Anaesthesist 2019 · 68:309–316

<https://doi.org/10.1007/s00101-019-0579-x>

Online publiziert: 21. März 2019

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019, korrigierte Publikation 2019

T. Palmaers¹ · P. Frank¹ · H. Eismann¹ · L. Sieg¹ · A. Leffler¹ · H. Schmitt² · A. Scholler²¹ Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin (OE8050), Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland² Anästhesiologische Klinik, Universitätsklinikum Erlangen, Erlangen, Deutschland

Vena-subclavia-Katheter und Pneumothoraxrisiko

Maschinelle Beatmung erhöht das Pneumothoraxrisiko während infraklavikulärer landmarkengestützter V.-subclavia-Punktion: eine prospektive randomisierte Studie

Hintergrund und Fragestellung

Die Punktion zentraler Venen mit der Anlage eines Katheters gehört zu den Standardprozeduren in der Anästhesiologie, Notfallmedizin und Intensivmedizin. Dabei reichen die Indikationen von der differenzierten Katecholamintherapie über die parenterale Ernährung, der Messung der zentralvenösen Sauerstoffsättigung bis hin zur Hämodialyse/-filtration. Die am häufigsten verwendeten Punktionsstellen sind die V. jugularis interna, die V. subclavia und die V. femoralis [19, 20, 24, 29]. Bezüglich der Komplikationen besitzt die V. subclavia gegenüber den Vv. jugularis interna und femoralis einige Vorteile wie beispielsweise eine geringere Rate an arteriellen Punktionen, eine niedrigere Thromboserate sowie eine geringere Rate an Katheterinfektionen [19, 20, 24]. Allerdings gibt es auch spezifische Komplikationen, die bei der V. subclavia häufiger vorkommen. Die gefürchtetste Komplikation ist der sehr seltene Hämatothorax [10] oder Pneumothorax, welcher nach Angaben in der Literatur in 0,1–3,1 % der Fälle vorkommt [6, 19] und sich im schlimmsten Fall als lebensbedrohlicher Spannungspneumothorax darstellt.

Der genaue Einfluss der maschinellen Beatmung bei der Punktion der V. subclavia ist unklar. Aus ultraschallgestützten

Untersuchungen ist bekannt, dass die maschinelle Beatmung mit den daraus folgenden hohen intrathorakalen Drücken, den Gefäßquerschnitt der V. subclavia vergrößert [13, 17], sich dabei aber der Abstand zwischen Vene und Pleura nicht relevant verändert [13, 16].

Zum Zeitpunkt der Planung dieser Studie gab es keine prospektiven randomisierten Studien, die die Frage beantworten, ob in Bezug auf die Pneumothoraxrate die landmarkengestützte Punktion der V. subclavia unter fortgeführter maschineller Beatmung oder in Apnoe (vollständige Expiration) erfolgen sollte. Aus diesem Grund sind die primäre Hypothese und der primäre Endpunkt dieser Studie die Nichtunterlegenheit der fortgeführten maschinellen Beatmung vs. einer kurzen Apnoephase während der Punktion der V. subclavia im Hinblick auf die Pneumothoraxrate. Die sekundären Hypothesen und Endpunkte sind die Nichtunterlegenheit der fortgeführten Beatmung vs. Apnoe auf die Raten an arteriellen Punktionen, die generelle Erfolgsquote, den Erfolg bei der ersten Punktion und die Anzahl an benötigten Punktionsversuchen.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission (Medizinische Hochschule Hannover 6624-2014, April 2014), im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine schriftliche Einverständniserklärung vor, die vor Einschluss in die Studie und nach ausführlicher Aufklärung eingeholt wurde. In zwei deutschen Universitätskliniken wurden zwischen August 2014 und Oktober 2017 insgesamt 1250 einschließbare neurochirurgische Patienten identifiziert (Abb. 1), die sich einer elektiven Kraniotomie unterzogen haben. In beiden Kliniken ist die Anlage eines Zentralvenenkatheters (ZVK) via V. subclavia, unabhängig von dieser Studie, das Standardvorgehen bei dieser Patientenkohorte.

Eingeschlossen wurden Patienten mit einem Alter von mindestens 18 Jahren, die sich einer elektiven Kraniotomie unterziehen mussten. Ausgeschlossen wurden Patienten mit anatomischen Abweichungen an der Punktionsstelle, Zustand nach Klavikulafraktur, Infektionen an der Punktionsstelle und Schwangerschaft.

Abb. 1 ◀ CONSORT-Flussdiagramm

Randomisierung

Die Patienten wurden im OP unmittelbar vor Narkoseeinleitung nach dem Zufallsprinzip in die zwei Interventionsgruppen gelost. Zur Randomisierung wurde ein Linux-basiertes Programm genutzt, welches nach dem Mersenne-Twister-Algorithmus Zufallszahlen generiert. Der Zufallsgenerator wurde von einer an der Studie unbeteiligten Person programmiert. Beide Studienzentren mussten sich zur Randomisierung der Patienten auf einer passwortgeschützten Webseite einloggen. Es erfolgte dann die Zuteilung

in die Interventionsgruppen Beatmung oder Apnoe.

Da eine Verblindung des punktierenden Anästhesisten nicht möglich war, sind in dieser Studie nur die Patienten und der Untersucher, der postoperativ den Pneumothorax ausschließen musste, bezüglich der Gruppenzuteilung verblindet gewesen.

Nach der Randomisierung erfolgten die Einleitung der Allgemeinanästhesie mit endotrachealer Intubation und der Anlage einer arteriellen Druckmessung an der A. radialis. Für die Punktion der V. subclavia wurden die Patienten in

eine normale Rückenlage verbracht. Es wurden keine Polster unter die Wirbelsäule oder Schulterblätter etc. gelegt. Der Kopf wurde in Neutralstellung gelagert, und beide Arme wurden angelagert. Die Punktion erfolgte in der Regel auf der rechten Seite. Beim Vorliegen von Kontraindikationen (ipsilateraler Shunt- oder Portkatheterverlauf, Zustand nach Axilladisektion etc.) wurde die Punktion links durchgeführt.

T. Palmaers · P. Frank · H. Eismann · L. Sieg · A. Leffler · H. Schmitt · A. Scholler

Vena-subclavia-Katheter und Pneumothoraxrisiko. Maschinelle Beatmung erhöht das Pneumothoraxrisiko während infraklavikulärer landmarkengestützter V.-subclavia-Punktion: eine prospektive randomisierte Studie

Zusammenfassung

Hintergrund. Die landmarkengestützte Punktion der V. subclavia ist eine Standardprozedur in der Anästhesie und Intensivmedizin. Es gibt nur unzureichende Erkenntnisse, ob durch die mechanische Beatmung bei intubierten Patienten die Pneumothoraxrate bei der Punktion der V. subclavia beeinflusst wird. **Ziel der Arbeit.** Nachweis der Nichtunterlegenheit der fortgeführten Beatmung gegenüber einer kurzen Apnoe während der Punktion im Hinblick auf die Pneumothoraxrate.

Material und Methoden. Prospektive, randomisierte, bizontrische Nichtunterlegenheitsstudie. Zwischen August 2014 und Oktober 2017 wurden insgesamt 1021 Patienten in die Studie eingeschlossen. Es folgte eine Randomisierung in eine der beiden

Interventionsgruppen für die Venenpunktion: maschinelle Beatmung (Tidalvolumen: 7 ml/kg ideales Körpergewicht (IKG), Positiv endexpiratorischer Druck (PEEP): IKG/10; $n = 535$) oder Apnoe (manuell/spontan, Druckbegrenzungsventil (APL-Ventil) 0 mbar; $n = 486$). Die Venenpunktion wurde sowohl von unerfahrenen wie auch erfahrenen Ärzten durchgeführt. Die Patienten und Untersucher der Pneumothoraxraten waren in Bezug auf die Interventionsgruppe geblendet.

Ergebnisse. Die Pneumothoraxrate war signifikant höher in der Gruppe mit maschineller Beatmung (2,2 % vs. 0,4 %; $p = 0,012$) und einem „odds ratio“ (OR) von 5,63 (95 %-Konfidenzintervall (95 %-KI): 1,17–27,2; $p = 0,031$). Ein niedriger Body Mass Index (BMI) war ebenfalls signifikant häufiger mit

einem Pneumothorax assoziiert, OR 0,89 (95 % KI 0,70–0,96, $p = 0,013$).

Schlussfolgerung. In dieser Studie war die landmarkengestützte infraklavikuläre Katheterisierung der V. subclavia mit einer signifikant höheren Pneumothoraxrate verbunden, wenn die Venenpunktion unter fortgesetzter maschineller Beatmung durchgeführt wurde. Unsere Daten legen daher den Schluss nahe, bei beatmeten Patienten die Punktion unter kurzer Apnoe durchzuführen, sofern der Zustand des Patienten dies zulässt.

Schlüsselwörter

Zentraler Venenkatheter · V. subclavia · Pneumothorax · Komplikation

Catheterization of the subclavian vein and the risk of pneumothorax. Mechanical ventilation increases the risk of pneumothorax during infraclavicular landmark-guided subclavian vein puncture: a prospective randomized study

Abstract

Background. Infraclavicular subclavian vein (SCV) catheterization is a standard procedure in anesthesia and intensive care. There is a lack of evidence on how mechanical ventilation during venipuncture of the SCV influences pneumothorax rates.

Objective. Primary hypothesis: non-inferiority of continuing vs. discontinuing mechanical ventilation during infraclavicular puncture of the SCV with respect to the pneumothorax rate.

Material and methods. This prospective, randomized and single-blinded study was approved by the local ethics committee. A total of 1021 eligible patients who underwent cranial neurosurgery in 2 different university hospitals were assessed between

August 2014 and October 2017. Patients were randomly assigned to two groups directly before induction of anesthesia. Intervention groups for venipuncture of the SCV were mechanical ventilation: tidal volume 7 ml/kg ideal body weight, positive end expiratory pressure (PEEP) ideal body weight/10, $n = 535$, or apnea: manual/spontaneous, APL valve 0 mbar, $n = 486$. Patients and the physicians who assessed pneumothorax rates were blinded to the intervention group. Venipuncture was carried out by both inexperienced and experienced physicians.

Results. The pneumothorax rate was significantly higher in the mechanical ventilation group (2.2 % vs. 0.4 %; $p = 0.012$) with an odds ratio (OR) of 5.63 (95 % confidence

interval, CI: 1.17–27.2; $p = 0.031$). A lower body mass index (BMI) was associated with a higher pneumothorax rate, OR 0.89 (95 % CI: 0.70–0.96; $p = 0.013$).

Conclusion. In this study landmark-guided infraclavicular SCV catheterization was associated with a significantly higher rate of pneumothorax when venipuncture was performed during mechanical ventilation and not in apnea. If a short phase of apnea is justifiable in the patient, mechanical ventilation should be discontinued during the venipuncture procedure.

Keywords

Central venous catheter · Subclavian vein · Pneumothorax · Complication

Interventionsgruppen

Die maschinelle Beatmung wurde bei allen Patienten standardisiert und entspricht den aktuellen Empfehlungen für eine intraoperative lungenprotektive Beatmung [22, 26, 28]. Es wurde ein Tidalvolumen von 7 ml/kgKG mit einem positiven endexpiratorischen

Druck (PEEP) von Körpergewicht, geteilt durch 10, in mbar eingestellt. Als Körpergewicht wurde dabei stets das ideale Körpergewicht herangezogen, welches zur Vereinfachung festgelegt wurde als Körpergröße in cm minus 100. Als Beispiel bei 174 cm Körpergröße wurden 520 ml Tidalvolumen und als PEEP 7 mbar, jeweils gerundet,

eingestellt. Die Atemfrequenz wurde entsprechend angepasst, um ein endexpiratorisches CO₂ von 35 bis 40 mm Hg zu erreichen. Zur Gefäßpunktion wurde in der Interventionsgruppe Beatmung der Ventilator unverändert belassen, wohingegen in der Apnoegruppe der Ventilator auf manuell/spontan und das Druckbegrenzungsventil (APL-Ventil)

auf 0 mbar eingestellt wurden. Nachdem sichergestellt war, dass auch keine Spontanatmung vorlag, wurde die Punktion durchgeführt. Während der gesamten Zeit der Katheteranlage wurde die inspiratorische Sauerstoffkonzentration auf 80 % eingestellt, um Entsättigungen zu vermeiden. Beim Auftreten einer Entsättigung von <92 % sollte die Punktion unterbrochen werden und eine Zwischenbeatmung zur Aufsättigung stattfinden.

Die Katheteranlagen wurden von Weiterbildungsassistenten im zweiten bis fünften Jahr als auch von Fachärzten durchgeführt.

Die Punktion wurde unter sterilen Bedingungen und in Seldinger-Technik [27] durchgeführt. Zur Anwendung kam ein 30 cm langer, dreilumiger 7,5 F-ZVK (Fa. Arrow International, Reading, PA, USA). Es wurde keine Ultraschallunterstützung durchgeführt. Die Nadel wurde am Übergang vom medialen zum lateralen Drittel der Klavikula in ca. 1 cm Abstand zur Klavikula eingeführt und in Richtung Klavikula vorgeschoben, bis Knochenkontakt mit der Klavikula spürbar war. Dann wurde die Nadel in Richtung Jugulum ausgerichtet und unter vorsichtiger Aspiration vorgeschoben. Wenn mit dieser Methode kein Blut aspirabel war, wurde die Nadel bis auf Hautniveau zurückgezogen und ein neuer Punktionsversuch mit einer mehr kranialen Stichrichtung unternommen. Sollte auch dieser Versuch fehlgeschlagen sein, wurde die Nadel erneut auf Hautniveau zurückgezogen und eine mehr nach kaudal gerichtete Stichrichtung gewählt. Sollte auch dieser dritte Punktionsversuch erfolglos sein, wurde die Punktion an einen zweiten Anästhesisten, mit fachärztlicher Qualifikation übergeben. Dieser führte ebenfalls maximal 3 Versuche nach der beschriebenen Methode durch. Die Gesamtzahl der Punktionsversuche wurde dokumentiert. Wenn nach den maximal 6 Punktionsversuchen kein Erfolg erzielt werden konnte, wurde die Punktion abgebrochen und die V. jugularis interna ipsilateral punktiert. In der V.-subclavia-ZVK-Anlage unerfahrene Weiterbildungsassistenten wurden bei ihren ersten 20 Punktionen durch einen erfahrenen Fach- bzw. Oberarzt

angeleitet (verbal, ohne steriles Einwaschen).

Nach erfolgreicher Punktion und Aspiration von venösem Blut wurde der J-Führungsdraht über die Nadel eingeführt und die Nadel anschließend entfernt. Nach Dilatation des subkutanen Gewebes und Einführen des Katheters wurde in der Apnoegruppe die Beatmung wieder fortgesetzt. Die korrekte Katheterlage wurde mittels intrakardialem EKG und Aspiration an allen Lumina verifiziert. Eine arterielle Fehllage wurde durch eine venöse Rücklaufprobe ausgeschlossen.

Bei arterieller Fehlpunktion wurde diese dokumentiert, und nach Nadelentfernung wurde für mindestens 5 min oberhalb und unterhalb der Klavikula eine Kompression durchgeführt, um ein größeres Hämatom zu vermeiden.

Eine nichterfolgreiche Anlage des V.-subclavia-ZVK war definiert als 6 nichterfolgreiche Punktionsversuche oder nach Abbruch durch den Anästhesisten bei arterieller Fehlpunktion.

Im Anschluss an das Ende der Operation und noch vor der Extubation (zwischen 4 und 6 h) erhielten die Patienten zum Ausschluss bzw. Nachweis eines Pneumothorax eine Sonographie des Thorax. Dazu wurde in 4 Quadranten mittels Seashore-Zeichen oder Barcode-Zeichen im M-Mode der Pneumothorax ausgeschlossen bzw. verifiziert [1]. Bei positivem Bar-Code-Zeichen wurde eine Thoraxröntgenaufnahme angefertigt, um die Größe und Interventionspflichtigkeit zu bestimmen.

Statistische Analyse und Fallzahlplanung

In dieser Nichtunterlegenheitsstudie wurde die Pneumothoraxrate bei Punktion unter Apnoe für das Patientenkollektiv der Studie auf 1,5 % geschätzt. Diese Rate ist in einer größeren Untersuchung von Mansfield et al. [18] sowie im eigenen Kollektiv vor Studiendesign festgestellt worden. Sie liegt damit in der Mitte der in der Literatur berichteten Raten von 0,1–3,1 % [6, 18, 19]. Die Fallzahlplanung erfolgte unter der Annahme, dass die Pneumothoraxrate bei Punktion unter Beatmung ebenfalls

1,5 % beträgt und eine Verdoppelung des Risikos ausgeschlossen werden soll. Es wurde ein Zweigruppentest für die Äquivalenz zweier Anteile verwendet, mit einer Power von 80 % und einem einseitigen Signifikanzniveau von 2,5 %. Alle Berechnungen für die Fallzahl wurden mit dem Fallzahlplanungsprogramm NQuery Advisor 7.0 (Fa. Statistical Solutions, Cork, Irland) durchgeführt. Gemäß Berechnung sollten $n = 1031$ Patienten/Gruppe (2062 insgesamt) in die Studie eingeschlossen werden. Auch wenn die Pneumothoraxrate höher wäre als angenommen (z. B. 2 % oder 3 %), könnte mit 2062 eingeschlossenen Patienten eine Verdoppelung des Risikos ausgeschlossen werden. Es wurde von einer relativ geringen Drop-out-Rate ausgegangen, da die Patienten stationär aufgenommen wurden und keine über die Standardbehandlung hinausgehende Untersuchung und kein Follow-up erforderlich war. Die Fallzahl wurde daher nur um etwa 1 % aufgestockt. So ergaben sich eine Fallzahl von $n = 1040$ Patienten/Gruppe und eine Gesamtfallzahl von 2080 Patienten.

Das Datenmanagement wurde durch eine „Study nurse“ durchgeführt, welche nicht an der Randomisierung, der Punktion oder dem Pneumothoraxnachweis teilgenommen hat. Als Sicherheitsendpunkt wurde eine offensichtliche Schiefelage in der Verteilung der Pneumothoraxraten festgelegt, sodass die Study nurse nach 500, 1000 und 1500 Patienten subjektiv beurteilen sollte, ob eine offensichtliche Schiefelage eingetreten war. Bei Auftreten dieser Schiefelage sollte die Studie unterbrochen werden, um eine Zwischenauswertung durchzuführen.

Statistische Analysen wurden mit Stata 15.1 (Fa. StataCorp LLC, Texas, USA) und SPSS 22 (Fa. IBM Deutschland, Ehingen) durchgeführt.

Alle Variablen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet. Normal verteilte Daten werden als Mittelwerte mit Standardabweichung dargestellt und Unterschiede mittels t-Test für nichtverbundene Stichproben ausgewertet. Dichotome Variablen sind als Häufigkeiten und prozentuale Anteile dargestellt. Unterschiede wurden mit dem Chi-Quadrat

Tab. 1 Demografische Daten

	Apnoe n = 486	Beatmung n = 535
Alter (Jahre)	56 (16)	56 (15)
Gewicht (kg)	79 (17)	80 (19)
Größe (cm)	170,9 (9,7)	170,9 (9,9)
Body-Mass-Index (kg/m ²)	26,9 (5,0)	27,2 (6,0)
Berufserfahrung (Jahre)	6,5 (7,7)	6,4 (7,6)
<i>Punktionserfahrung</i>		
0–20	193 (39,7 %)	207 (38,7 %)
21–50	152 (31,3 %)	162 (30,3 %)
>50	141 (29 %)	166 (31 %)
<i>Geschlecht</i>		
Männlich	214 (44 %)	235 (49 %)
Weiblich	272 (56 %)	272 (51 %)
<i>Studienzentrum</i>		
Nr. 1	258 (53,1 %)	286 (53,5 %)
Nr. 2	228 (46,9 %)	249 (46,5 %)

Werte dargestellt als Mittelwerte und Standardabweichung oder als Anzahl mit prozentualen Anteil

Tab. 2 Komplikationen und Erfolgsraten während der V.-subclavia-Punktion

	Apnoe n = 486	Beatmung n = 535
PEEP	0 (0)	7,1 (1,0)
Pneumothorax	2 (0,4 %)	12 (2,2 %)*
Hämatothorax	0	0
Punktionsversuche	1,7 (1,1)	1,7 (1,1)
Erfolg bei der ersten Punktion	302 (62 %)	320 (60 %)
Misserfolg und Abbruch	28 (5,8 %)	49 (9,6 %)*
Arterielle Punktion	23 (4,7 %)	35 (6,5 %)

PEEP „positive end-expiratory pressure“

Werte dargestellt als Mittelwerte und Standardabweichung oder als Anzahl mit prozentualen Anteil

* $p < 0,05$

Test mit Fisher-Korrektur berechnet. Die multivariate logistische Regressionsanalyse wurde angewendet, um die Pneumothoraxraten, adjustiert für die Interventionsgruppe, den Body Mass Index (BMI), Anzahl der Punktionsversuche, Patientengeschlecht und Berufserfahrung in Jahren zu untersuchen. Die Ergebnisse werden als „odds ratio“ mit zugehörigen 95 %-Konfidenzintervallen ausgewiesen. Ein p -Wert $< 0,05$ in allen Testverfahren wurde als statistisch signifikant angenommen.

Ergebnisse

Die Studie wurde vorzeitig beendet, nachdem der Sicherheitsendpunkt (offensichtliche Schiefelage der Pneumo-

thoraxrate zu Ungunsten einer Gruppe) nach 1000 Patienten erreicht wurde. Während des durchgeführten Beobachtungszeitraums wurden zwischen August 2014 und Oktober 2017 insgesamt 1250 einschließbare Patienten identifiziert (Abb. 1). Davon wurden 1046 Patienten randomisiert, von denen letztendlich 1021 Patienten in die Analyse einfließen. Die demografischen Daten der Patienten aus den beiden Studienzentren waren vergleichbar (Tab. 1).

Die primäre Hypothese (Nichtunterlegenheit der fortgeführten Beatmung) muss verworfen werden, nachdem eine signifikant höhere Rate ($p = 0,012$) an Pneumothoraces in der Beatmungsgruppe nachweisbar war (Tab. 2).

Im Hinblick auf die Rate an arteriellen Punktionen, den Erfolg bei der ersten Punktion oder die Berufserfahrung des Punktierenden (Tab. 1 und 2) konnten keine Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen festgestellt werden. In der Beatmungsgruppe war die Rate an erfolglosen Punktionen mit Abbruch der Maßnahme nach spätestens 6 Punktionsversuchen signifikant höher ($p = 0,04$) als in der Apnoegruppe (Tab. 2).

Die Gesamtanzahl an Pneumothoraces lag bei 14 (1,4 %), wobei davon 12 Patienten in der Beatmungsgruppe waren. Dies ergibt eine Odds ratio von 5,63 (Tab. 3). Keiner der Patienten hatte einen Hämatothorax. Ein Patient (Beatmungsgruppe) hatte einen Spannungspneumothorax, der sofort nach der ZVK-Anlage auftrat und umgehend entlastet wurde.

Von den 14 Patienten mit Pneumothorax benötigten 9 eine Thoraxdrainage (64 %). Bei den verbleibenden 5 Patienten lag lediglich ein Mantelpneumothorax vor, der auch im Verlauf nicht behandlungsbedürftig wurde (Tab. 4).

Eine chronisch obstruktive Lungenerkrankung oder Asthma bronchiale (jeweils ohne Lungenemphysem) lag bei 8 der 14 (57 %) Patienten mit Pneumothorax vor. Patienten mit einem Pneumothorax, unabhängig von der Studiengruppe, erhielten signifikant ($p < 0,001$) mehr Punktionsversuche ($3,45 \pm 1,4$ (95 %-KI: 2,62–4,24) vs. $1,69 \pm 1,1$ (95 %-KI: 1,63–1,76)) als Patienten ohne Pneumothorax. Der BMI war bei Patienten mit Pneumothorax im Vergleich zum durchschnittlichen BMI in beiden Studiengruppen, signifikant ($p = 0,009$) niedriger ($23,2 \pm 2,8$ (95 %-KI: 21,6–24,9) vs. $27,1 \pm 5,5$ (95 %-KI: 26,8–27,4)).

Diskussion

Das Hauptergebnis dieser prospektiven randomisierten bizzentrischen Studie ist eine signifikant höhere Rate an Pneumothoraces bei fortgeführter Beatmung. Diese resultiert in einer mehr als fünf-fach erhöhten Wahrscheinlichkeit (OR 5,63, $p = 0,012$), unter fortgeführter Beatmung einen Pneumothorax bei der landmarkengestützten infraklavikulären

Tab. 3 Multivariate logistische Regression: Pneumothoraxrate als abhängige Variable

	Odds ratio	95 %-Konfidenzintervall		p
Beatmungsgruppe	5,63	1,166	27,210	0,031
Body-Mass-Index	0,82	0,697	0,958	0,013
Punktionsversuche	2,35	1,618	3,408	<0,001
Berufserfahrung in Jahren	0,99	0,823	1,186	0,900
Patientenalter	0,97	0,935	1,009	0,138
Patient weiblich	1,92	0,522	7,066	0,326

Punktion der V. subclavia zu erleiden. Die Gesamtrate an Pneumothoraces (2,2 %) über die gesamte Studienpopulation liegt dabei in dem Bereich, der in der Literatur berichtet wird [3, 19]. Diese Ergebnisse stehen jedoch im Widerspruch zu einer zeitgleich durchgeführten und 2017 publizierten Studie von Kim et al. [12]. In deren monozentrischen Studie, die ebenfalls mit neurochirurgischen Patienten durchgeführt worden ist ($n=332$; 165 Patienten in der Beatmungsgruppe und 167 Patienten in der Apnoegruppe), wurde eine Gesamtpneumothoraxrate von nur 0,3 % (ein Pneumothorax in der Apnoegruppe) gefunden. Die Autoren schlussfolgerten eine Nichtunterlegenheit der fortgeführten Beatmung im Vergleich zur Punktion unter Apnoe. Allerdings unterscheidet sich die Arbeit von Kim et al. in wesentlichen Anteilen, z.B. haben an ihrer Studie lediglich 3 sehr erfahrene Anästhesisten als Punktierende teilgenommen. Alle 3 verfügten über eine Expertise von weit über 100 Punktionen der V. subclavia. Dies bildet nicht die Realität in Lehrkrankenhäusern ab. Regelhaft werden in der klinischen Routine Punktionen von Assistenzärzten in Weiterbildung mit höheren Komplikationsraten und niedrigeren Erfolgsraten durchgeführt [4, 11, 18, 29, 30]. Des Weiteren haben Kim et al. in der Beatmungsgruppe keinen PEEP angewendet. Ohne PEEP entspricht der Zustand der Lunge in den endexpiratorischen Phasen exakt der Apnoegruppe. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt bei niedrigen Atemfrequenzen und einem I:E-Verhältnis zugunsten der Expiration. In unserer Studie wurde der PEEP an das ideale Körpergewicht gekoppelt; ein Vorgehen, welches sich ohne empirische Daten in unserer täglichen klinischen Routine etabliert hat.

Forderungen für eine lungenprotektive Beatmung sehen einen PEEP von 5 mbar oder höher als sinnvoll an [22], und der bei uns gewählte PEEP lag bei allen Patienten im Mittel bei 7,1 mbar (Min./Max. 5/10 mbar). