollte insbesondere bei Patienten, welche zur Langzeitbeatmung tracheotomiert werden, auf einen Jugulariskatheter verzichtet werden.

Des Weiteren besteht ein hohes Dislokationsrisiko bei Jugularis-ZVK sowie wegen einer erhöhten Hautsensibilität am Hals Dyskomfort für die Patienten.

In einem Videobeispiel wurde gezeigt, wie die Punktion möglichst nicht erfolgen sollte. Es ist eine out of plane-Punktion der VSC zu sehen, bei welcher die Nadelspitze immer wieder aus der Schallebene gerät und praktisch blind punktiert wird. Bei dieser Methode besteht ein sehr hohes Pneumothoraxrisiko.

Im Folgenden wird durch eine Bild im Bild Videosequenz die MISP-Technik erklärt. Das Ultraschallbild ist groß zu sehen und das Handling des Schallkopfes im kleinen Bild. Nach einem sonographischen Prescan der anatomischen Verhältnisse sollte für die Punktion in MISP-Technik zuerst die ASC mittig in der kurzen Achse eingestellt werden und anschließend der Schallkopf im Uhrzeigersinn gedreht werden, bis diese im Längsschnitt zu sehen ist. Hiernach wird der Schallkopf nach kaudal verschoben, bis die VSC im Längsschnitt erscheint. Nun wird der Schallkopf entlang der Vene nach mediocranial bis zum vorderen Clavicularrand vorgeschoben, sodass dem proximalen Abschnitt der VSC oben die Clavicula und unten die 2. Rippe anliegt. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, dass nach eindeutiger Identifikation der

Arterie und dann Wechsel auf die Vene keine versehentliche arterielle Punktion erfolgen kann. Außerdem ist die Pleura bei einer versehentlichen Verletzung der Venenhinterwand durch die 2. Rippe geschützt. Es sollte darauf geachtet werden, dass der Schallkopf senkrecht aufgesetzt wird und nicht nach cranial anguliert wird, um Überlagerungseffekte von Vene und Arterie zu vermeiden. Nach Punktion sollte eine korrekte Lage des Drahtes überprüft werden. Zuerst sollte sonographisch eine intraluminale Lage des Drahtes von infraclaviculär sichergestellt werden (zuerst in der kurzen, dann in der langen Achse). Zudem ist es mit der MCS möglich von supraclaviculär den Confluens von VSC und VJI darzustellen, um auszuschließen, dass der Draht in die VJI umgeschlagen ist.

Vorteile der MCS gegenüber dem Linearschallkopf

Durch die konvexe Biegung und relativ kleine Größe der MCS, kann sehr nah und mit guter Anlotung an der Clavicula punktiert werden. Dort verläuft die Vene am oberflächlichsten, sodass die Punktion sehr dicht unterhalb der Sonde erfolgen kann. Der Linearschallkopf ist wesentlich breiter, sodass weiter in Richtung Axilla punktiert werden müsste, wo die Vene wesentlich tiefer verläuft, somit der Punktionsweg länger ausfallen würde.

Station 1
Fragebogen

Station 2
Eingangstest

Station 3
Theorie

Station 4
Praxis

Station 5
Abschlusstest

5.8 Station 4: Praxis

Im praktischen Teil des Kurses wurden die Probanden jeweils zu zweit auf insgesamt vier verschiedene Stationen verteilt. Jede Station behandelte einen Teilaspekt der MISP-Technik und wurde von einem eingewiesenen Tutor betreut. Dieser instruierte die Probanden über Abläufe und protokollierte die Ergebnisse auf den Datenerhebungsbögen. Die jeweiligen Zweiergruppen rotierten nach Beendigung einer Station, sodass alle vier Stationen durchlaufen wurden.

Stationen:

- Ultraschallübungen der MISP-Technik an Schallmodells
- Üben der MISP-Punktionstechnik am Phantom
- Üben der ZVK-Annaht
- Erkennen von ZVK-Komplikationen

5.8.1 Ultraschallübungen der MISP-Technik an Schallmodells

An dieser Station sollte das Einstellen der sonographischen Schnittebenen in der MISP-Technik und das Handling der MCS an zwei Schallmodells unter Supervision geübt werden.

Von der Firma GE Healthcare GmbH, Solingen, Deutschland wurden dafür zwei Ultraschallgeräte des Modells Vivid T9 mit jeweils einer MCS (GE 8C-RS) zur Verfügung gestellt.

Die Ultraschallgeräte wurden in das vorprogrammierten Carotispreset mit einer Schallfrequenz von 9 Mhz sowie einer Fokustiefe von 3 cm eingestellt.

Als Schallmodells dienten Studierende der Humanmedizin von ähnlicher Statur und gesundem BMI, welche in neutraler Rückenlage gelagert wurden, um unterschiedliche Positionseffekte auszuschließen.

Kurze Achse der ASC im Blindversuch

Mit einem Punktescore wurden die anatomischen Kenntnisse der Probanden über den Gefäßverlauf von ASC und VSC am Menschen und somit die Fähigkeit einer intuitiven Schallkopfplatzierung erfasst.

Um einen bleibenden Eindruck über den richtigen Gefäßverlauf und somit die richtige Schallkopfposition der MCS zu vermitteln, wurde eine Übung entwickelt, bei der die Probanden

gebeten wurden, intuitiv ein bestmögliches Bild von ASC und VSC in der kurzen Achse einzustellen (Abbildung 13). Die Bildschirme der Ultraschallgeräte wurden hierfür abgedeckt und waren somit für die Probanden nicht ersichtlich. Damit gleiche Ausgangsbedingungen für alle Probanden herrschten, fanden die Versuche jeweils zu Beginn der Schallübungen an beiden Schallmodells statt. Die Probanden, die als letztes die Übung absolvierten, durften an den vorherigen Versuchen der anderen Probanden nicht teilhaben. Somit wurde sichergestellt, dass keinem die Gefäßverhältnisse der Schallmodells bekannt waren. Das eingestellte Bild wurde gespeichert und anschließend in drei gleichgroße Drittel eingeteilt. Je nachdem in welchem Drittel des Schallfensters ASC und VSC in der kurzen Achse sichtbar waren, wurden unterschiedlich viele Punkte vergeben. Damit die Einstellung als kurze Achse gewertet wurde, musste das jeweilige Gefäß mehr rund als längs getroffen werden. Die Ergebnisse wurden mit einem Punktescore bewertet. Bei drei Punkten befanden sich ASC und VSC im mittleren Drittel des Schallfensters. Anschließend erfolgten die supervidierten Schallübungen am gleichen Model. Die Ergebnisse wurden mit denen des Blindversuchs am zweiten Schallmodell verglichen.

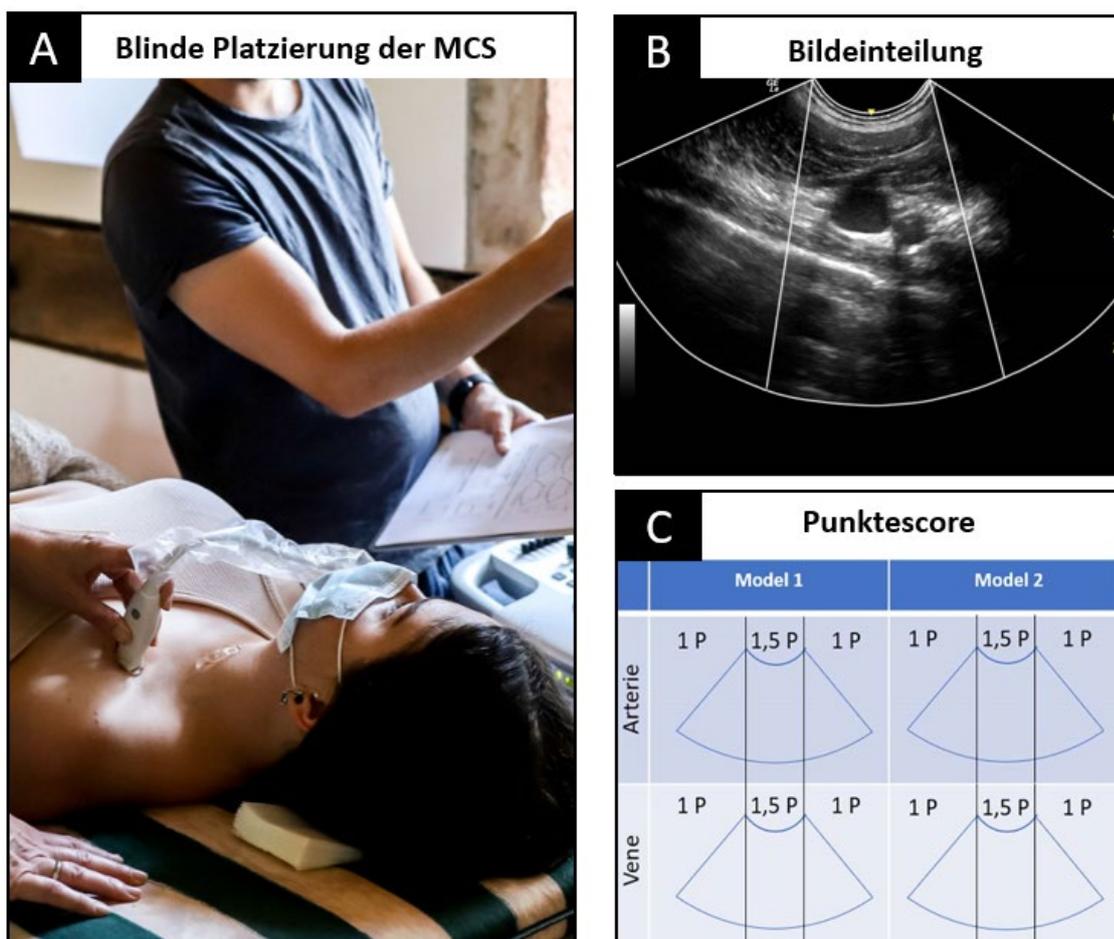


Abbildung 13: Blindversuch mit der Microconvex-Sonde. A) Blindes Einstellen der Arteria subclavia und Vena subclavia in der kurzen Achse. B) Bildspeicherung und Einteilung des Schallfensters in Drittel. C) Punktescore.

Tiefenschätzung der VSC

Für eine erfolgreiche Punktion der VSC ist eine Vorstellung über deren Tiefe von großer Wichtigkeit. Den Probanden sollte auch für die ultraschallgesteuerte Punktion ein Gefühl für die Punktionstiefe vermittelt werden.

Die Venentiefe im Ultraschallbild ist abhängig vom Anpressdruck des Schallkopfes eines Untersuchers und fällt, je nachdem wie stark das darüberliegende Gewebe komprimiert wird, unterschiedlich aus. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, sollte jeder Proband ein eigenes Bild der VSC in der kurzen Achse einstellen. Bei verdeckter Tiefenskala musste die Strecke bis zur Venenvorderwand geschätzt werden (Abbildung 14).

Der Schätzwert wurde protokolliert und die individuelle Distanz eines jeden Probanden am Ultraschallgerät ausgemessen. Die geschätzte Tiefe wurde mit der gemessenen Tiefe verglichen und die Abweichung als Tiefendifferenz berechnet (geschätzte Tiefe – gemessene Tiefe).

Die Ergebnisse wurden mit denen der Tiefenschätzung am zweiten Schallmodell verglichen.

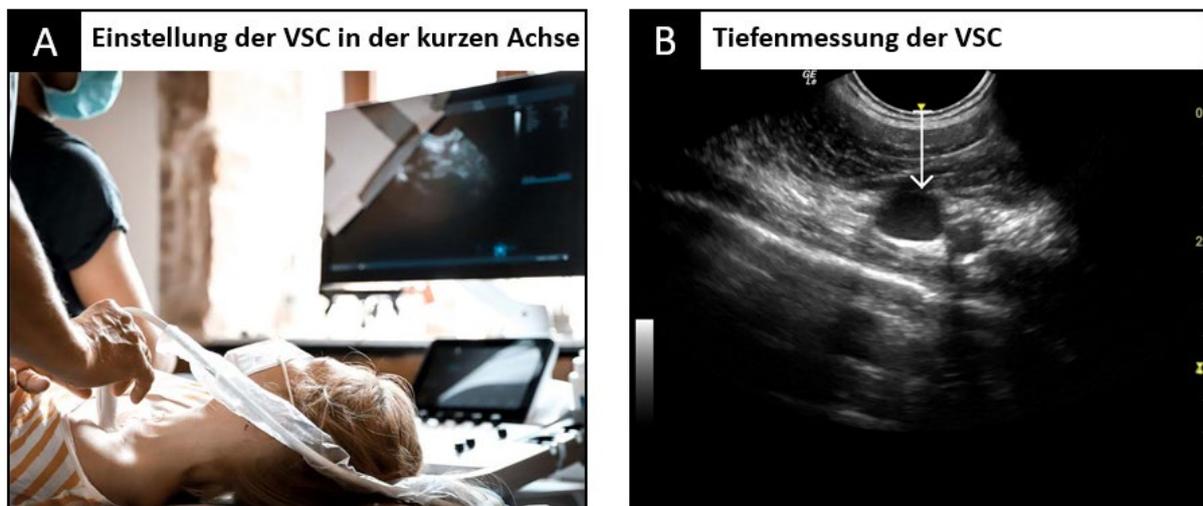


Abbildung 14: Tiefenschätzung der VSC. A) Einstellen der Arteria subclavia in der kurzen Achse B) Tiefenmessung der Vena subclavia.

Schallzeiten für Schnittebenen der MISP-Technik

Die praktischen Übungen erfolgten nacheinander an zwei Schallmodells von ähnlicher Statur. Nach einer Wiederholung und Demonstration der MISP-Technik durch den Stationstutor wurden die Probanden gebeten, die jeweiligen Schnittebenen einzustellen. Der Tutor stoppte die benötigten Zeiten des jeweils ersten Versuchs an beiden Schallmodells. Anschließend übten die Probanden unter Supervision für ca. zehn Minuten pro Schallmodell das Einstellen aller Schnittebenen. Die benötigten Schallzeiten am ersten Schallmodell wurden mit denen am zweiten Schallmodell verglichen.

Einstellzeit der ASC in der kurzen Achse:

Zeitdauer von Hautkontakt mit der MCS bis zur Darstellung der ASC in kurzer Achse. Die Zeit wurde gestoppt bis eine annähernd kreisrunde Darstellung der ASC im mittleren Drittel des Schallfensters erfolgte.

Einstellzeit der ASC in der langen Achse:

Zeitdauer für die Einstellung der ASC in langer Achse aus der kurzen Achse heraus. Die Zeit wurde gestoppt bis die ASC vollständig längs durch das Schallfenster verlief.

Einstellzeit der VSC in der langen Achse:

Zeitdauer für die Einstellung der VSC in langer Achse aus der langen Achse der ASC heraus. Die Zeit wurde gestoppt bis min. ca. 80% der VSC längs durch das Schallfenster verlief.

Einstellzeit des Confluens von VJI und VSC:

Zeitdauer von Hautkontakt mit der MCS bis zur supraclaviculären Darstellung des Confluens von VJI und VSC.

5.8.2 Ultraschallgesteuerte Gefäßpunktion mittels MCS am Phantom

Die ultraschallgesteuerte Gefäßpunktion mittels MCS sollte an zwei unterschiedlichen Ultraschallphantomen geübt werden.

Um die Probanden mit den Eigenschaften der MCS sowie deren Handling beim Punktieren vertraut zu machen, wurde zuerst die Punktion an einem planen Phantom (Blue Phantom 4 der Firma CAE Healthcare, Mainz, Deutschland) und anschließend an einem selbstentworfenen anatomischen Phantom geübt, welches eine realistische ultraschallgesteuerte Punktion der VSC in der MISP-Technik ermöglichen sollte (Abbildung 15). Hierfür sollte ein Phantom konzipiert werden, dessen Entwicklungskosten gering ausfallen und welches wiederverwendbar ist. Es sollten alle für eine Punktion der VSC relevanten anatomischen Strukturen enthalten sein.

Ein Tutor stoppte und protokollierte die benötigten Zeiten für eine erfolgreiche Gefäßpunktion. Gemessen wurde die Zeit ab Hautpunktion bis Durchstechung der Gefäßvorderwand. Die erste Zeitmessung erfolgte zu Beginn ohne Übungsphase am jeweiligen Phantom. Nach einer Übungsphase von ca. fünf Minuten unter Supervision erfolgte eine zweite Zeitmessung. Die benötigten Zeiten wurden miteinander verglichen.

Von der Firma GE Healthcare GmbH, Solingen, Deutschland wurden dafür zwei Ultraschallgeräte des Modells Logiq e mit jeweils einer MCS (GE 8C-RS) zur Verfügung gestellt. Die Ultraschallgeräte wurden in den vorprogrammierten Carotispreset mit einer Schallfrequenz von 9 Mhz sowie einer Fokustiefe von 3 cm eingestellt.

Um das Risiko einer Beschädigung der Phantome sowie der Bildung sichtbarer Stichkanäle zu minimieren, wurde eine besonders atraumatische Punktionsnadel mit Pencil-Point-Spitze verwendet (Pencan Spinalkanüle 22G, 152297, B.Braun SE, Melsungen, Deutschland).

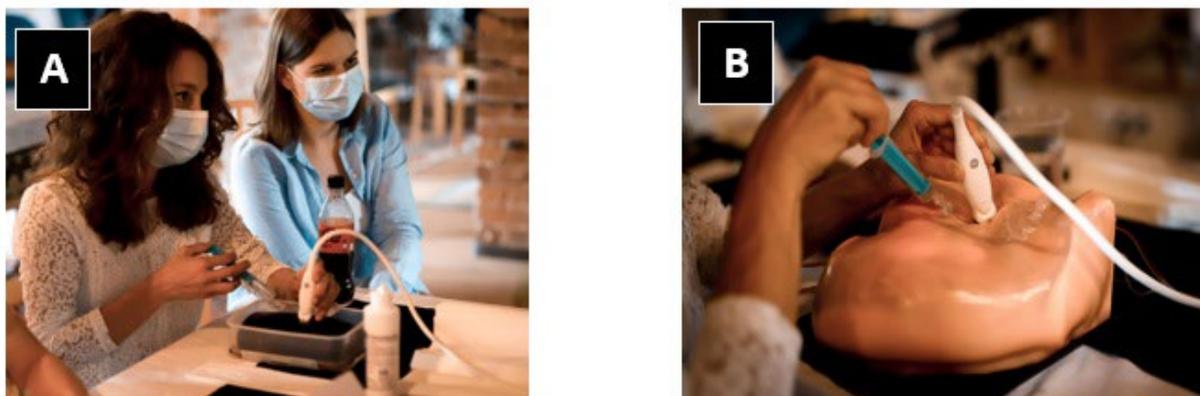


Abbildung 15: Ultraschallphantome. A) Punktion am planen Punktionsphantom (blue Phantom 4) B) Punktion am anatomischen Punktionsphantom.

5.8.3 Entwicklung eines anatomischen Ultraschallphantoms zur Punktion der VSC

Als formgebende Grundstruktur diente ein Gipsabdruck von einer linken Thoraxhälfte eines erwachsenen Mannes. Dieser umfasste die anatomischen Regionen vom mittleren Halsbereich (craniale Begrenzung) bis zur Mamille (kaudale Begrenzung) und vom Sternum (mediale Begrenzung) bis zur Axilla (laterale Begrenzung).

Das Oberflächenrelief des Brustabdrucks wurde zum Boden einer geschlossenen Form, indem an der cranialen und kaudalen Begrenzung Gipswände angebracht wurden. Diese wurde anschließend grundiert und lackiert (Edding 5200 Grundierungs-Spray, Edding 5200 Klarlack-Spray, Edding International GmbH, Bookoppel 7, Ahrensburg, Deutschland).

Die Innenwände der Gipsform wurden mit einer dünnen Silikonschicht bestrichen. Diese sollte die Haut des Phantoms bilden. Hierzu wurde ein additionsvernetzender Zweikomponenten-Silikonkautschuk verwendet (Rebound 25/1 von Smooth on Inc., Lower Macungie Road, Macungie, Pennsylvania, USA).

Als nächstes wurden Rippen und Clavicula in das Phantom eingearbeitet. Hier wurden Naturabgüsse eines männlichen Erwachsenen aus Hartplastik (Erler Zimmer GmbH, Lauf, Deutschland, Artikelnr. 3085 und 3070) verwendet. Diese wurden an den Seitenwänden des Phantoms mit Silikonkautschuk in anatomisch korrekter Position fixiert.

Als Lunge- bzw. Pleuranachbildung diente ein kleiner aufgeblasener birnenförmiger Luftballon, welcher mit Silikon ummantelt und an den Unterseiten der Rippen fixiert wurde.

VSC und ASC wurden aus selbstentwickelten Silikonkautschukschläuchen nachgebildet. Dazu dienten zwei Plastikschräuche von 2 cm (VSC) und 1 cm (ASC) Durchmesser als Vorlage. Diese wurden senkrecht an einer dafür geeigneten Vorrichtung aufgehungen und mit flüssigem Silikonkautschuk begossen. Um eine ideale Viskosität zu erhalten, wurde das verwendete Silikon zu 5 % mit einem Silikonverdünner vermischt (Silicon Thinner von Smooth on., Lower Macungie Road, Macungie, Pennsylvania, USA). Die Schlauchwände wurden so von einem dünnen Silikonfilm benetzt und überschüssiges Silikon konnte abtropfen. Die Schläuche wurden bis zur Aushärtung des Silikons kontinuierlich gedreht, um unterschiedliche Wandstärken zu vermeiden. Der so entstandene „Schlauch im Schlauch“ konnte nach Aushärtung entnommen werden. Die Länge wurde entsprechend angepasst und anatomisch korrekt in das Phantom eingearbeitet.

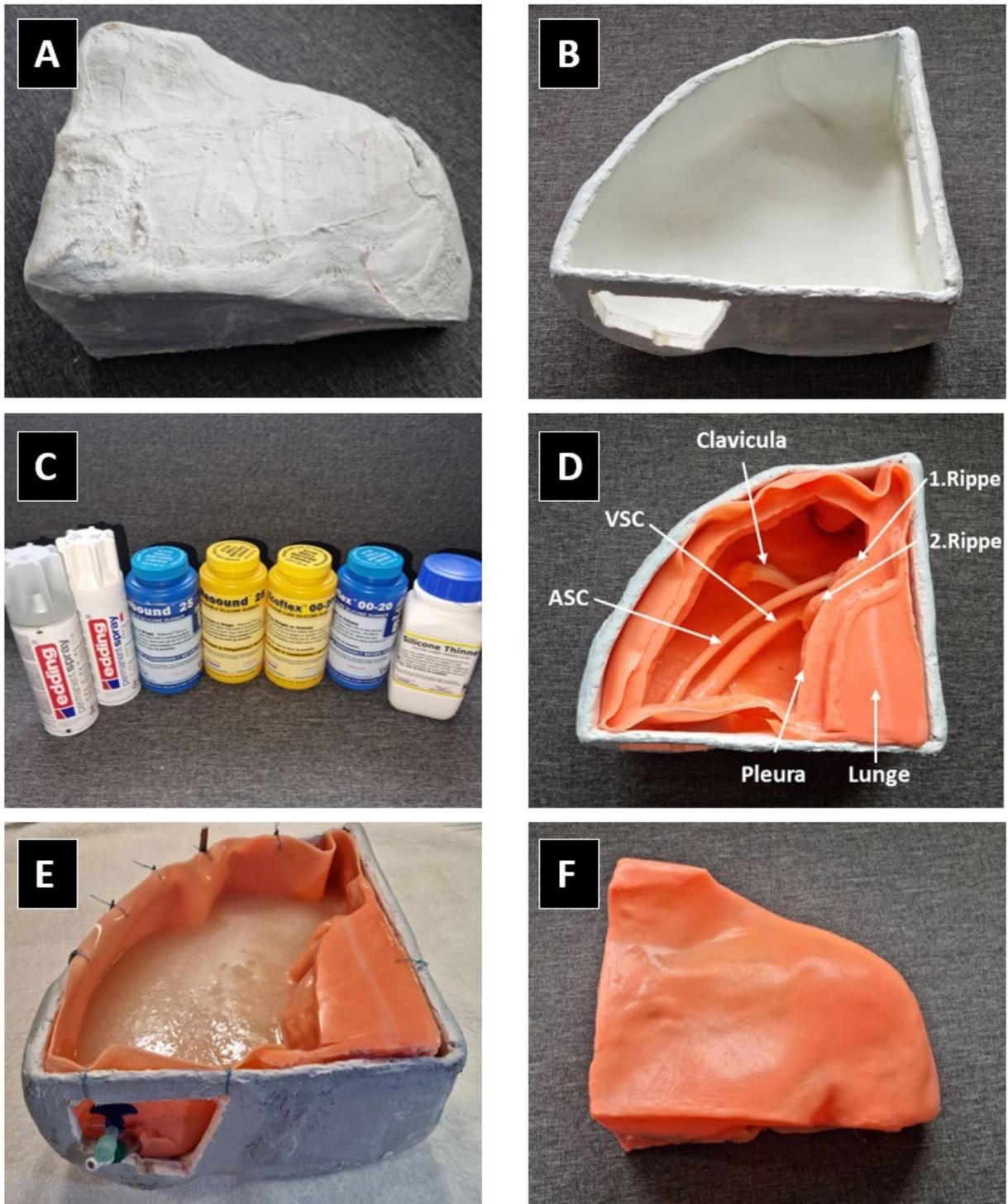


Abbildung 16: Entwicklung des anatomischen Ultraschallphantoms. A) Gipsabdruck einer linken Thoraxhälfte. B) Bildung einer geschlossenen Form mit dem Oberflächenrelief als Boden. C) Verwendete Materialien. D) Nachbildung von anatomischen Strukturen aus Silikon und Einsetzen von Clavicula, 1. und 2. Rippe. Sicht von dorsal. E) Füllung der Form mit einer Gelatinemischung. F) Fertiges Phantom.

Anschließend wurde eine Gelatinemischung hergestellt. Dazu wurden zuerst 200 g Maisstärke (Mondamin feine Speisestärke von Unilever Deutschland GmbH, Hamburg, Deutschland) in 600 ml kaltem Wasser gelöst. Als Nächstes wurde 2400 ml kochendes Wasser dazugegeben und langsam 200 g Gelatine (HALA von Inka foods, Spanien) eingerührt. Die Mischung wurde in die Silikonform gegossen und anschließend zum Aushärten für 12 Stunden bei 5°C im Kühlschrank aufbewahrt.

Nach der Aushärtung wurde die Gelatine mit einer dünnen Schicht Silikon übergossen. Die komplette Silikonummantelung der Gelatine sollte das Eindringen von Luft in das Modell verhindern.

Nachdem das Silikon ausgehärtet war, wurde die Gipsform um 180 Grad gekippt und der Silikon-Gelatine-Block herausgelöst. Durch dieses Vorgehen kam es nicht zu Problemen mit gebildeten Luftblasen, welche zu Schallschatten führen würden, da diese zur Oberfläche (Rückseite) wandern und somit die Schallqualität nicht beeinträchtigen konnten. Abschließend wurden die Gefäße mit einem Infusionssystem, welches mit Johannisbeersaft befüllt war, verbunden und sorgfältig entlüftet.

Untersuchung der sonographischen Eigenschaften des Punktionsphantom

Am Punktionsphantom sowie beim Schallmodell wurde mit der MCS ein sonographisches Bild der VSC in der langen Achse eingestellt, sodass Clavicula, VSC, zweite und dritte Rippe, Pleura darauf abgebildet waren. Anschließend wurden die kürzesten Distanzen von der Schallkopfmitte auf Hautniveau bis zu diesen anatomischen Strukturen sowie die Durchmesser der VSC vermessen und miteinander verglichen.

Als Ultraschallgerät wurde das Modell Vivid T9 (GE Healthcare GmbH, Solingen, Deutschland) mit der MCS (GE 8C-RS) verwendet. Die Ultraschallgeräte wurden in den vorprogrammierten Carotispreset mit einer Schallfrequenz von 9 Mhz sowie einer Fokustiefe von 3 cm eingestellt. Der Vergleich ist in Abbildung 17 dargestellt.

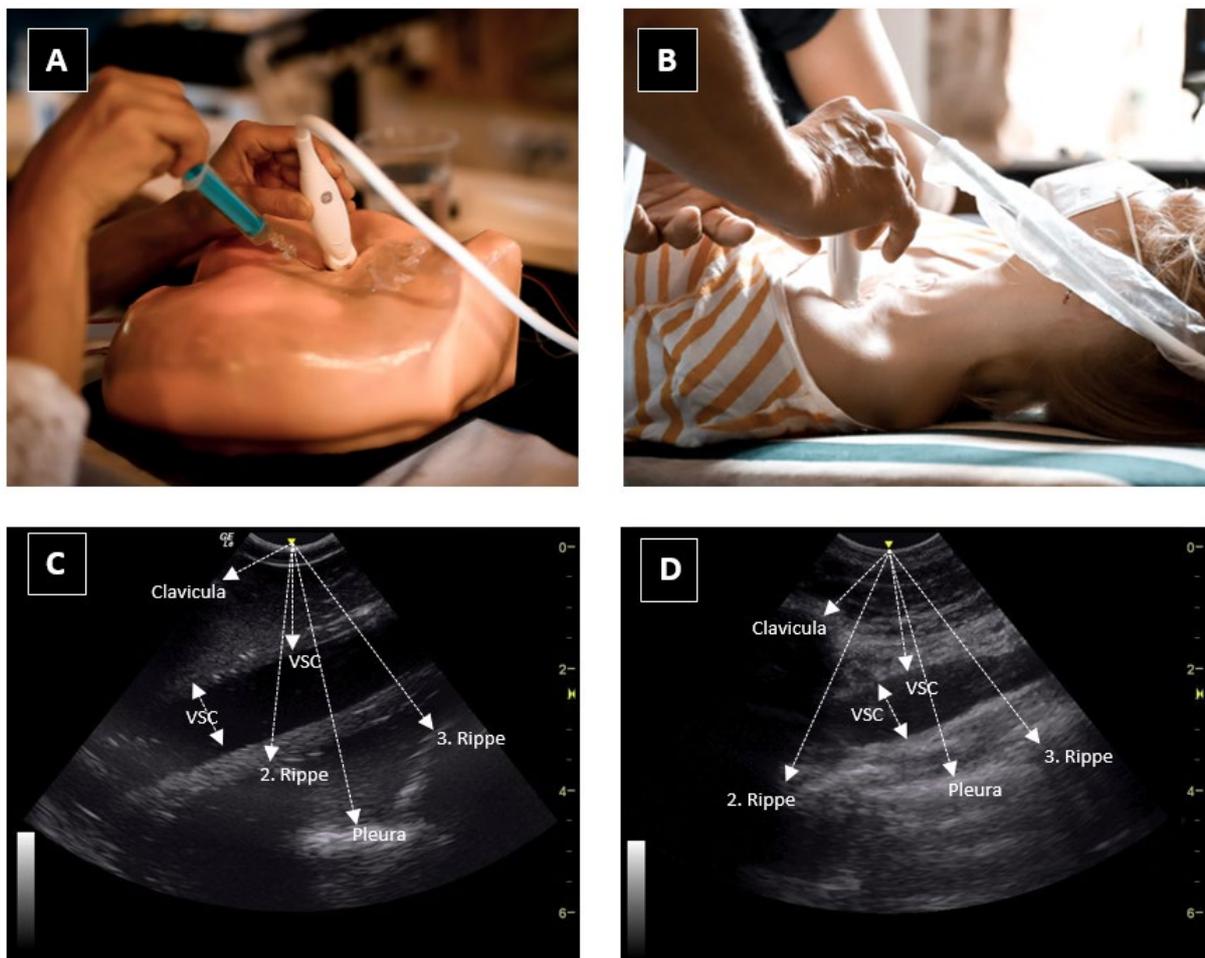


Abbildung 17: Vergleich zwischen anatomischen Ultraschallphantom und Schallmodell. A) anatomisches Ultraschallphantom B) Schallmodell. C) Ultraschallbild der Vena subclavia (VSC) im anatomisches Ultraschallphantom. D) Ultraschallbild der VSC im Schallmodell.

5.8.4 ZVK-Annaht

An einem weiteren selbstentwickelten ZVK-Trainingsmodell aus Silikon konnten die Probanden die ZVK- Annaht unter Supervision üben. Der Katheter sollte in der „Strumpftechnik“ angenäht werden. Bei dieser Technik wird zuerst der Clip an beiden Seiten an der Haut festgenäht. Nach dem Knoten wird ein Fadenende kurz und das andere lang abgeschnitten. Mit den langen Enden beider Knoten wird nun der Katheter strumpffartig in entgegengesetzter Richtung umwickelt und am distalen Ende des Katheters in zwei kleine Löcher eingefädelt. Abschließend werden die beiden Fadenenden miteinander verknotet. Auf diese Weise kann ein Durchrutschen des Katheters durch den Clip weitestgehend verhindert werden. Die Probanden sollten den ZVK möglichst schnell und sicher annähen. Die Zeit wurde ab dem ersten Hautstich bis zum letzten Knoten gemessen und sollte unter drei Minuten betragen. Ein sicherer Halt der Annaht wurde mit einem 2,5 kg schweren Gewicht überprüft, welches am Katheter befestigt wurde. Indem das Phantom angehoben wurde, hing die Last des Gewichts am Katheter. Kam es aufgrund einer insuffizienten Annaht zu einer Dislokation des Katheters, wurde die Strecke, um welche der Katheter herausgezogen wurde, gemessen und protokolliert. Die Dislokationsstrecke des Katheters sollte nicht mehr als 0,5 cm betragen. Der Tutor protokollierte die Anzahl an Versuchen, bis die vorgegebenen Parameter erreicht wurden, die benötigten Zeiten und Dislokationsstrecken im ersten Versuch sowie nach einem zehn-minütigen Training unter Supervision. Die Station ist in Abbildung 18 dargestellt.

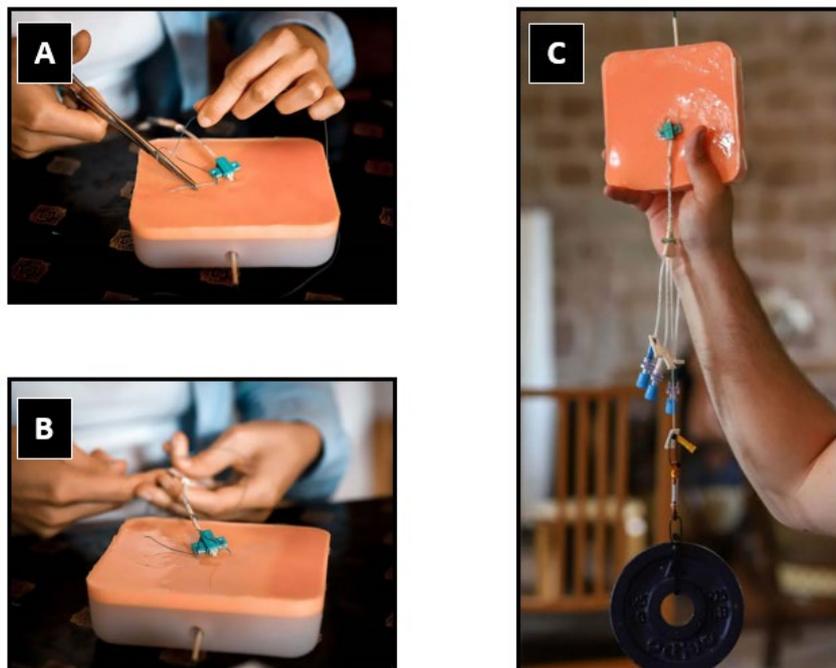


Abbildung 18: Zentralvenöser-Katheter (ZVK)-Annahtstation. A) ZVK-Annaht. B) Annaht in der Strumpftechnik. C) Dislokationstest durch ein Gewicht.

Entwicklung eines ZVK-Annahphantoms

In eine Plastikbox von ca. 15 x 15 x 5 cm wurde jeweils ein 10 mm großes Loch in zwei sich gegenüberliegenden Wänden gebohrt. Durch die beiden Löcher wurde ein Darmrohr durchgezogen. Anschließend wurde die Box mit einem flüssigen ad ditionsvernetzenden Silikonkautschuk (Ecoflex 30/1) bis 1 cm unter den Rand befüllt.

Anschließend wurde eine ca. 0,5 cm dicke Deckschicht hautfarbener Silikonkautschuk (Rebound 25/1) aufgetragen. Nach Aushärtung des Silikons wurde das Darmrohr entfernt. Dadurch entstand ein Tunnel, in dem später der Katheter eingeführt werden konnte. Der nun fertige Silikonblock wurde aus der Plastikbox herausgelöst.

Darauffolgend wurde mittels einer Stechahle eine Verbindung zwischen Deckschicht und Tunnel geschaffen. In diesen Kanal wurde danach der ZVK eingebracht. Damit der Katheter widerstandslos in diesem Silikontunnel gleiten konnte, wurde dieser mit WD-40 Öl-Spray (WD-40 Company, Bad Homburg, Deutschland) vorbehandelt.

5.8.5 ZVK-Komplikationen

Es wurden den Probanden Röntgen-Thorax-Aufnahmen gezeigt (siehe Abbildung 19), auf denen typische ZVK-Komplikationen erkannt werden sollten. Zu den jeweiligen Bildern waren die folgenden sieben Aussagen vorgegeben, von denen die Richtigaussagen ausgewählt werden mussten (Mehrfachantwort möglich).

Antwortmöglichkeiten:

- ZVK liegt korrekt.
- ZVK liegt zu tief.
- ZVK liegt nicht tief genug.
- Pneumothorax.
- Subclavia-ZVK zieht zur Gegenseite.
- Subclavia-ZVK schlägt in die V. jugularis um.
- Jugularis-ZVK schlägt in die VSC um.

Zur Veranschaulichung sind auf den Bildern Pfeilmarkierungen zu sehen, welche nicht für die Probanden ersichtlich waren. Der rote Pfeil zeigt den Katheterverlauf, der Gelbe das Katheterende.

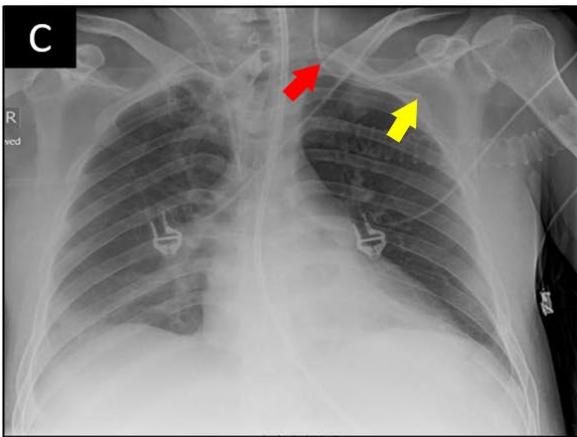
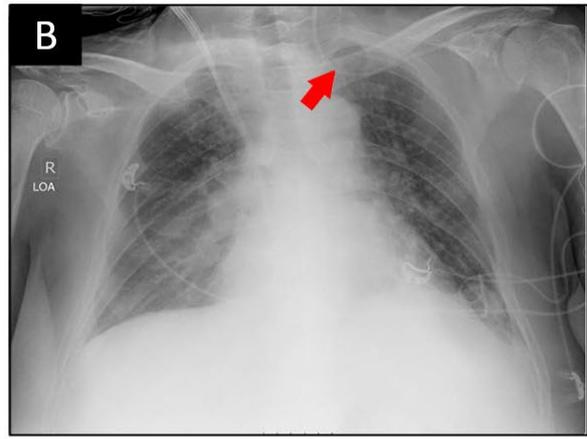
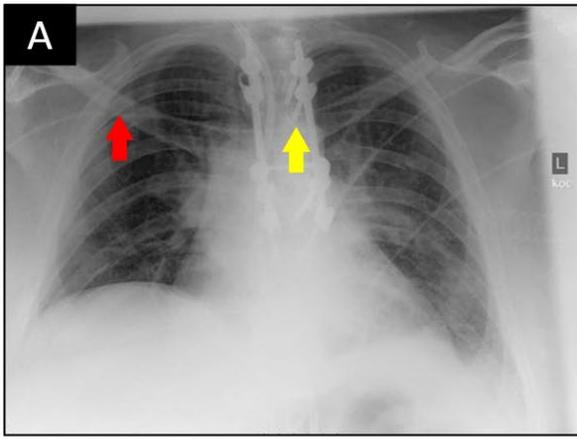


Abbildung 19: Röntgen-Thorax-Aufnahmen von typischen Komplikationen bei Anlegen eines zentralvenösen Katheters (ZVK). A) Subclavia-ZVK zieht zur Gegenseite. B) Subclavia-ZVK schlägt in die V. jugularis um. C) Jugularis-ZVK schlägt in die VSC um. D) ZVK liegt nicht tief genug. E) ZVK liegt zu tief. F) Pneumothorax.

5.9 Evaluation

Nach Abschluss der Kurse hatten die Probanden die Möglichkeit diesen zu evaluieren.

Die Evaluation erfolgte digital über Microsoft-Forms. Der Evaluationsbogen ist in Abbildung 20 dargestellt.

Link: <https://forms.office.com/r/9ftdV7TQmd>

1. Bewerten Sie die folgenden Aussagen aus Ihrer Sicht: *

	Stimmt	Stimmt teilweise	Stimmt eher nicht	Stimmt nicht	Weiß nicht
Meine Erwartungen an den Kurs wurden erfüllt.	<input type="radio"/>				
Mit der Organisation der Veranstaltung war ich zufrieden.	<input type="radio"/>				
Die Thematik ist für mich als Arzt wichtig.	<input type="radio"/>				
Die Zusammenstellung der Inhalte ist gelungen.	<input type="radio"/>				
Die Veranstaltung war methodisch gut gestaltet.	<input type="radio"/>				
Die Anforderungen an mich waren angemessen.	<input type="radio"/>				
Das Erlernete ist für mich im klinischen Alltag relevant.	<input type="radio"/>				
Ich beherrsche den Umgang mit der Mikrokonvexe sicher.	<input type="radio"/>				
Die Tutoren/Referenten waren fachlich kompetent.	<input type="radio"/>				

Abbildung 20: Evaluationsbogen.

5.10 Statistische Analyse

Sämtliche statistische Analysen erfolgten mit IBM SPSS Statistics Version 28.0.1.1 (14) (IBM Deutschland, Ehrlingen, Germany). Alle Variablen wurden mit dem Shapiro-Wilks-Test auf Normalverteilung getestet. Zur Überprüfung auf Gruppenunterschiede zwischen erfahrenen und unerfahrenen Teilnehmern wurde bei Normalverteilung der t-Test für nicht-verbundene Stichproben angewendet. Waren die Daten nicht normalverteilt, wurden die Unterschiede mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Signifikanz getestet. Für die Überprüfung des Kurserfolges in den jeweiligen Gruppen (vorher/nachher) wurde bei normalverteilten Daten der t-Test für verbundene Stichproben eingesetzt und bei nicht-normalverteilten Daten der Wilcoxon-Test. Ein p-Wert $<0,05$ wurde in allen Testverfahren als statistisch signifikant angenommen.

5.11 Diagramme und Grafiken

Alle Diagramme wurden entweder mit IBM SPSS Statistics Version 28.0.1.1 (14) (IBM Deutschland, Ehrlingen, Germany) oder mit Excel Version 2301 (Microsoft Deutschland GmbH, Bayern, Germany) angefertigt. Als Bildverarbeitungsprogramm wurde das Programm Adobe Photoshop 2022 (Kalifornien) genutzt. Grafiken wurden mit PowerPoint Version 2301 (Microsoft Deutschland GmbH, Bayern, Germany) angefertigt.

6 Ergebnisse

6.1 Probanden

An den angebotenen Kursen nahmen insgesamt 57 Teilnehmer als Probanden teil. Die Häufigkeitsverteilung der von den Probanden angegebenen bereits gelegten ZVKs ist in Abbildung 29 dargestellt. Hier wird deutlich, dass etwas mehr als die Hälfte der Probanden (31) angab, weniger als 100 ZVKs und 26 Probanden mehr als 100 ZVKs angelegt zu haben.

Um zwei möglichst homogene Gruppen zu erhalten, wurden die Probanden, die angaben, bereits über 100 ZVK gelegt zu haben, der erfahrenen Gruppe (n=26) und alle, die weniger angaben, der unerfahrenen Gruppe (n=31) zugeordnet.

Die Gruppeneinteilung ist in Abbildung 21 dargestellt.

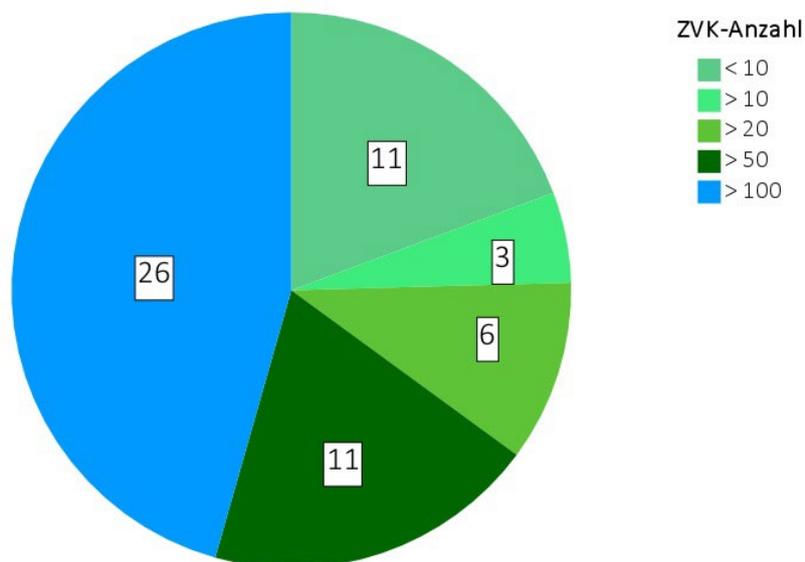


Abbildung 21: Erfahrungen der Probanden mit ZVK. Häufigkeitsverteilung der von den 57 Probanden angegebenen Anzahl bereits gelegter ZVK.

6.2 Anatomie Punktescore

Unser Ausbildungskonzept umfasste ein umfangreiches Anatomieprogramm.

Für die Erhebung des Wissensstandes bildeten die Probanden den Gefäßverlauf an einem Modellskelett mittels flexiblen Pfeifenputzern (blau= VSC, rot=ASC) nach. Nach Beendigung des Kurses zeichneten die Probanden diesmal VSC und ASC in ein standardisiertes Anatomiebild ein. Die Fertigkeiten wurden anhand eines Punktescores bewertet.

Der Punktescore bewertet die Lagebeziehung zwischen VSC und ASC. Des Weiteren wurden der Abstand sowie die Winkeldifferenz zwischen der von den Probanden anmodellierten VSC vom Idealverlauf an der Claviculavorderkante bewertet.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 22 dargestellt.

Im Rahmen des Kurses konnten die Probanden ihre anatomischen Kenntnisse über die Gefäßverläufe von ASC und VSC signifikant verbessern.

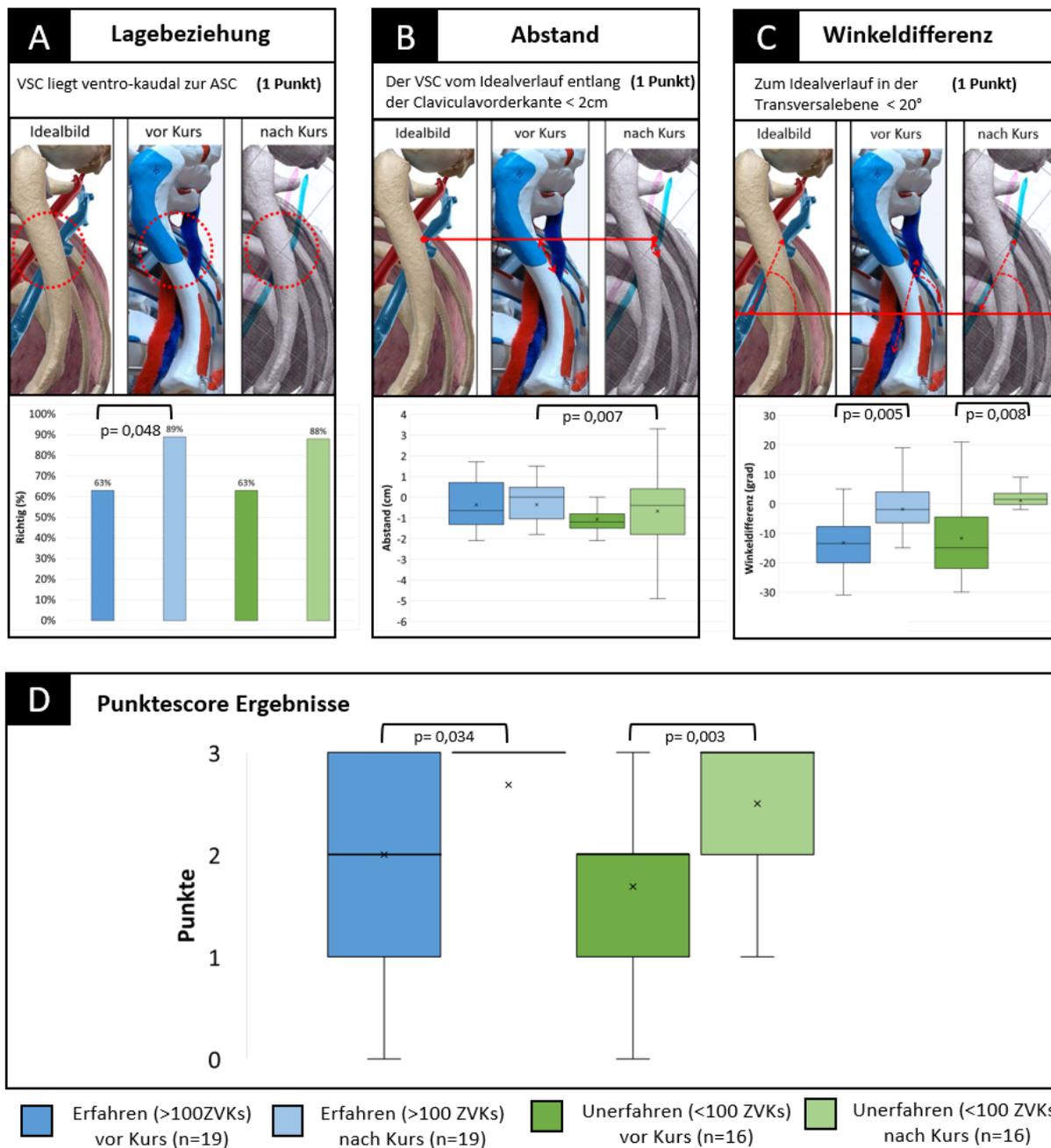


Abbildung 22: Ergebnisse beim Anatomiepunktescore. Punktescore, welcher die Kenntnisse der Probanden über den anatomischen Gefäßverlauf von Arteria subclavia (ASC) und Vena subclavia (VSC) vor und nach dem Kurs beurteilt. Für die Ersterhebung bildeten die Probanden diese an einem Modellskelett mittels flexiblen Pfeifenputzern (blau= VSC, rot=ASC) nach. Nach Beendigung des Kurses sollten die Gefäßverläufe in ein standardisiertes Anatomiebild eingezeichnet werden, an welchem erneut der Punktescore in gleicher Weise ermittelt wurde. Der Score setzt sich aus 3 Parametern (A-C) zusammen. **A)** Darstellung über die Häufigkeiten der richtigen Lagebeziehung zwischen ASC und VSC. Die korrekte Darstellung der VSC ventro-kaudal zur ASC wurde mit 1 Punkt bewertet. Die erfahrene Gruppe verbesserte ihre Vorstellungen über die Lagebeziehung signifikant ($p=0,048$) im T-Test. **B)** Darstellung der Abstände zum Schnittpunkt der VSC mit der Claviculavorderkante im Idealbild. Ein Abstand kleiner 2 cm wurde mit 1 Punkt bewertet. Die Erfahrenen schnitten nach dem Kurs signifikant ($p=0,007$) besser als die Unerfahrenen ab (Mann-Whitney-U-Test). **C)** Darstellung des Winkelunterschieds zum Idealverlauf in der Transversalebene. Eine Differenz von unter 20° wurde mit 1 Punkt bewertet. Erfahrene ($p= 0,005$) und Unerfahrene ($p= 0,008$) verbesserten sich signifikant (Wilcoxon-Test). **D)** Ergebnisse des Punktescores. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen. Erfahrene ($p= 0,034$) und unerfahrene ($p= 0,003$) Probanden verbesserten ihre Kenntnisse signifikant (Wilcoxon-Test).

6.3 Multiple Choice-Test

Richtigantworten der Probanden eines Multiple Choice Tests vor und nach dem Kurs. Das hierfür notwendige Wissen wurde in einem Einführungsvideo, welches in der folgenden Theoriestation gezeigt wurde, sowie während des Kurses von den Tutoren vermittelt. Die Reihenfolge der Fragen sowie die der Antwortmöglichkeiten unterschied sich in beiden Tests. In 5 MC-Fragen sollte jeweils die Falschaussage unter 5 Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden. Nach der Beantwortung wurde die Lösung angezeigt. Beide Gruppen konnten sich signifikant verbessern (Wilcoxon-Test).

Die Ergebnisse sind in Abbildung 23 dargestellt.

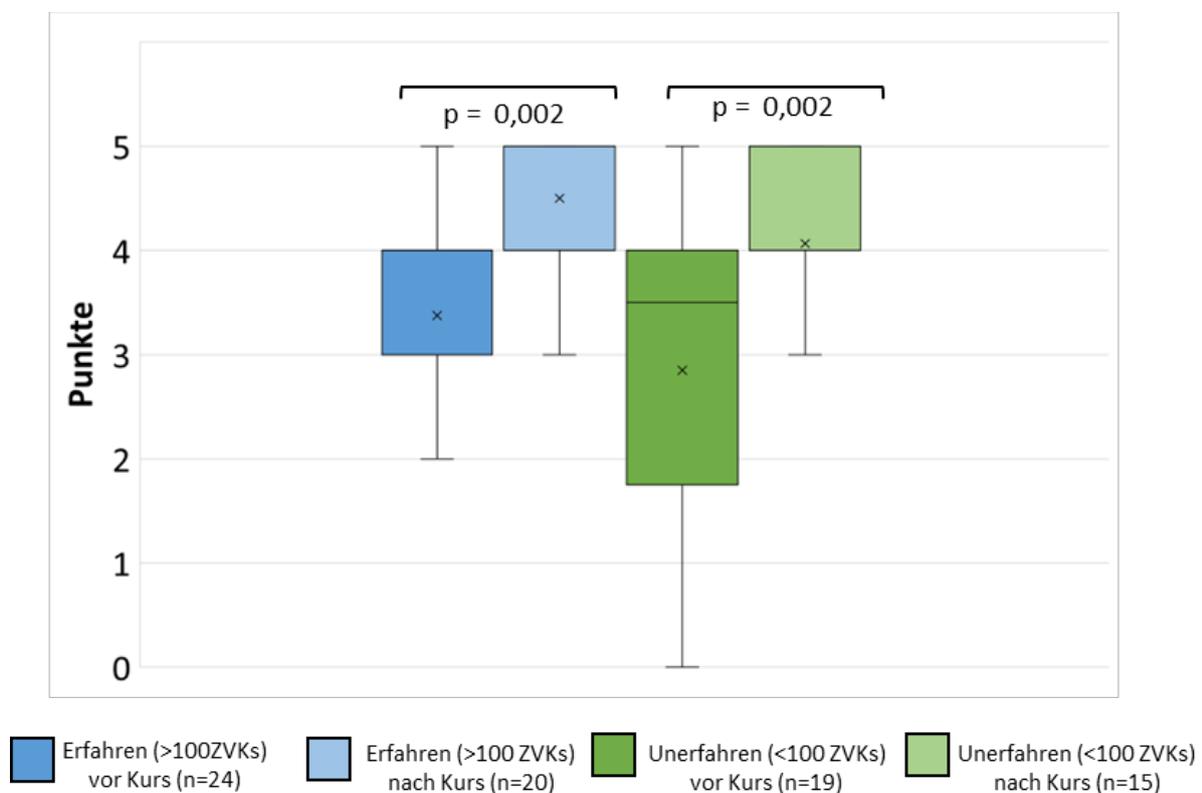


Abbildung 23: Ergebnisse im Multiple Choice Test, welcher vor und nach dem Kurs von den Probanden bearbeitet wurde. In 5 Fragen mit jeweils 5 Antwortmöglichkeiten sollte die Falschaussage gefunden werden. Hierbei wurde die Theorie über die wichtigsten Aspekte der MISP-Technik abgefragt. Im Abschlusstest wurde die Reihenfolge der Fragen und Antwortmöglichkeiten abgeändert. Zwischen den Gruppen gab es keinen signifikanten Unterschied. Beide Gruppen konnten die Fragen im Abschlusstest signifikant ($p = 0,002$) besser beantworten. (Wilcoxon-Test)

6.4 Blindversuch Punktescore

In diesem Punktescore wurde die Vorstellung über den Gefäßverlauf der VSC und somit auch die Fähigkeit der Probanden erfasst, den Schallkopf intuitiv richtig zu platzieren. Der Versuch fand jeweils zu Beginn der Schallübungen an zwei Ultraschallmodells statt, sodass die Gefäßverhältnisse nicht bekannt waren. Der Bildschirm des Ultraschallgerätes war während des Versuchs für die Probanden nicht einsehbar. Die Ergebnisse sind in Abbildung 24 dargestellt.

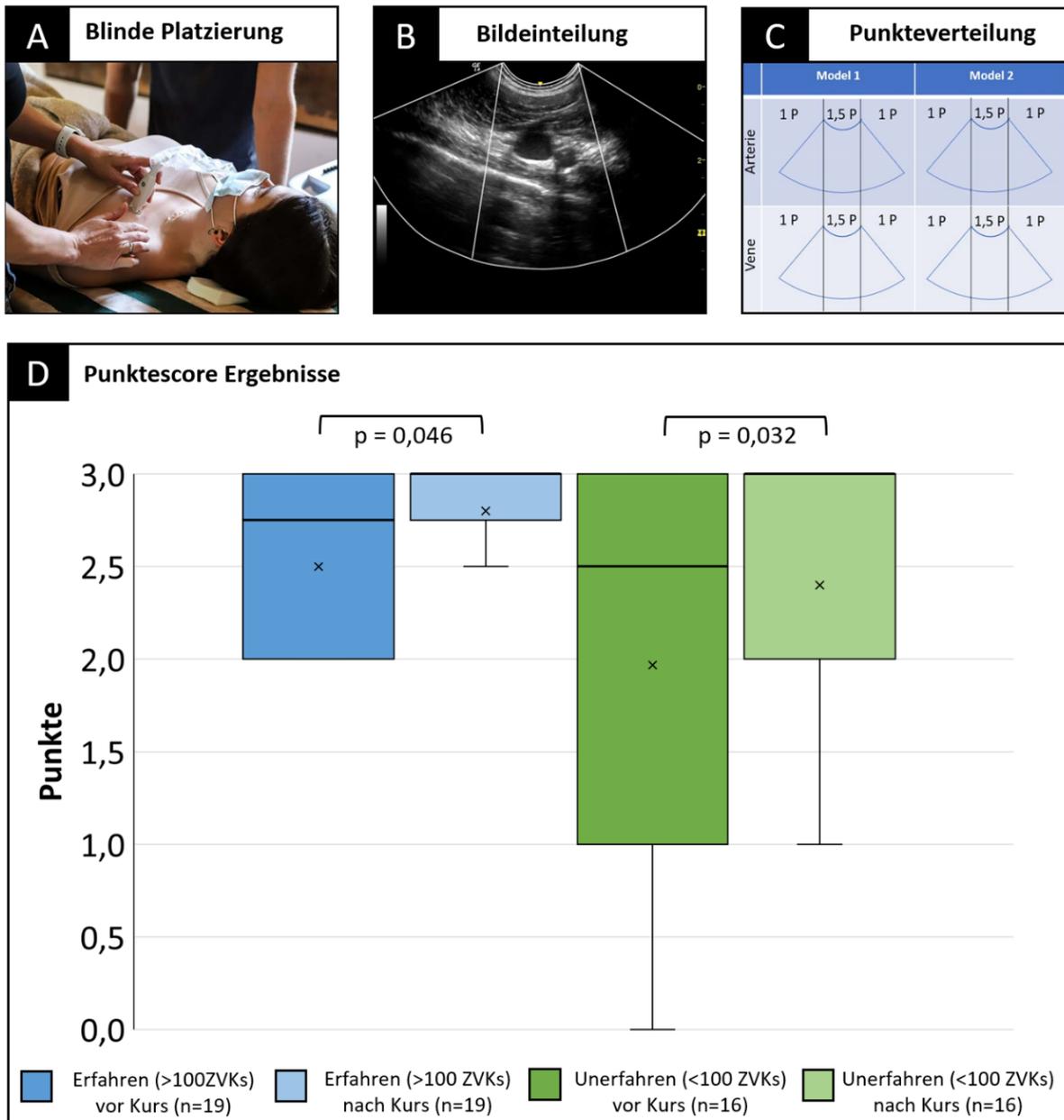


Abbildung 24: Ergebnisse im Blindversuch. In diesem Punktescore wurde eine blinde und somit intuitive Schallkopfplatzierung bewertet. Der Versuch fand jeweils zu Beginn der Schallübungen an zwei Ultraschallmodells statt, sodass die Gefäßverhältnisse nicht bekannt waren. **A)** Bei abgedecktem Bildschirm mussten beide Gefäße, die Arteria subclavia (ASC) und die Vena subclavia (VSC) mittig in der kurzen Achse eingestellt werden. **B)** Das entstandene Schallfenster wurde in Drittel eingeteilt. **C)** Je nachdem in welchem Bildritzel ASC und VSC in kurzer Achse abgebildet waren, wurde dies mit 0, 1 oder 1,5 Punkten bewertet. **D)** Ergebnisse des Blindversuchs: Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Beide verbesserten sich im Zweitversuch signifikant (Wilcoxon-Test).

6.5 Tiefenschätzung der VSC

Die anatomischen Kenntnisse der Probanden über die Gefäßtiefe der VSC am Menschen erfassten wir anhand einer Tiefenschätzung. Dazu wurde die geschätzte Tiefe mit der gemessenen Tiefe verglichen und die Abweichung als Tiefendifferenz dargestellt (geschätzte Tiefe – gemessene Tiefe). Die Ergebnisse sind in Abbildung 25 dargestellt.

Die unerfahrene Gruppe konnte sich signifikant (Wilcoxon-Test) verbessern und schnitt zudem im Zweitversuch signifikant (Mann-Whitney-U-Test) besser als die erfahrene Gruppe ab.

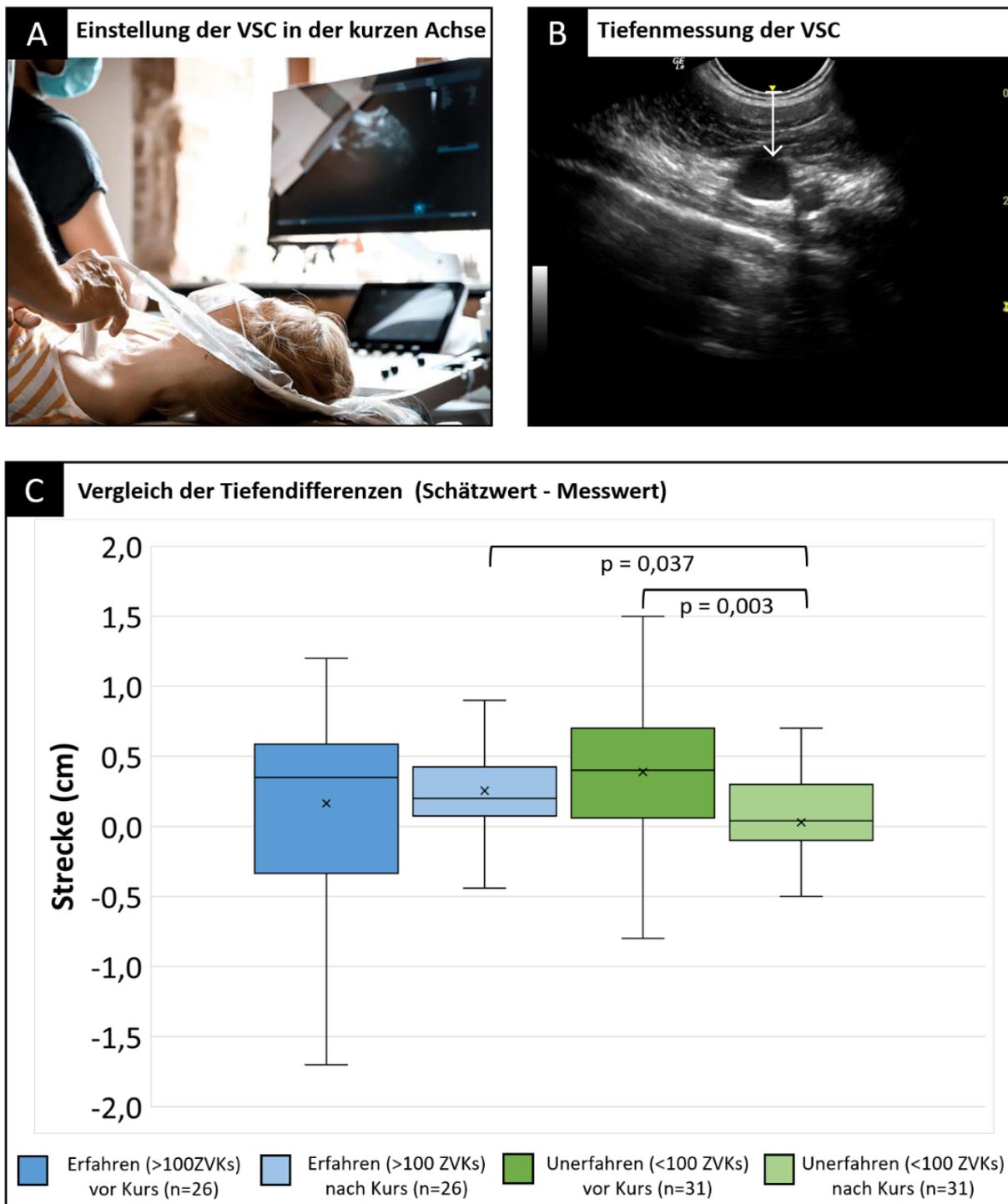


Abbildung 25: Ergebnisse der Tiefenschätzung der Probanden über die Gefäßtiefe der Vena subclavia (VSC). Der Versuch fand jeweils zu Beginn der Schallübungen an zwei Ultraschallmodells statt, sodass die Gefäßverhältnisse nicht bekannt waren **A**) Die Probanden stellten die VSC in der kurzen Achse ein und schätzten anschließend deren Tiefe bis zur Venenvorderwand. Die Tiefenskala des Schallfensters wurde dafür unkenntlich gemacht. **B**) Anschließend wurde am Ultraschallgerät die Strecke von Hautniveau bis zur Venenvorderwand ausgemessen. **C**) Für die Auswertung wurden die Differenzen zwischen geschätzter und gemessener Tiefe miteinander verglichen. Die unerfahrene Gruppe schätzte die VSC um 0,4 cm (MWT) zu tief und konnte sich im Zweitversuch signifikant (Wilcoxon-Test) verbessern. Zudem schnitten sie im Zweitversuch signifikant (Mann-Whitney-U-Test) besser als die erfahrene Gruppe ab.

6.6 Schallzeiten mit der MCS

Wir erfassten die benötigte Zeit für das Einstellen der sonographischen Ebenen in MISP-Technik. Nach einem Theorieteil, in welchem die MISP-Methode erläutert wurde, erfolgten die praktischen Übungen nacheinander an zwei Schallmodells von ähnlicher Statur. Der jeweils erste Versuch diente der Datenerfassung. Anschließend übten die Probanden unter Supervision für ca. 10 Minuten das Einstellen der Schallebenen in MISP-Technik. Die Ergebnisse sind in Abbildung 26 dargestellt.

Die unerfahrene Gruppe verbesserte sich signifikant (Wilcoxon-Test).

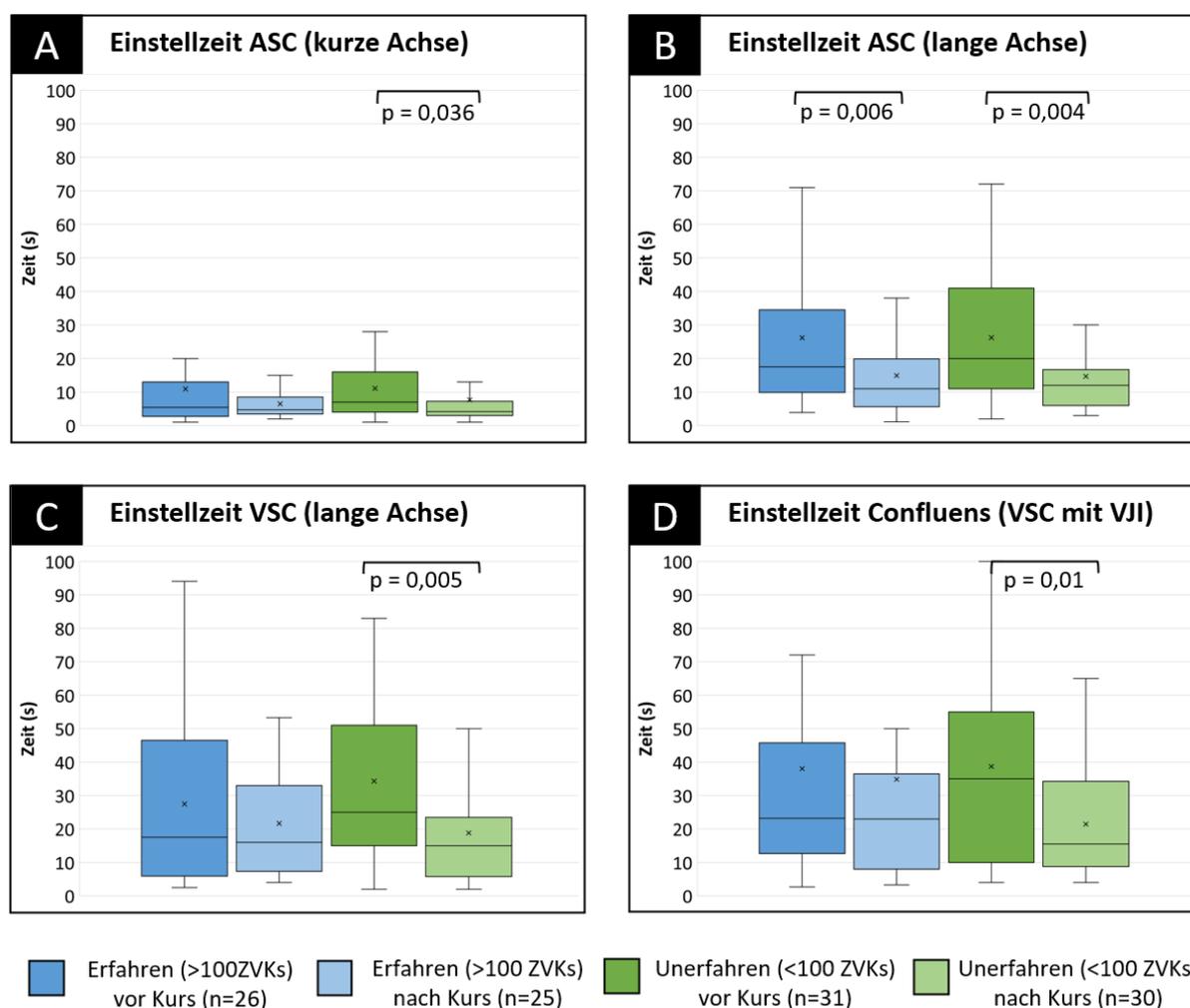


Abbildung 26: Ergebnisse der Schallzeiten. Die benötigte Zeit der Probanden für das Einstellen der Schnittbilder in der Microconvex-Inplane-Subclavian-Puncture (MISP)-Technik. Der Versuch fand jeweils zu Beginn der Schallübungen an zwei Ultraschallmodells statt, sodass die Gefäßverhältnisse nicht bekannt waren. **A)** Zeitdauer ab Hautkontakt mit der Microconvex-Sonde (MCS) bis Darstellung der Arteria subclavia (ASC) in der kurzen Achse. Die unerfahrene Gruppe verbesserte sich (Wilcoxon-Test). **B)** Zeitdauer für die Einstellung der ASC in langer Achse aus der kurzen Achse heraus. Beide Gruppen verbesserten sich (Wilcoxon-Test). **C)** Zeitdauer für die Einstellung der Vena subclavia (VSC) in der langen Achse aus der langen Achse der ASC heraus. Die unerfahrene Gruppe verbesserte sich (Wilcoxon-Test). **D)** Zeitdauer von Hautkontakt mit der MCS bis zur supraclaviculären Darstellung des Confluens von VSC und Vena jugularis interna. Die unerfahrene Gruppe verbesserte sich (Wilcoxon-Test).

6.7 Anatomisches Punktionsphantom

Um den Umgang mit der MCS für eine Punktion der VSC in MISP-Technik üben zu können, entwickelten wir für unseren Kurs ein anatomisches Punktionsphantom. Dieses ist der infraclaviculären Region nachgebildet und beinhaltet alle für die Punktion relevanten Strukturen.

Das Ergebnis wird in den Abbildungen 27 und 28 im Vergleich mit den anatomischen und sonographischen Verhältnissen bei einem der Schallmodels dargestellt.

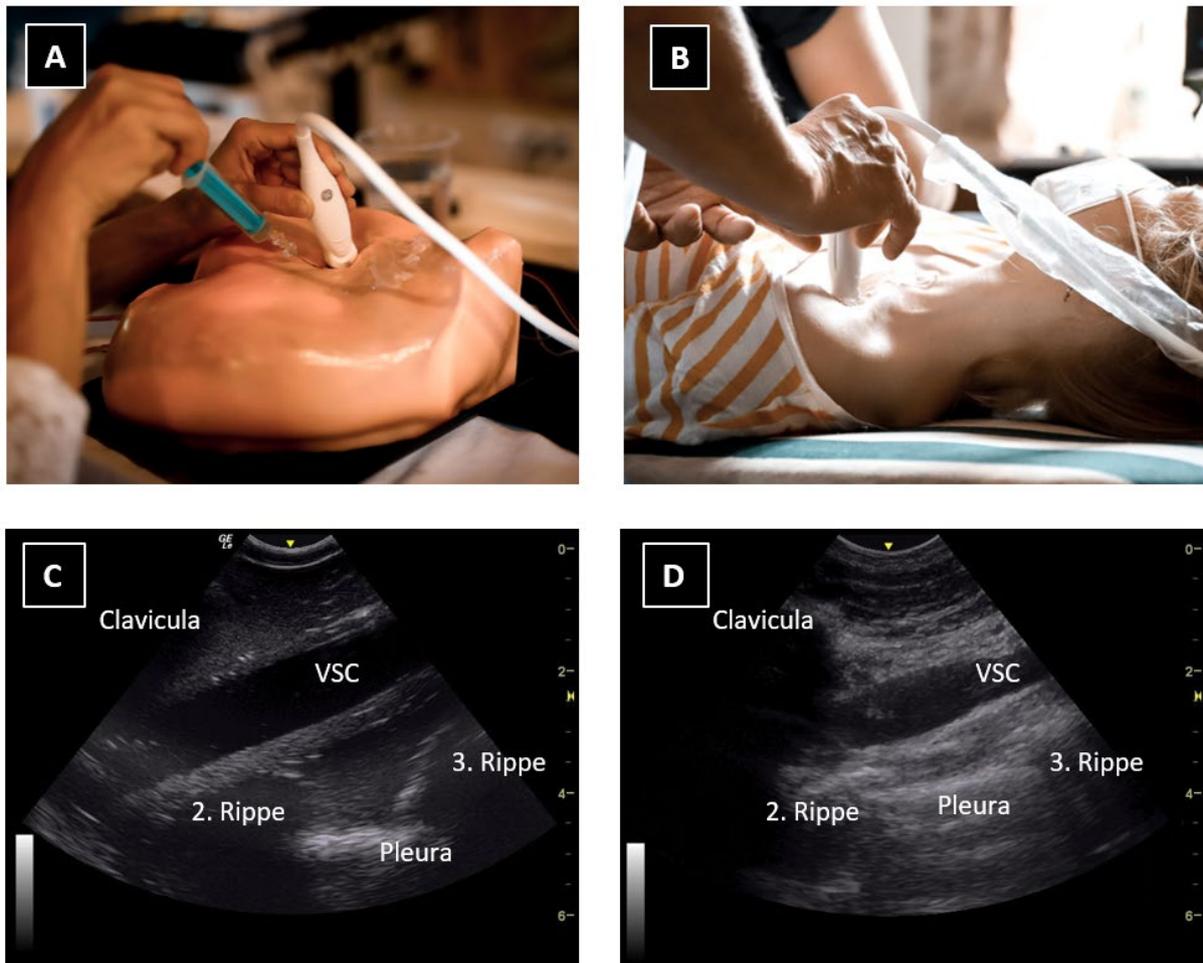


Abbildung 27: Vergleich des anatomischen Punktionsphantoms mit einem Schallmodell. A) Anatomisches Punktionsphantom mit Positionierung der Mikrokonvexsonde (MCS) über der Vena subclavia (VSC) in der langen Achse. **B)** Schallmodell mit Positionierung der MCS über der VSC in der langen Achse. **C)** Ultraschallbild der VSC in der langen Achse am anatomischen Punktionsphantom. **D)** Ultraschallbild der VSC in der langen Achse am Schallmodell.

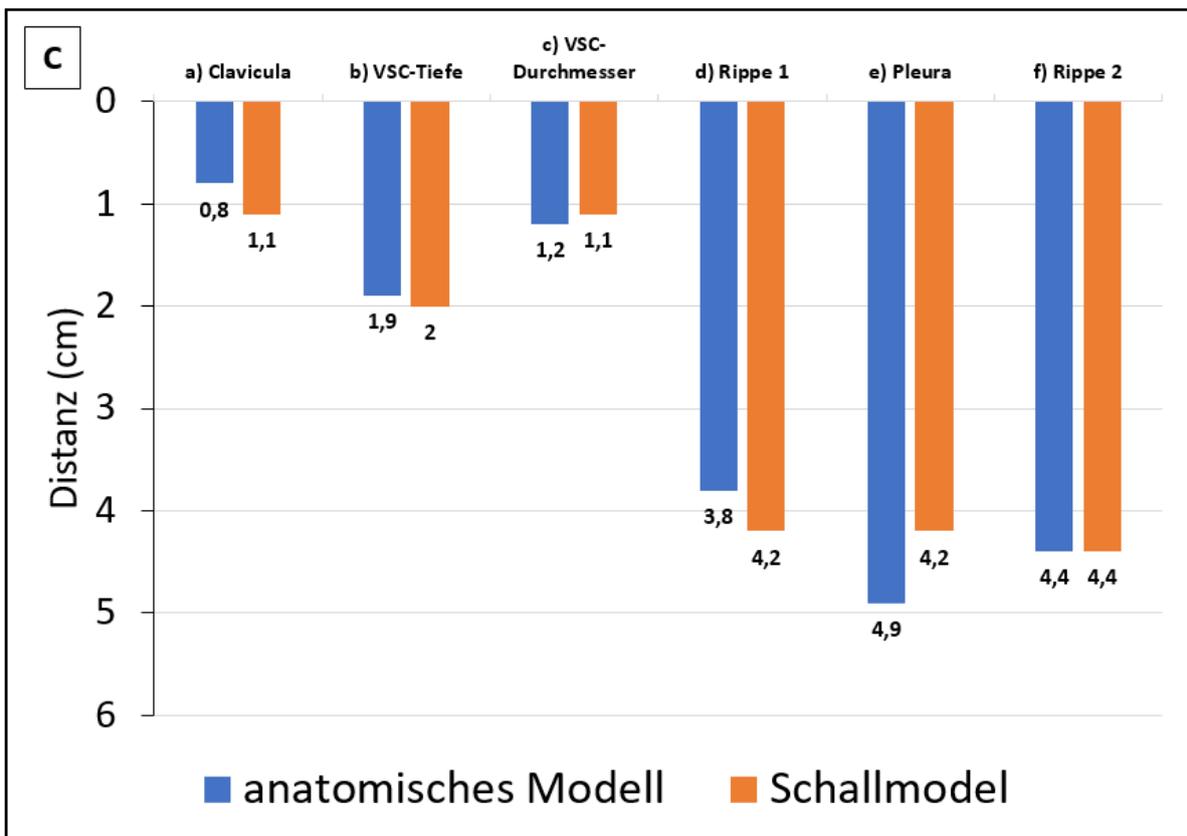
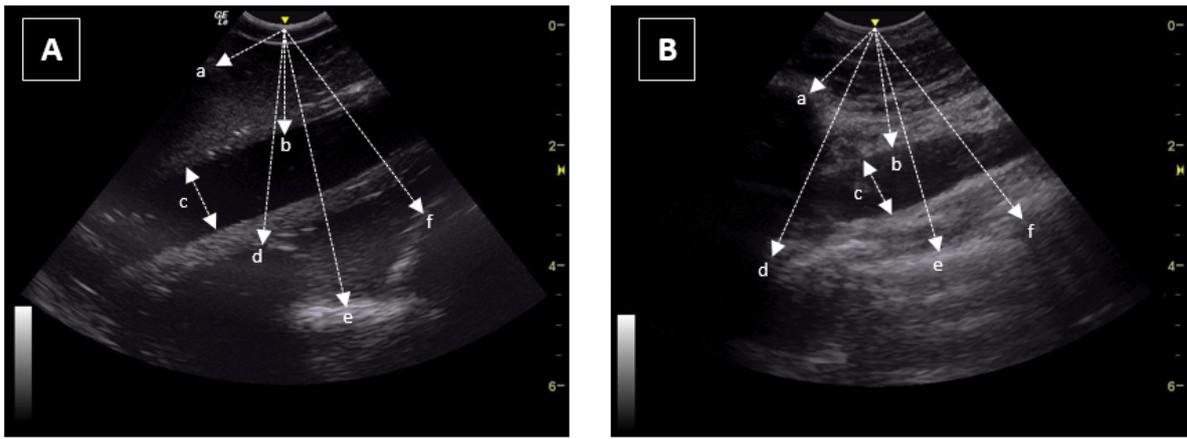


Abbildung 28: Tiefe der anatomischen Strukturen am Punktionsphantom und am Schallmodell. Gemessen wurde die kürzeste Strecke von der Mitte der Mikrokonvexsonde auf Hautniveau bis zur jeweiligen Struktur. **A)** Messung am Phantom. **B)** Messung am Schallmodell. **C)** Balkendiagramm, welches die Tiefe der anatomischen Strukturen im Punktionsphantom mit denen im Schallmodell vergleicht. Tiefendifferenz: Clavicula 0,3 cm, Vena subclavia (VSC) 0,1 cm, 1. Rippe 0,4 cm, Pleura 0,7 cm, 2. Rippe 0 cm. Unterschied des VSC-Durchmessers 0,1 cm.

6.8 Punktionszeiten mit der MCS am Modell

Grundlegende Fertigkeiten konnten zunächst an einem planen Phantom (Blue phantom 4) erlernt werden. In einem zweiten, unserem der menschlichen Anatomie nachempfundenen Phantom konnte die Punktion der VSC geübt werden. Wir erfassten die von den Probanden benötigte Zeit für eine erfolgreiche Gefäßpunktion mit der MCS. Die benötigte Zeit im Erstversuch wurde mit der nach einem fünfminütigen Training unter Supervision verglichen. Gemessen wurde die Zeit ab Hautpunktion bis zur sichtbaren Durchstechung der Gefäßvorderwand.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 29 dargestellt.

Beide Gruppen verbesserten sich signifikant (Wilcoxon-Test). Zwischen erfahrenen und unerfahrenen Probanden gibt es keinen signifikanten Unterschied (Mann-Whitney-U-Test).

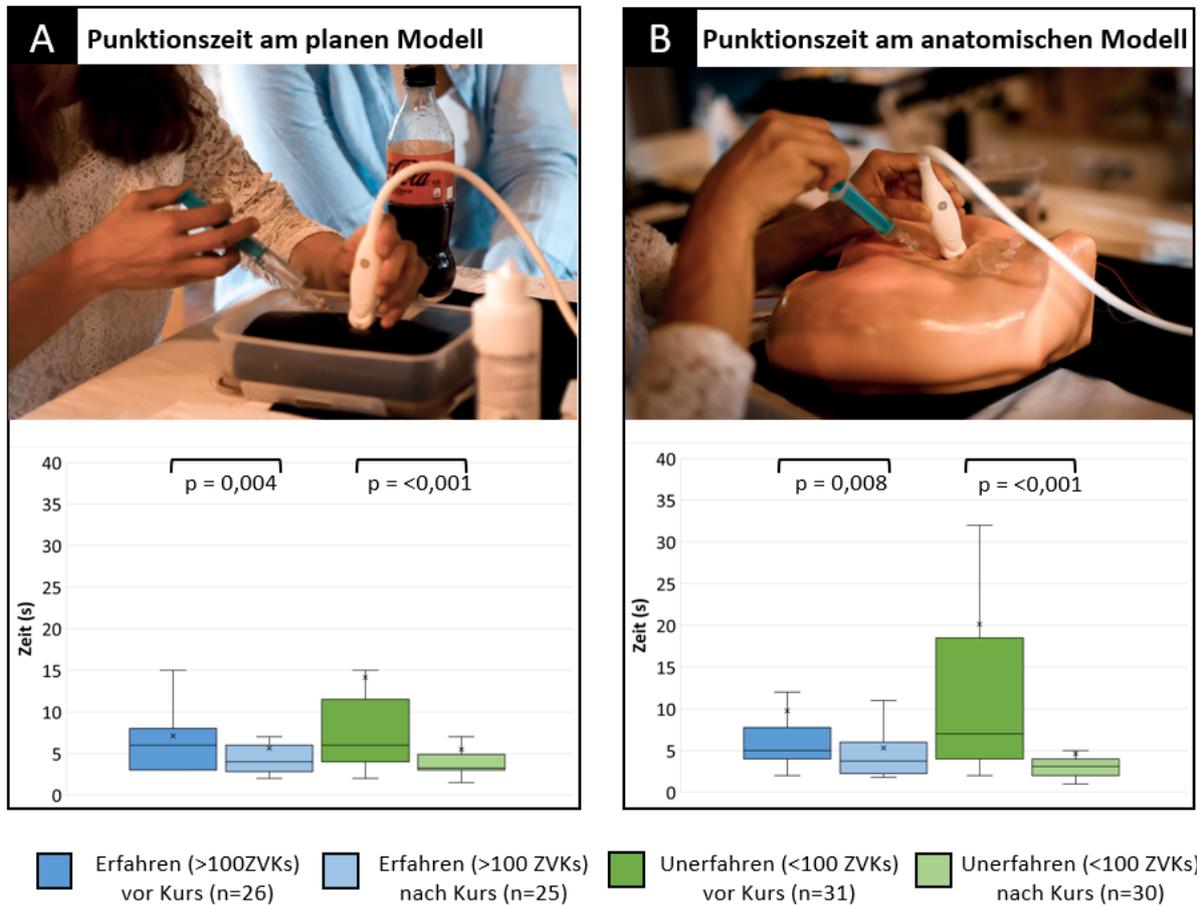


Abbildung 29: Ergebnisse der Punktionszeiten. Benötigte Zeit der Probanden für eine erfolgreiche Gefäßpunktion mit der Mikrokonvexsonde an zwei unterschiedlichen Trainingsmodellen. Die erste Messung erfolgte zu Beginn der Punktionübungen an einem Phantom. Nach fünfminütigem Training erfolgte der Zweitversuch. Gemessen wurde die Zeit ab Hautpunktion bis zur sichtbaren Durchstechung der Gefäßvorderwand **A**) Benötigte Punktionszeit an einem planen Phantom (Blue Phantom 4). Beide Gruppen verbesserten sich im Zweitversuch (Wilcoxon-Test). **B**) Benötigte Punktionszeit an unserem, der infraclaviculären Anatomie nachempfundenen, Phantom. Beide Gruppen verbesserten sich im Zweitversuch (Wilcoxon-Test). Zwischen erfahrenen und unerfahrenen Probanden gibt es keinen signifikanten Unterschied (Mann-Whitney-U-Test).

6.9 ZVK-Annaht

Wir erfassten die Annahtzeiten eines ZVK der Probanden an einem Phantom vor und nach einem 10-minütigen Training unter Supervision. Die Ergebnisse sind in Abbildung 30 dargestellt. Beide Gruppen verbesserten sich signifikant (Wilcoxon-Test). Im letzten Versuch war kein signifikanter Unterschied zwischen beiden nachzuweisen. Der sichere Halt der Annaht wurde mit einem Gewicht von 2,5 kg überprüft und, falls vorhanden, die Dislokationsstrecke des Katheters bestimmt. Beide Gruppen verbesserten sich signifikant (Wilcoxon-Test). Des Weiteren wurde die Anzahl der benötigten Versuche erfasst, welche nötig waren bis die Zielvorgaben (Annaht < 3 Minuten und Dislokationsstrecke < 0,5 cm) erfüllt waren. Die erfahrene Gruppe benötigte signifikant weniger Versuche (Wilcoxon-Test).

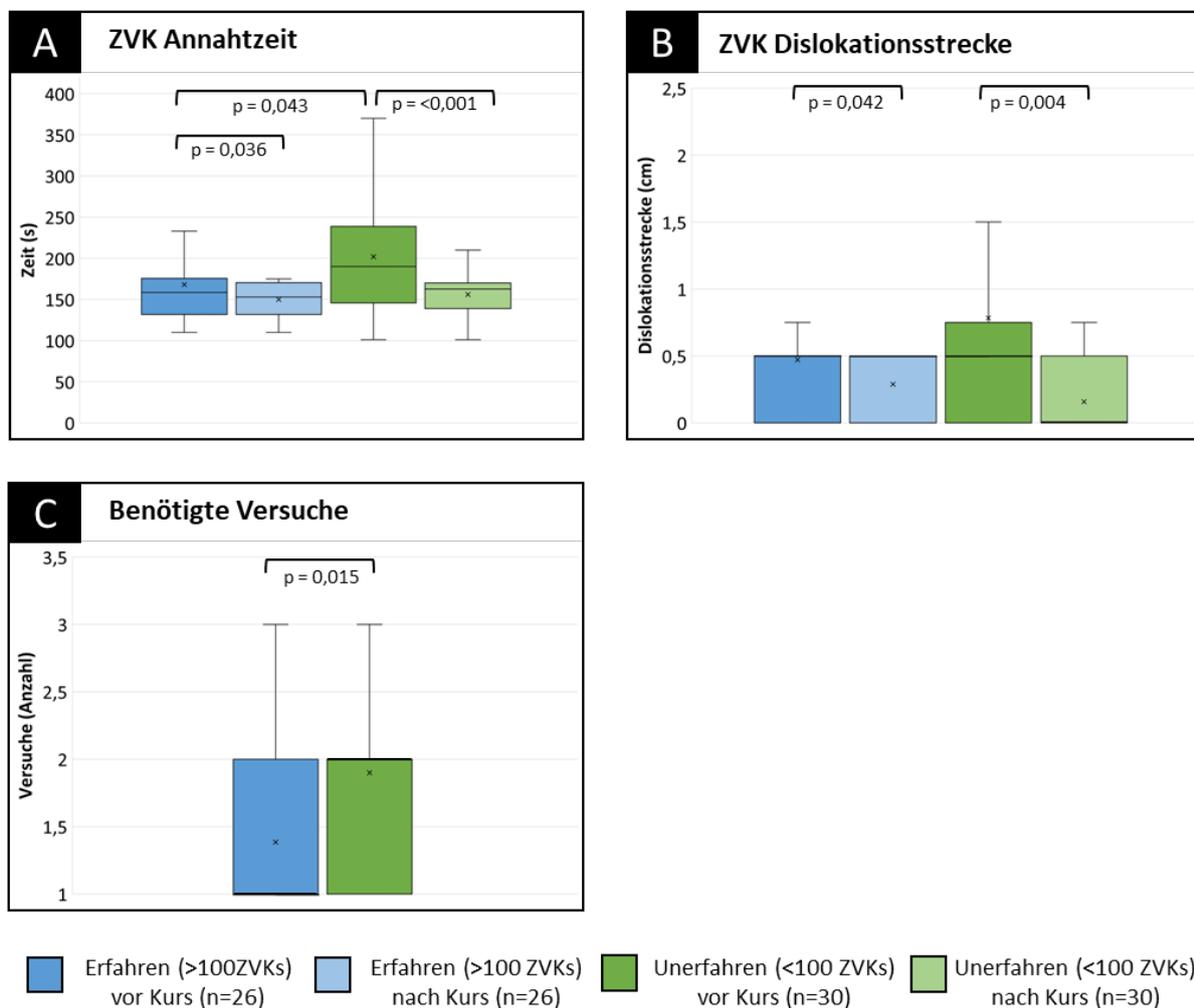


Abbildung 30: Ergebnisse der Annahtstation von zentralvenösen-Kathetern (ZVK). **A)** Die ZVK-Annaht wurde unter Supervision an einem Phantom geübt. Darstellung der benötigten Zeit im ersten und im letzten Versuch. Beide Gruppen verbesserten sich signifikant (Wilcoxon-Test). **B)** Der Halt der Annaht wurde mit einem Gewicht überprüft, welches am Katheter befestigt wurde. Das Diagramm zeigt die Dislokationsstrecke im ersten und im letzten Versuch. Beide Gruppen verbesserten sich signifikant (Wilcoxon-Test). **C)** Diagramm über die Anzahl der benötigten Versuche, bis die Probanden geforderte Zielwerte erfüllen konnten (Zeit < 3 min und Dislokationsstrecke < 0,5 cm). Die erfahrene Gruppe benötigte signifikant weniger Versuche. (Wilcoxon-Test).

6.10 ZVK-Komplikationen

Den Probanden wurden Röntgen-Thorax-Aufnahmen gezeigt, auf welchen typische ZVK-Komplikationen erkannt werden sollten. Zu den jeweiligen Bildern wurden 7 Aussagen vorgegeben, von denen die Richtigaussagen ausgewählt werden mussten (Mehrfachantworten möglich). Die Ergebnisse sind in Abbildung 31 dargestellt.

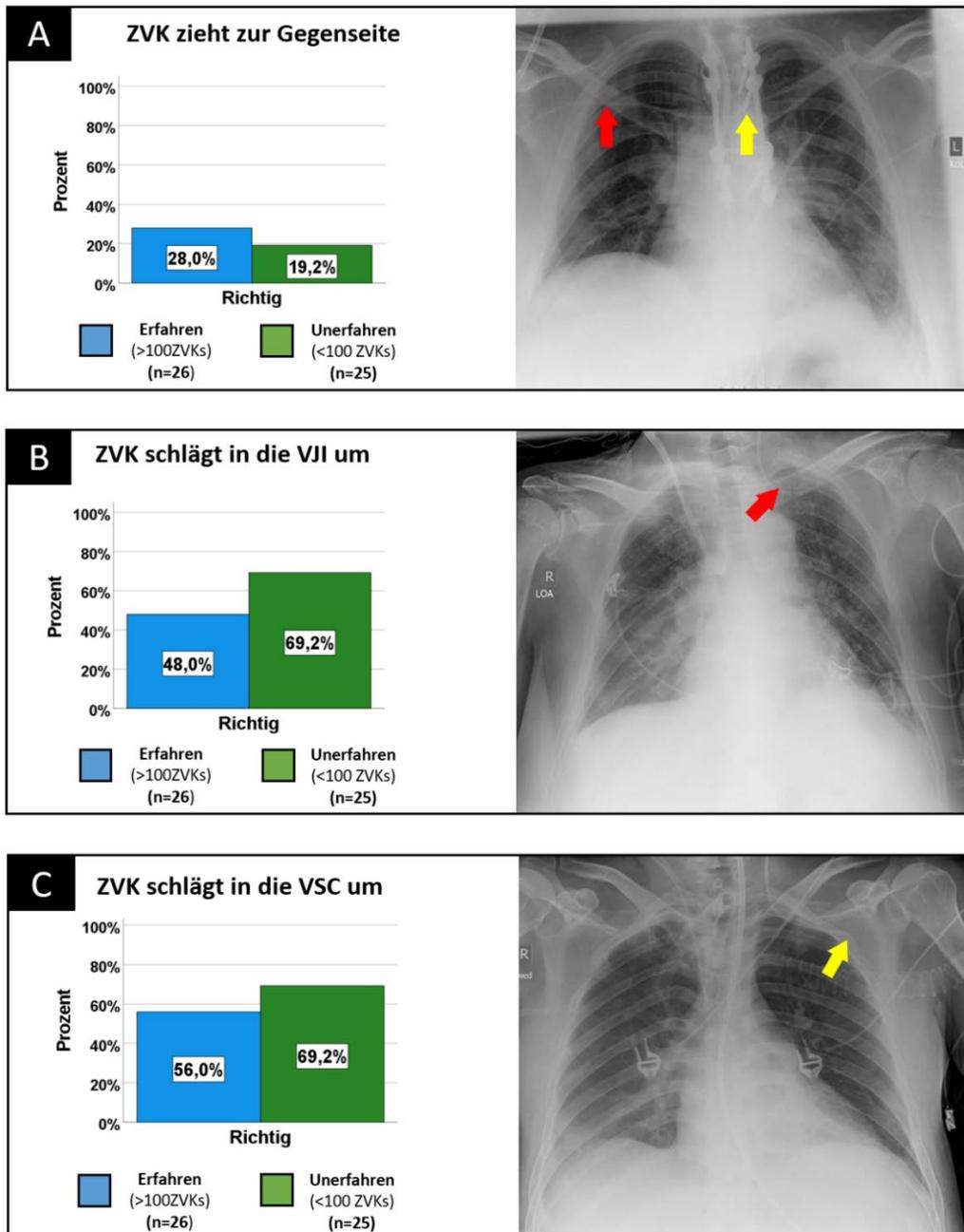
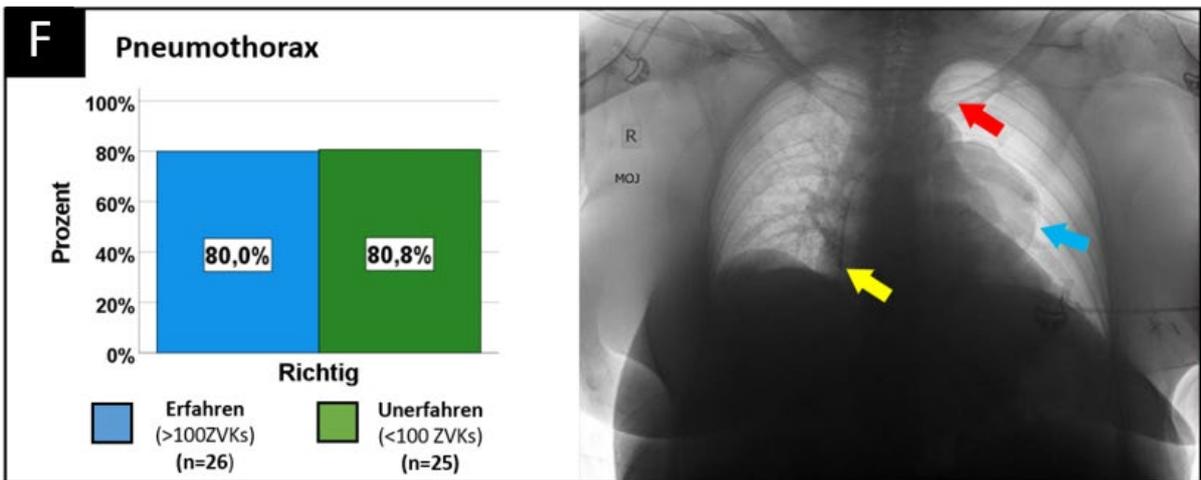
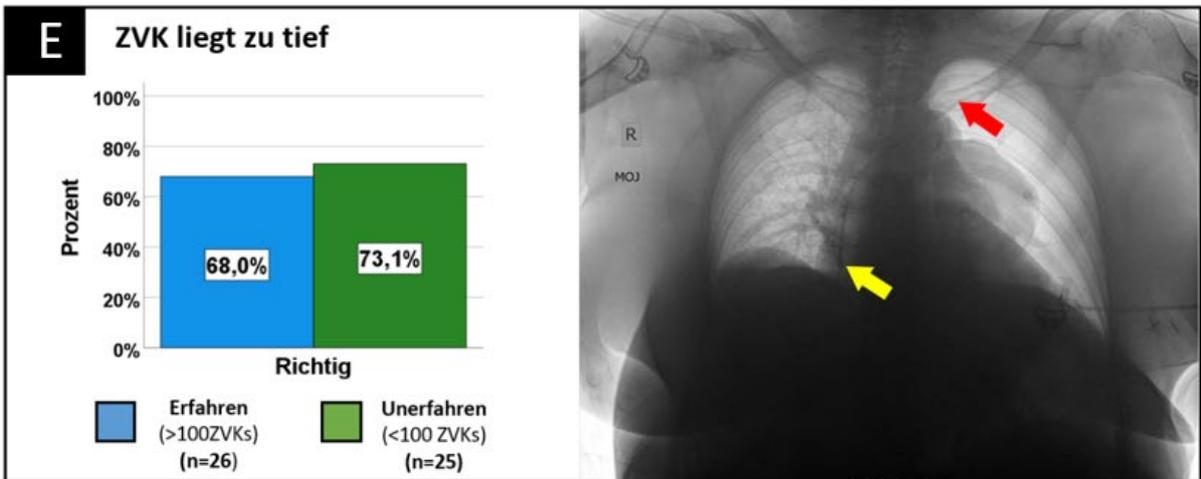
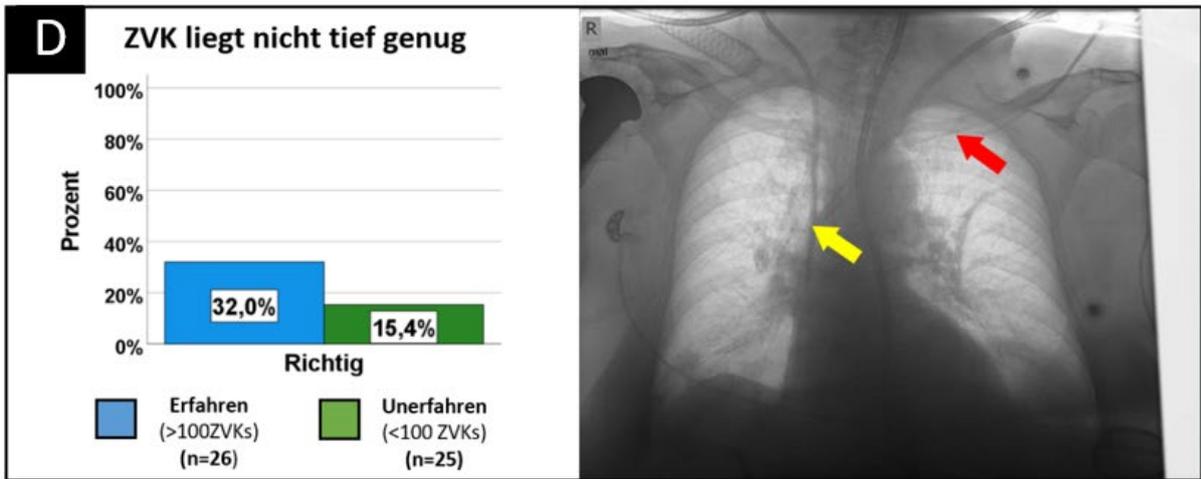


Abbildung 31: Ergebnisse über das Erkennen typischer Komplikationen bei der Anlage eines zentralvenösen Katheters (ZVK). Den Probanden wurden Röntgen-Thorax-Aufnahmen gezeigt, auf welchen typische ZVK-Komplikationen erkannt werden sollten. Zur Veranschaulichung sind in den Grafiken Pfeilmarkierungen zu sehen, die für die Probanden nicht ersichtlich waren. Rote Pfeile markieren den Verlauf, gelbe das Ende des Katheters. Zwischen beiden Gruppen gab es keinen signifikanten Unterschied (T-Test) **A)** Ein von rechts eingebrachter Subclavia-ZVK zieht über die Vena brachiocephalica zur Gegenseite. **B)** Ein von links eingebrachter Subclavia-ZVK schlägt in die VJI um. **C)** Ein von links eingebrachter Jugularis-ZVK schlägt in die VSC um.



Fortführung Abbildung 31: **D)** Die Katheterspitze liegt oberhalb der Carina und somit nicht tief genug. **E)** Die Katheterspitze liegt deutlich unterhalb der Carina und somit zu tief. **F)** Zusätzlich sollte auf dem vorherigen Bild ein Pneumothorax erkannt werden (blauer Pfeil).

6.11 Evaluation

Nach Abschluss des Kurses hatten die Probanden die Möglichkeit diesen zu evaluieren.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 32 dargestellt.

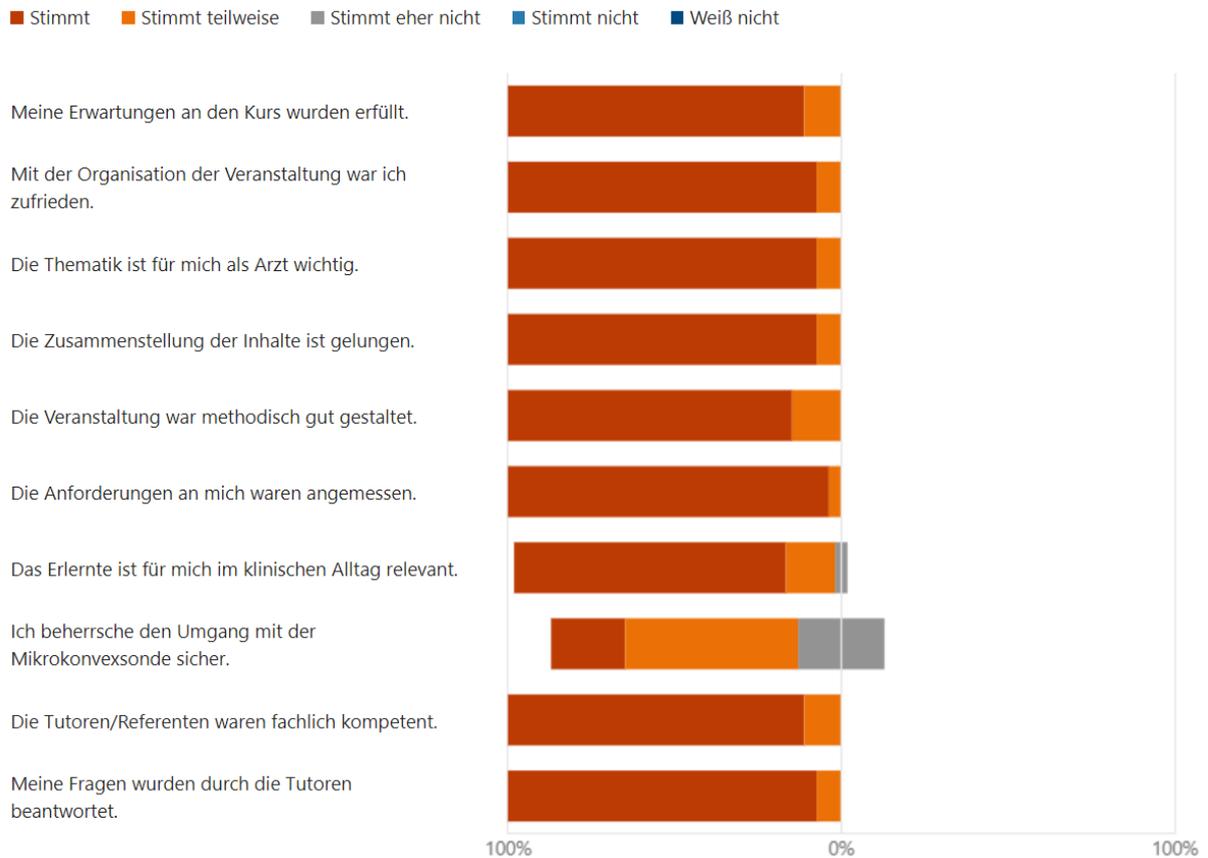


Abbildung 32: Ergebnisse der Kursevaluierung. Von 57 Probanden evaluierten 27 den Kurs.

7 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde ein reproduzierbares Curriculum für die Ausbildung von Ärzten in der MISP-Technik entwickelt. Im Rahmen mehrerer Kursveranstaltungen am UKS in Homburg wurden die theoretischen und praktischen Leistungen von insgesamt 57 Teilnehmern, größtenteils Anästhesisten, erhoben und ausgewertet. Hiervon wurden 26 einer erfahrenen und 31 einer unerfahrenen Gruppe zugeordnet. Diese prospektive Beobachtungsstudie ist die erste Studie, welche die Fähigkeiten von erfahrenen und unerfahrenen ZVK-Anwendern in der Durchführung der MISP-Technik vor und nach Absolvierung eines simulationsbasierten Ausbildungskurses vergleicht.

Es konnte gezeigt werden, dass die Fähigkeiten der Kursteilnehmer im Umgang mit der MISP-Technik signifikant verbessert wurden. Auffallend war, dass nach Kursabsolvierung kein signifikanter Unterschied zwischen erfahrenen und unerfahrenen Teilnehmern mehr bestand.

Ziel dieser Studie war zu zeigen, dass durch Absolvierung des MISP-Kurses die theoretischen und praktischen Fähigkeiten der Teilnehmer signifikant verbessert werden können. Hierfür wurden die Leistungen der Teilnehmer in einem An-sowie Abtestat mittels Punktescores sowie benötigte Schall- und Punktionszeiten evaluiert.

Zudem wurden die Leistungen von erfahrenen im Vergleich zu unerfahrenen Teilnehmern untersucht, um einerseits eine Aussage über den Schwierigkeitsgrad der MISP-Technik und andererseits eine Eignung des Kurses auch für Unerfahrene ZVK-Anwender zu erhalten.

Des Weiteren wurde im Rahmen der Erstellung des Kurscurriculums ein neuartiges nichtkommerzielles Ultraschallphantom für Punktionsübungen entwickelt, welches eine hohe Simulationstreue aufweist, mehrfach verwendbar und reproduzierbar ist sowie wirtschaftlich tragbar erscheint. Die Ausbildung von Ärzten in der MISP-Technik kann damit auch für weitere Kliniken zugänglicher gemacht werden.

7.1 Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung

7.1.1 MISP-Technik

Subclavia-ZVK bieten gegenüber anderen Zugangswegen viele Vorteile, wie z.B. das Offenbleiben der Vene bei hypovolämischen Verhältnissen [2] und eine geringere Assoziation zu CRBSI [12]. Allerdings sollte die Punktion der VSC bei Patienten mit eingeschränkter Blutgerinnung vermieden werden, da es schwierig sein kann, nach einer versehentlichen arteriellen Fehlpunktion Druck auf die ASC auszuüben [22].

Die ultraschallgesteuerte Punktion der VSC gilt gegenüber der landmarkenorientierten Technik als komplikationsärmer. Eine Metaanalyse schloss randomisierte kontrollierte Studien bis Juni 2022 aus den vorherigen 5 Jahren ein, in denen die ultraschallgesteuerte mit der LMO-Technik zur Punktion der VSC verglichen wurde. Die primären Endpunkte waren die Gesamterfolgsrate und die Komplikationsrate. Die ultraschallgesteuerte Technik erhöhte die Gesamterfolgsrate für die Kanülierung der VSC im Vergleich zur LMO-Technik (RR = 1,14; [95% CI 1,06-1,23]; $p = 0,0007$; I² = 55%; geringe Sicherheit) und die Komplikationsraten (RR = 0,32; [95% CI 0,22-0,47]; $p < 0,00001$; I² = 0%; geringe Sicherheit). Darüber hinaus erhöhte die Ultraschallführung die Erfolgsrate beim ersten Versuch (RR = 1,32; [95% CI 1,14-1,54]; $p = 0,0003$; I² = 0%; geringe Sicherheit), reduzierte die Gesamtzahl der Versuche (MD = -0,45 [95% CI -0,57 bis -0,34]; $p < 0,00001$; I² = 0%; geringe Sicherheit) und die Zugriffszeit (MD = -10,14 s; [95% CI -17,34 bis -2,94]; $p = 0,006$; I² = 77%; geringe Sicherheit) [21]. Eine Metaanalyse zeigte bei Subclavia-ZVK-Anlagen eine Fehlerhäufigkeit von 3 % (9/310), welche ultraschallgesteuert gelegt worden waren im Vergleich zu 18 % (58/328) für LMO-Techniken (Risiko-Ratio, 0,24; 95 % CI, 0,06-0,92) [9]. Zudem konnte in einer großen randomisierten Studie mit 194 Patienten gezeigt werden, dass eine ultraschallgesteuerte Punktion der VSC auch bei kritisch kranken Patienten auf Intensivstationen eine höhere Rate an erfolgreichen Punktionen bietet (91,7 % vs. 77,6 %; $p=0,007$), geringere Komplikationsrate (7,3 % vs. 20,4 %; $p=0,008$) und eine geringere Inzidenz einer arteriellen Fehlpunktion (2,1 % vs. 14,3 %; $p=0,002$) aufweist [19]. Auch Zeitaufwand sowie Anzahl der benötigten Punktionsversuche und die Rate der mechanischen Komplikationen werden durch den Einsatz von Ultraschall verringert. Dies ging unter anderem aus einer prospektiven randomisierten kontrollierten Studie mit 400 Patienten hervor [16]. Die Datenlage zeigt also eine klare Evidenz dafür, dass die ultraschallgesteuerte Punktion der VSC einer LMO-Punktion überlegen erscheint.

Der sichere Einsatz einer MCS zur Punktion der VSC konnte bereits gezeigt werden. Bei 23 von 24 Patienten konnte der Subclavia-ZVK ohne Komplikationen (Hämatom, Pneumothorax,

Infektion) platziert werden. Lediglich bei einem Patienten konnte die VSC nicht sicher identifiziert werden, sodass eine alternative Stelle gewählt wurde [6].

Der Nutzen einer MCS zur ZVK-Anlage kann einem LSK in vielen Fällen überlegen sein. So konnte gezeigt werden, dass zur Lagebestimmung von Draht und Katheter durch ein supraclaviculäres Schallfenster die MCS für die Darstellbarkeit der V. cava superior (VCS) dem LSK klar überlegen ist. Die Sichtbarkeit war mit der MCS in allen Fällen, mit dem LSK nur in 38 % der Fälle möglich [20]. Als wahrscheinliche Gründe hierfür werden eine kleinere Anlotungsfläche, die größere Angulationsfreiheit und die höhere Eindringtiefe der MCS genannt.

Mit der MCS ist es zudem möglich, insbesondere bei kachektischen Patienten und ausgeprägter Konkavität der Mohrenheimschen Grube, die VSC unterhalb der Clavicula darzustellen und somit eine proximale und sehr oberflächliche Punktion zu ermöglichen. Wie in Abbildung 27 zu erkennen ist, kann die VSC an dieser Stelle sonographisch so visualisiert werden, dass diese von Clavicula und Rippe umgeben ist. Umliegende Strukturen wie z.B. Pleura und ASC können so vor einer Fehlpunktion geschützt werden. Zudem fällt bei einer oberflächlichen Punktion der Punktionswinkel der Nadel wesentlich flacher aus als bei einer tiefen Punktion. Das Pneumothoraxrisiko könnte durch eine möglichst flache Punktion weiter gesenkt werden.

Die von uns entwickelte MISP-Technik führt die Vorteile der MCS und einer in-plane-Punktion der VSC für ZVK-Anlagen zusammen. Die Punktion soll hierbei in der in-plane-Technik erfolgen, da diese mit weniger Hinterwandsverletzungen und sonstigen Komplikationen assoziiert ist [18]. Auch hierfür eignet sich die MCS unserer Meinung besser als ein LSK, da hier ein kürzerer gerader Gefäßteil ausreicht, um ein sauberes Bild der VSC im Längsschnitt zu erzeugen. VSC und ASC verlaufen in dieser Region oft gebogen oder ineinander verschlungen, was das Einstellen der Gefäße in der Längsachse mit einem längeren Schallkopf deutlich erschwert.

In der Literatur wird jedoch teilweise empfohlen, eine eher laterale Punktion der VSC vorzunehmen, da bei einer sehr proximalen Punktion die Platzierung des Führungsdrahtes durch den verkürzten Weg des Drahtes in die VCS, insbesondere wenn von rechts punktiert wird, erschwert sein könnte [11]. Galloway et al. empfehlen eine möglichst laterale Punktion, da hier VSC und ASC am weitesten voneinander entfernt liegen und es weniger Überlappungsphänomene geben soll. Zudem gebe es eine größere Distanz zur Pleura. Arterielle Fehlpunktionen und folgende Komplikationen wie Hämatothorax und arteriovenöse Fisteln seien so unwahrscheinlicher [4].

Aus meiner Sicht überwiegen die Vorteile einer proximalen gegenüber einer lateralen Punktion der VSC. Auch das bisweilen hohe Pneumothoraxrisiko bei Subclavia-ZVK könnte durch

verbesserte Bedingungen mittels MCS und MISP-Technik weiter gesenkt werden. Eine mögliche Evidenz hierfür müssten allerdings erst noch zukünftige Studien belegen.

In einer randomisierten prospektiven Studie mit 110 schwerkranken intensivpflichtigen Patienten konnte gezeigt werden, dass der ultraschallgesteuerte supraclaviculäre Zugang zur VSC eine praktikable Alternative mit signifikant kürzerer Gesamtverfahrenszeit, ähnlicher Erfolgsrate und geringeren Komplikationsraten im Vergleich zum infraclaviculären Zugang bietet [13]. Eine Studie über den Vergleich der infra- bzw. supraclaviculären Punktion der VSC mittels MCS fehlt bis dato und wäre anzustreben.

7.1.2 MISP-Kursstruktur: Ein simulationsbasiertes Ausbildungskonzept

Das primäre Ziel lag in der Entwicklung eines strukturierten simulationsbasierten Curriculums, welches auch Anfängern als Vorbereitung auf reale Patientenbegegnungen ermöglichen soll, die theoretischen und praktischen Fertigkeiten zur Etablierung eines Subclavia-ZVK in der MISP-Technik zu erlernen. Bei der Entwicklung dieses Curriculums wurden die Bedingungen für einen optimalen Lernerfolg sorgfältig berücksichtigt.

In der Literatur konnte bereits mehrfach der Vorteil simulationsbasierter Kurse zur Erlernung von Fähigkeiten, welche die Kompetenz von Ärzten im Umgang mit ZVK-Anlagen, gegenüber traditionellem bettseitigen Ausbildungsmodellen gezeigt werden [1,3,8].

Eine Metaanalyse von 20 veröffentlichten Studien ergab eine signifikante Reduktion der Pneumothoraxrate durch simulationsbasiertes Training [8].

Das entwickelte Curriculum besteht aus einer vorbereitenden didaktischen Vorlesung, welche das theoretische Wissen über die MISP-Technik vermittelt, gefolgt von praktischen Schallübungen an Schallmodellen sowie Gefäßpunktionen an Punktionsphantomen. Damit ähnelt das Konzept einem bereits entwickeltem Curriculum zu Erlernung der ultraschallgesteuerten Punktion der VSC, welches bereits nachweislich die Fähigkeiten der Teilnehmer verbessern konnte [17]-

Die Aufteilung des Kurses in verschiedene Stationen ermöglicht, diesen für eine größere Anzahl an Teilnehmern in Kleingruppen parallel zu durchlaufen. Dadurch wird eine intensive und vertraute Lernatmosphäre geschaffen. Der Lernfortschritt wird somit weniger vom Schamgefühl und Versagensängsten der Teilnehmer behindert.

Mehrere Kleingruppen von Medizinstudenten im praktischen Jahr, Assistenzärzten, Fachärzten und Oberärzten aus den Bereichen der Anästhesie und Intensivmedizin absolvierten den Kurs und bewiesen eine praktikable Tauglichkeit dieser Kursstruktur.

Ein Teil der Datenerhebung fand vor und nach den Kursen online statt. Somit verblieb den Teilnehmern mehr Zeit für praktische Übungen im Rahmen des Präsenzkurses.

Die Datenerhebung über die Erfahrungswerte der Teilnehmer im Umgang mit ZVK erfolgte durch einen anonymisierten Fragebogen. Dadurch konnte gegenüber einem persönlichen Interview eine Beeinflussung durch den Fragenden ausgeschlossen werden. In Fällen, bei denen die Angabe der Probanden nicht plausibel erschien, wurde die angegebene Anzahl der gelegten ZVK anhand von Narkoseprotokollen überprüft. Bezogen auf die Erfahrung mit ZVK erschien diese, anstatt der Zeit im Beruf, als aussagekräftigster Surrogat-Parameter. Eine längere Zeit im Beruf muss nicht unbedingt eine große Erfahrung mit ultraschallgesteuerten Punktionen bedeuten, da es Bereiche gibt, in denen deutlich weniger ZVK gelegt werden als in anderen.

7.1.3 Vermittlung von anatomischen, theoretischen und praktischen Kenntnissen rund um die MISP-Technik.

Anatomische Kenntnisse

Für eine sichere und erfolgreiche ZVK-Anlage spielen spezifische anatomische Kenntnisse eine entscheidende Rolle. Ein Mangel dieser Kenntnisse kann dazu führen, dass sich die Eingriffszeit einer ZVK-Anlage verlängert, was unweigerlich zu einer erhöhten Morbidität und Mortalität führen wird [2]. In einem interaktiven multimedialen Anatomieunterricht sollten diese Kenntnisse vermittelt werden. Um den Probanden eine möglichst plastische und dreidimensionale und vor allem nachhaltige Vorstellung der anatomisch korrekten Gefäßverläufe von ASC und VSC zu vermitteln, eignete sich hervorragend ein Modellskelett, an dem die Gefäße nachgebildet werden sollten. Die hierfür nötigen Utensilien sollten in den meisten Kliniken problemlos zur Verfügung stehen. Die Anatomie kann so spielerisch nachvollzogen werden. Eine Vorstellung über den anatomischen Verlauf der Gefäße trägt entscheidend zu einer korrekten intuitiven Schallkopfplatzierung bei und beschleunigt das Prozedere. Die nachgebildeten Gefäßverläufe der Probanden wurden anschließend mit einem Punktescore bewertet. Um die anatomischen Gegebenheiten nachhaltig zu vermitteln, sollten die Probanden anschließend ihre Kenntnisse mittels 3D-Anatomie-App (Visible Body Suite (Version 4.31), Old Connecticut, USA) auffrischen und vertiefen. Da die Datenerhebung am Modellskelett sehr zeitintensiv war, sollte nach Beendigung des Kurses zum Vergleich VSC und ASC in ein standardisiertes Anatomiebild eingezeichnet werden. Aus den Ergebnissen geht deutlich hervor, dass alle Probanden ihre anatomischen Kenntnisse signifikant verbessern konnten. Auf diese Art und Weise könnten auch weitere Gefäßverläufe für zentralvenöse Zugänge effektiv und kostengünstig vermittelt

werden. Aufbauend auf den nun vorhandenen theoretischen anatomischen Kenntnissen der Probanden sollten durch eine weitere Übung diese auf die Gefäßverläufe von ASC und VSC am echten Menschen angewendet werden. Mit einem weiteren Punktescore wurde in einem Blindversuch die Fähigkeit einer intuitiven Schallkopfplatzierung erfasst. Die Probanden wurden jeweils zu Beginn der Schallübungen an zwei Schallmodels gebeten intuitiv blind mit der MCS ein bestmögliches Bild der VSC sowie der ASC in der kurzen Achse einzustellen. Anschließend konnte nach der Datenerfassung unter Sicht und Supervision eine ggf. nötige Korrekturereinstellungen vorgenommen werden, um das Bild zu optimieren. Durch diese einfach durchzuführende Übung konnte die intuitive Schallkopfplatzierung der Probanden signifikant verbessert werden, was Schallzeiten und somit die Gesamtdauer des Eingriffs verringern könnte.

Zur sicheren Gefäßpunktion spielt auch die Vorstellung über die jeweilige Tiefe der Zielstruktur eine wichtige Rolle. Das Einschätzen der Gefäßtiefe ist entscheidend für die Wahl des Punktionswinkels. Wird die VSC zu tief geschätzt, fällt der Punktionswinkel wahrscheinlich zu steil aus, was das Pneumothoraxrisiko erhöhen könnte. Um auch Kenntnisse über die Tiefe der VSC zu erhalten, sollten die Probanden in einer weiteren Übung ein Bild der VSC in der kurzen Achse an beiden Schallmodels generieren. Das Bild wurde ohne Tiefenskala abgespeichert. Anschließend sollte von den Probanden die Tiefe bis zur Venenvorderwand geschätzt werden. Nach Messung der Distanz am Ultraschallgerät konnte eine Differenz zwischen geschätzter und gemessener Tiefe berechnet werden. Durch diese Vorgehensweise war ein Vergleich zwischen Schätz- und Messwert möglich. Die Tiefe der VSC fällt, je nach Anpressdruck des Schallkopfes durch den Untersucher, unterschiedlich aus. Durch diese Vorgehensweise konnten die Probanden aus der unerfahrenen Gruppe ihre anatomische Vorstellung über die Tiefe der VSC signifikant verbessern, was das Pneumothoraxrisiko durch einen zu steilen Punktionswinkel reduzieren könnte.

Theoretische Kenntnisse

Die Probanden erhielten eine didaktische Schulung über die MISP-Technik durch ein zehminütiges Videotutorial. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass alle einen identischen Theorieunterricht erhielten. Ein solches Videotutorial kann bereits im Vorfeld von den Kursteilnehmern vor den Präsenzübungen angesehen werden. Dieses kann dann unabhängig und in eigenem Tempo angesehen werden. Dadurch steht mehr Zeit für das praktische Lernen während der Simulationskomponente des Kurses zur Verfügung. Zudem ist diese Vorgehensweise personalsparend. Mit einem Multiple-Choice-Test wurde der theoretische Kenntnisstand der Probanden über Subclavia-ZVK vor und nach Beendigung des Kurses erhoben. Die Probanden

verbesserten sich signifikant in der Beantwortung der Fragen. Es konnte gezeigt werden, dass dieses Ausbildungskonzept notwendiges theoretisches Wissen über die MISP-Technik nachhaltig vermittelt.

Praktische Fertigkeiten

Die benötigten Zeiten der Probanden für die Einstellung der sonographischen Schnittebenen in der MISP-Technik und für die Punktion sind sicherlich die aussagekräftigsten Parameter zur Untersuchung des Lernfortschritts über die praktischen Fertigkeiten sowie des Schwierigkeitsgrades der Methode.

Die praktischen Übungen erfolgten nacheinander an zwei Schallmodellen von ähnlicher Statur. Der jeweils erste Versuch diente der Datenerfassung. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Gefäßverhältnisse den Probanden nicht bekannt waren. Die unerfahrene Gruppe konnte sich bei der Einstellung aller Schnittebenen signifikant verbessern. Der Vergleich zwischen den Ergebnissen erfahrener und unerfahrener Probanden ergab keinen signifikanten Unterschied. Die grundlegenden Fertigkeiten einer in-plane-Punktion mittels MCS konnten zunächst an einem kommerziellen und relativ günstigen planen Phantom (Blue phantom 4) erlernt werden. In einem zweiten, der menschlichen Anatomie nachempfundenen selbstentwickelten Phantom, konnte anschließend die Punktion der VSC mittels MISP-Technik realitätsnah simuliert werden. Bei der Auswertung der Punktionszeiten an den Ultraschallphantomen ging hervor, dass es zwischen den Gruppen keinen signifikanten Unterschied bei der benötigten Zeit für eine in-plane-Punktion mittels MCS gab. Daraus könnte geschlossen werden, dass die MISP-Technik für unerfahrene ZVK-Anwender als geeignet und schnell erlernbar gilt. An einem weiteren Trainingsphantom sollte eine sichere ZVK-Annäherung geübt werden. Interessanterweise gab es zwischen der erfahrenen und unerfahrenen Gruppe keinen signifikanten Unterschied bei der Dislokationsstrecke des Katheters nach Anbringung eines Gewichtes. Dies könnte darauf hinweisen, dass ZVK auch von erfahrenen Anwendern häufig nur ungenügend durch eine Annäherung befestigt werden. Diese Übung konnte Defizite in der Technik einer ZVK-Annäherung aufzeigen und das Bewusstsein der Probanden hierfür schärfen. In der letzten Übungsstation wurden den Probanden Röntgen-Thorax-Aufnahmen gezeigt, auf denen typische ZVK-Komplikationen erkannt werden sollten. Hierdurch sollte bei den Probanden im Allgemeinen das Bewusstsein gegenüber möglichen Komplikationen gefördert werden. Die Ergebnisse sind insofern spannend, da beide Gruppen ähnlich schlecht, ohne signifikanten Unterschied, abschnitten. Z.B. erkannten nur 48 % der erfahrenen und 69,2 % der unerfahrenen einen Subclavia-ZVK der in die VJI umgeschlagen war. Dies deckt möglicherweise starke Defizite bei der Interpretation von Röntgen-Thorax-Aufnahmen von Anästhesisten auf.

7.1.4 Entwicklung eines anatomischen Punktionsphantoms

Zur Erlernung einer ultraschallgesteuerten Punktionstechnik für ZVK wurde bereits erfolgreich ein Ausbildungskonzept mit Übungen an Leichen angewendet [7]. Allerdings ist der Zugang zum offenen Venensystem von mit Formalin präparierten Leichen oft nicht möglich. Zudem besteht eine sehr beschränkte Verfügbarkeit dieser Möglichkeit insbesondere für Ärzte, welche nicht an großen universitären Kliniken arbeiten. Kommerzielle Trainingsphantome sind teuer (1000 bis 8000 USD, [17]) und kaum verfügbar. Der Nutzen eines nicht kommerziellen selbstentwickelten Punktionsphantoms erscheint als sinnvollste Möglichkeit die MISP-Punktionstechnik zu erlernen.

Das selbstentwickelte anatomische Phantom beinhaltet alle wichtigen Elemente (Clavicula, VSC, ASC, Rippen, Pleura), welche für eine Punktion der VSC von Bedeutung sind.

Die Clavicula ist unter der Kunsthaut als Orientierung tastbar. Die Fossa infraclavicularis (Mohrenheimsche Grube) ist im Oberflächenrelief des Modells deutlich zu erkennen.

Die verschiedenen sonographischen Echogenitäten der Strukturen des Phantoms sind vergleichbar mit denen am Menschen. Bei dessen Entwicklung wurde penibel genau auf anatomisch korrekte Lageverhältnisse dieser Strukturen geachtet. Im Vergleich mit den Lageverhältnissen aus der Literatur und im direkten Vergleich mit einem Schallmodell gab es kaum Unterschiede. Beispielsweise betrug der VSC-Durchmesser im Phantom 1,2 cm, beim Schallmodell 1,1 cm und in der Literatur 1,3 cm [4]. Die VSC verlief im Phantom ventrokaudal zur ASC und wurde von der Clavicula im mittleren Drittel überlappt [2]. Durch die selbstverdickende Eigenschaft des verwendeten Silikons war das Auftragen mit einem Pinsel auf die teils vertikalen Oberflächen ohne Tropfen möglich. Dieses Silikon zeichnet sich durch gute Dehnbarkeit und Robustheit aus und war somit gut geeignet, um den Ansprüchen einer künstlichen Haut eines Punktionsmodells gerecht zu werden. Mehrfachpunktionen mit einer atraumatischen Pencilpointnadel zerstörten weder die Oberfläche noch hinterließen sie sichtbare persistierende Punktionskanäle im Ultraschallbild. Die aus diesem Silikon hergestellten Gefäßimitate wiesen für ein Punktionsphantom ideale Eigenschaften auf. Die Wände warfen keinen Schallschatten, waren flexibel und dennoch robust. Auch nach vielen Punktionen traten keine Wanddefekte auf. Beim Durchstechen der Vorderwand der VSC mit der Kanüle ist zudem ein realistischer Widerstandsverlust spürbar.

Ein so hergestelltes Phantom konnte, da es nach dem Gebrauch im Kühlschrank aufbewahrt wurde, ca. 2 Wochen lang verwendet werden. Um dieses zu erneuern, musste nur der Silikonboden eröffnet, die alte mit neuer Gelatine ausgetauscht und erneut mit Silikon verschlossen werden.

Eine Lagerung im Gefrierschrank könnte die Lebensdauer wahrscheinlich deutlich verlängern. Die Materialkosten für dieses anatomische Punktionsphantom betragen ca. 200 €.

Das so entwickelte anatomische Trainingsphantom ist deutlich billiger als handelsübliche Phantome und leistungsfähiger als einfache Phantome aus Gelatine. Es stellt ein hervorragendes Übungsinstrument zur ultraschallgesteuerten Punktion der VSC dar.

7.2 Methodische Limitationen

Diese Studie hat eine kleine Stichprobengröße und umfasste hauptsächlich Ärzte aus dem Fachgebiet Anästhesie. Es ist daher nicht klar, ob diese Ergebnisse auf eine größere Gruppe von Assistenzärzten oder Assistenzärzten anderer Fachrichtungen verallgemeinert werden können. Zudem wurde die Studie in einer simulierten Umgebung durchgeführt, was nicht bedeutet, dass die Leistungen der Probanden auf die reale klinische Umgebung übertragen werden können. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Absolventen des MISP-Ausbildungskurses im klinischen Umfeld zumindest anfangs eine sorgfältige Unterstützung von Tutoren, die mit der Technik vertraut sind, benötigen.

Die Unterteilung in erfahrene bzw. unerfahrene Probanden, abhängig davon ob mehr oder weniger als 100 ZVKs bereits gelegt wurden, hatte hauptsächlich praktische Gründe, um zwei ähnlich große Gruppen (31 vs. 26) zu erhalten.

Durch die teils online erhobenen Daten konnte nicht sichergestellt werden, dass der Proband mit entsprechend zugeordneter Teilnehmernummer die geforderten Angaben auch tatsächlich selbstständig machte. Dies ist als nachteilig anzusehen.

Die Tutoren der jeweiligen Stationen notierten die Ergebnisse der Probanden während des Kurses auf deren Laufzetteln in Form eines Datenerhebungsbogens. Es fand somit keine Zweitkontrolle der primären Datenerhebung statt. Die Tutoren der Stationen wurden teilweise ausgetauscht, was ein unterschiedliches Messverhalten zur Folge haben könnte.

Da die entwickelte Methodik einen neuen Ansatz in diesem Bereich darstellt, gibt es derzeit keine etablierten Standards oder Referenzmethoden zur Validierung.

7.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Das entwickelte Curriculum zur Erlernung der MISP-Technik verbesserte die Kompetenzen der Teilnehmer signifikant. Obwohl zu Kursbeginn die erfahrenen Teilnehmer meist bessere Ergebnisse in Theorie und Praxis zeigten, gab es nach Kursabsolvierung meist keinen signifikanten Unterschied zur Gruppe der weniger erfahrenen Teilnehmer. Dies deutet darauf hin, dass

die Erlernung der MISP-Technik mit diesem Ausbildungskonzept effektiv und auch für unerfahrene ZVK-Anwender geeignet ist.

Mit dem selbstentwickelten anatomischen Punktionsphantom kann kostengünstig eine sichere und realitätsnahe Punktion der VSC geübt werden. Ein solches Phantom wäre für Kliniken leicht zugänglich und wirtschaftlich vertretbar.

Die Etablierung dieses Ausbildungskonzeptes könnte durch die gewonnene Sicherheit der Teilnehmer im Umgang mit Subclavia-ZVK dazu beitragen, dass die Indikation für einen Subclavia-ZVK häufiger gestellt wird und dessen Vorteile gegenüber anderen Punktionsorten öfter genutzt werden können. Zudem könnte das bisweilen hohe Pneumothoraxrisiko bei Subclavia-ZVK durch verbesserte Bedingungen mittels MCS weiter gesenkt werden.

Ob durch Absolvieren eines simulationsbasierten Kurses auch Trefferquote und Komplikationsraten der VSC-Punktion verbessert werden können, müssen weitere Studien zeigen.

8 Literaturverzeichnis

1. Barsuk JH, McGaghie WC, Cohen ER, O’Leary KJ, Wayne DB (2009) Simulation-based mastery learning reduces complications during central venous catheter insertion in a medical intensive care unit. *Crit Care Med* 37:2697–2701
2. Boon JM, Van Schoor AN, Abrahams PH, Meiring JH, Welch T, Shanahan D (2007) Central venous catheterization - An anatomical review of a clinical skill - Part 1: Subclavian vein via the infraclavicular approach. *Clinical Anatomy* 20:602–611
3. Evans L V., Dodge KL, Shah TD, Kaplan LJ, Siegel MD, Moore CL, Hamann CJ, Lin Z, D’Onofrio G (2010) Simulation training in central venous catheter insertion: Improved performance in clinical practice. *Academic Medicine* 85:1462–1469
4. Galloway S, Bodenham A (2003) Ultrasound imaging of the axillary vein - Anatomical basis for central venous access. *Br J Anaesth* 90:589–595
5. Lalu MM, Fayad A, Ahmed O, Bryson GL, Fergusson DA, Barron CC, Sullivan P, Thompson C (2015) Ultrasound-guided subclavian vein catheterization: A systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med* 43:1498–1507
6. Lanspa MJ, Fair J, Hirshberg EL, Grissom CK, Brown SM (2014) Ultrasound-guided subclavian vein cannulation using a micro-convex ultrasound probe. *Ann Am Thorac Soc* 11:583–586
7. Loveless BA, Muir MW, Limov AL, Fritsch AR, Thomas RJ, Yancey TJ, Skidmore CJ, Zapata I, Nigh AD, Mason NL (2022) Advancing Point-of-Care Ultrasound Training in Medical Schools: Ultrasound-Guided Subclavian Vein Access Training Using Formalin-Embalmed Cadavers. *Crit Care Explor* 4:E0680
8. Ma IWY, Brindle ME, Ronksley PE, Lorenzetti DL, Sauve RS, Ghali WA (2011) Use of simulation-based education to improve outcomes of central venous catheterization: A systematic review and meta-analysis. *Academic Medicine* 86:1137–1147
9. Millington SJ, Lalu MM, Boivin M, Koenig S (2019) Better With Ultrasound: Subclavian Central Venous Catheter Insertion. *Chest* 155:1041–1048
10. Mochida T, Seino Y, Matsuda K, Haga M, Yamamoto G, Moridaira T, Watanabe I (2014) Safety of axillary and subclavian vein cannulation using real-time ultrasound guidance. *Japanese Journal of Anesthesiology* 63:

11. Oh AY, Jeon YT, Choi EJ, Ryu JH, Hwang JW, Park HP, Do SH (2014) The influence of the direction of J-tip on the placement of a subclavian catheter: Real time ultrasound-guided cannulation versus landmark method, a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol* 14:
12. Parienti JJ (2017) Catheter-Related Bloodstream Infection in Jugular Versus Subclavian Central Catheterization. *Crit Care Med* 45:e734–e735
13. Prasad R, Soni S, Janweja S, Rajpurohit J, Nivas R, Kumar J (2020) Supraclavicular or infraclavicular subclavian vein: Which way to go- A prospective randomized controlled trial comparing catheterization dynamics using ultrasound guidance. *Indian J Anaesth* 64:292–298
14. Ramonell RP, Schimmel M, Greer M, Coleman CG, Bender WS, Daniels LM (2021) Longitudinal trends using a point-of-care gelatin-based model for ultrasound-guided central venous catheter insertion. *Med Educ Online* 26:
15. Saugel B, Scheeren TWL, Teboul JL (2017) Ultrasound-guided central venous catheter placement: A structured review and recommendations for clinical practice. *Crit Care* 21:
16. Sazdov D, Sreva MJ, Todorova ZN (2017) Comparative Analysis of Ultrasound Guided Central Venous Catheterization Compared to Blind Catheterization. *Prilozi* 38:107–114
17. Tanwani J, Nabecker S, Hiansen JQ, Mashari A, Siddiqui N, Arzola C, Goffi A, Peacock S (2023) Use of a Novel Three-Dimensional Model to Teach Ultrasound-guided Subclavian Vein Cannulation. *ATS Sch* 4:344–353
18. Vogel JA, Haukoos JS, Erickson CL, Liao MM, Theoret J, Sanz GE, Kendall J (2015) Is long-axis view superior to short-axis view in ultrasound-guided central venous catheterization? *Crit Care Med* 43:832–839
19. Wang Q, Cai J, Lu Z, Zhao Q, Yang Y, Sun L, He Q, Xu S (2020) Static Ultrasound Guidance VS. Anatomical Landmarks for Subclavian Vein Puncture in the Intensive Care Unit: A Pilot Randomized Controlled Study. *Journal of Emergency Medicine* 59:
20. Weber S. U., Breuer A., Kim S.-C. (2016) Darstellbarkeit der Vena cava superior im rechten supraklavikulären Schallfenster.
21. Zawadka M, La Via L, Wong A, Olusanya O, Muscarà L, Continella C, Andruszkiewicz P, Sanfilippo F (2023) Real-Time Ultrasound Guidance as Compared with Landmark

Technique for Subclavian Central Venous Cannulation: A Systematic Review and Meta-Analysis with Trial Sequential Analysis*. Crit Care Med 51:

22. Dr Graham Hocking FPHPRFCS (2006) Hocking_CENTRAL VENOUS ACCESS AND MONITORING.

9 Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater, PD. Dr. Andreas Meiser, meinen tiefsten Dank aussprechen. Seine stetige Unterstützung, sein wertvolles Feedback und seine ständige Ermutigung haben maßgeblich zum Erfolg dieser Dissertation beigetragen.

Ein besonderer Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen am UKS sowie Studenten, welche sich bereitklärten, sich an der Studie zu beteiligen und dafür unentgeltliche Zeit geopfert haben.

Ein weiterer Dank geht an meine Familie und Freunde. Besonders möchte ich meiner Mutter, Angela, für ihre Unterstützung und ihr Vertrauen in mich danken. Ihr Zuspruch hat mir oft die nötige Kraft und Motivation gegeben, weiterzumachen.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Lebenspartnerin Kamilla danken. Deine Liebe, Geduld und dein Verständnis haben mich während der gesamten Zeit des Schreibens getragen und mir geholfen, diese Herausforderung zu meistern.

Vielen Dank an alle, die zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

10 Anhang

10.1 CRF

MISP (Microconvex In plane Subclavian Puncture)
Einführung in den Umgang mit der Microconvex-Ultraschallsonde



UKS
Universitätsklinikum
des Saarlandes
Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und
Schmerztherapie

Laufzettel

Datum:

Teilnehmernummer:

Name:

Einverständniserklärung Datenerhebung

Ich willige ein, dass die Ergebnisse und Daten dieser Studie als wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht werden und, dass dies in anonymisierter Form, d.h. ohne dass die Daten einer spezifischen Person zugeordnet werden können, geschieht.

1

Datum, Unterschrift

Einverständniserklärung zu Fotoaufnahmen

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen der Veranstaltung Bilder und/oder Videos von den Teilnehmern/innen gemacht werden und zur Veröffentlichung verwendet und zu diesem Zwecke auch abgespeichert werden dürfen.

Datum, Unterschrift

Wichtig: Bitte lesen Sie nur den Text in großer Schrift und füllen Sie nur die deutlich markierten Felder aus!

Teilnehmernummer:



Station: Antestat / Anatomie

1) Modell-Skelett

Bilden Sie mit den vorgebrachten Pfeifenputzern (Rot= A. subclavia, Blau= V. subclavia) den Verlauf der Gefäße nach.

Lagebeziehung:

richtig

Abstand: _____ cm (Kreuzungspunkt der Vene mit der Claviculavorderkante und der Markierung)

< 2 cm

Winkeldifferenz:

Optimalwinkel: 67° Gemessener Winkel:

< 20°

Punkte:

2

Unterschrift Stationsleitung _____

2) 3D-Anatomie-Programm

Rekapitulieren und verbessern Sie hier ihre Anatomiekenntnisse!

Die Anatomie wurde anhand einer 3D-Anatomie-App wiederholt.

Unterschrift Stationsleitung _____

Station: Video-Tutorial

Sehen Sie sich das Video-Tutorial an!

Das Video-Tutorial wurde angesehen.

Unterschrift Stationsleitung _____

Teilnehmernummer:

Station: Ultraschall an Schallmodells

1. Platzieren Sie den Micro-Convex-Schallkopf (MCS) dort, wo Sie ein gutes Bild der Gefäße in **kurzer Achse** vermuten. Die **A. axillaris** sollte **zentral** eingestellt sein.

- Sonobildschirm ist abgedeckt!
- Nur Punktevergabe wenn Gefäß mehr quer als längs getroffen wurde!

	Proband 1			Proband 2			Punkte
Arterie	1 P	1,5 P	1 P	1 P	1,5 P	1 P	<input type="checkbox"/> 1,5 P <input type="checkbox"/> 1 P <input type="checkbox"/> 0 P
Vene	1 P	1,5 P	1 P	1 P	1,5 P	1 P	<input type="checkbox"/> 1,5 P <input type="checkbox"/> 1 P <input type="checkbox"/> 0 P
Gesamtpunktzahl							/3

3

2. Stellen Sie nun die A. axillaris in **kurzer Achse** ein. Schätzen Sie anschließend die **Tiefe** der V. axillaris in dieser Einstellung.

	Proband 1	Proband 2	
Zeit	____(s)	____(s)	
	<input type="checkbox"/> <5s <input type="checkbox"/> 5-10s <input type="checkbox"/> > 10s	<input type="checkbox"/> <5s <input type="checkbox"/> 5-10s <input type="checkbox"/> > 10s	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Tiefe	Tiefe _____ geschätzt _____	Tiefe _____ geschätzt _____	
	<input type="checkbox"/> < 0,5 cm <input type="checkbox"/> 0,5 – 1,5 cm <input type="checkbox"/> > 1,5 cm	<input type="checkbox"/> < 0,5 cm <input type="checkbox"/> 0,5 – 1,5 cm <input type="checkbox"/> > 1,5 cm	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Gesamtpunktzahl			/4

3. Drehen Sie nun die **Arterie** in die **lange Achse**.

	Proband 1	Proband 2	
Zeit	____(s)	____(s)	
	<input type="checkbox"/> <5s <input type="checkbox"/> 5-15s <input type="checkbox"/> > 15s	<input type="checkbox"/> <5s <input type="checkbox"/> 5-15s <input type="checkbox"/> > 15s	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Gesamtpunktzahl			/ 2

Teilnehmernummer:

4. Stellen Sie nun die **Vene in der langen Achse** ein und versuchen Sie folgende Strukturen auf ein Bild zu bekommen: Clavicula, V. subclavia, Rippe unter der Clavicula, Pleura.

Zeit	Proband 1	Proband 2	
	____(s)	____(s)	____(s)
	<input type="checkbox"/> <30s <input type="checkbox"/> 30-60s <input type="checkbox"/> >60s	<input type="checkbox"/> <30s <input type="checkbox"/> 30-60s <input type="checkbox"/> >60s	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Strukturen (0,5P/Struktur)	<input type="checkbox"/> Clavicula <input type="checkbox"/> Vene <input type="checkbox"/> Rippe <input type="checkbox"/> Pleura	<input type="checkbox"/> Clavicula <input type="checkbox"/> Vene <input type="checkbox"/> Rippe <input type="checkbox"/> Pleura	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1,5P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 0P
Punktionsrichtung	<input type="checkbox"/> richtig <input type="checkbox"/> nicht richtig	<input type="checkbox"/> richtig <input type="checkbox"/> nicht richtig	<input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Gesamtpunktzahl			/5

4

5. Stellen Sie von **supraclaviculär** den **Zusammenfluss** der V. subclavia mit der V. jugularis int. dar. (max. 2 min Zeit)

Zeit	Proband 1	Proband 2	
	____(s)	____(s)	____(s)
	<input type="checkbox"/> <10s <input type="checkbox"/> 10- 30s <input type="checkbox"/> > 30s	<input type="checkbox"/> <10s <input type="checkbox"/> 10- 30s <input type="checkbox"/> > 30s	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Darstellung	<input type="checkbox"/> gezeigt <input type="checkbox"/> nicht gezeigt	<input type="checkbox"/> gezeigt <input type="checkbox"/> nicht gezeigt	<input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Gesamtpunktzahl			/3

6. Demonstrieren Sie den sonographischen Ausschluss eines **Pneumothorax**.
(Pro Zeichen 1P, max. 3)

Zeichen (3 = volle Punktzahl)	Proband 1	Proband 2	
	<input type="checkbox"/> Pleuragleiten <input type="checkbox"/> B-Linien <input type="checkbox"/> fehlende A-Linien <input type="checkbox"/> Seashoresign <input type="checkbox"/> Lungenpuls	<input type="checkbox"/> Pleuragleiten <input type="checkbox"/> B-Linien <input type="checkbox"/> fehlende A-Linien <input type="checkbox"/> Seashoresign <input type="checkbox"/> Lungenpuls	<input type="checkbox"/> 3P <input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Gesamtpunktzahl			

Unterschrift Stationsleitung _____

Teilnehmernummer:

MISP (Microconvex In plane Subclavian Puncture)

Einführung in den Umgang mit der Microconvex-Ultraschallsonde



UKS
Universitätsklinikum
des Saarlandes
Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und
Schmerztherapie

Station: In-Plane-Punktion am Phantom

Planes Modell

	1.Versuch	2. Versuch	
	(s)	(s)	
Zeit (ab Hautpunktion)	<input type="checkbox"/> < 5s <input type="checkbox"/> 5-10s <input type="checkbox"/> > 10s	<input type="checkbox"/> < 5s <input type="checkbox"/> 5-10s <input type="checkbox"/> > 10s	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Punktionsrichtung	<input type="checkbox"/> richtig <input type="checkbox"/> falsch	<input type="checkbox"/> richtig <input type="checkbox"/> falsch	<input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Richtungswechsel der Nadel (unter Hautniveau)	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> keiner <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> mehrere	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> keiner <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> mehrere	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Punktionsversuche (Nadel neu angesetzt)	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> >2	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> >2	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Schallkopf-Korrekturen (während der Punktion)	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> mehrere	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> mehrere	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Komplikationen	<input type="checkbox"/> komplikationslos <input type="checkbox"/> Hinterwand verletzt	<input type="checkbox"/> komplikationslos <input type="checkbox"/> Hinterwand verletzt	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 0P
Gesamtpunktzahl			/10

5

Anatomisches Modell

	1.Versuch	2. Versuch	
	(s)	(s)	
Zeit (ab Hautpunktion)	<input type="checkbox"/> < 5s <input type="checkbox"/> 5-10s <input type="checkbox"/> > 10s	<input type="checkbox"/> < 5s <input type="checkbox"/> 5-10s <input type="checkbox"/> > 10s	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Punktionsrichtung	<input type="checkbox"/> richtig <input type="checkbox"/> falsch	<input type="checkbox"/> richtig <input type="checkbox"/> falsch	<input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Richtungswechsel der Nadel (unter Hautniveau)	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> keiner <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> mehrere	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> keiner <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> mehrere	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Punktionsversuche (Nadel neu angesetzt)	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> >2	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> >2	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Schallkopf-Korrekturen (während der Punktion)	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> mehrere	_____ (Anzahl) <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> mehrere	<input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Komplikationen	<input type="checkbox"/> komplikationslos <input type="checkbox"/> Hinterwand verletzt	<input type="checkbox"/> komplikationslos <input type="checkbox"/> Hinterwand verletzt	<input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Gesamtpunktzahl			/10

Unterschrift Stationsleitung: _____

Teilnehmernummer:

Station: ZVK-Annaht

Erneute Annaht falls > 3 min oder Dislokationsstrecke > 0,5 cm.

Zeit	erste Zeit: ____ (s)	letzte Zeit: ____ (s)
	<input type="checkbox"/> < 3min <input type="checkbox"/> 3-4 min <input type="checkbox"/> 4-5 min <input type="checkbox"/> > 5 min	<input type="checkbox"/> 2,5P <input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Sicherheit (Dislokationsstrecke)	erste Strecke: ____ (cm)	Letzte Strecke ____ (cm)
	<input type="checkbox"/> 0cm <input type="checkbox"/> <0,5 cm <input type="checkbox"/> 0,5- 1cm <input type="checkbox"/> > 1cm	<input type="checkbox"/> 2,5P <input type="checkbox"/> 2P <input type="checkbox"/> 1P <input type="checkbox"/> 0P
Benötigte Versuche	____ (Anzahl)	
Gesamtpunktzahl: /5		

6

Unterschrift Stationsleitung: _____

Station: ZVK-Komplikationen

Unterschrift Stationsleitung: _____

Station: Live-Abtestat:

Verlauf von V. und A. subclavia

Zeichnen Sie in das Anatomiebild den Verlauf der Gefäße ein. Beginnen Sie hierfür an den Markierungen (Blau = Vene, rot= Arterie)

Lagebeziehung:

richtig

Abstand: ____ cm (Kreuzungspunkt der Vene mit der Claviculavorderkante und der Markierung)

< 2 cm

Winkeldifferenz:

Optimalwinkel: 67° Gemessener Winkel:

< 20°

Punkte:

Unterschrift Stationsleitung _____

Teilnehmernummer:

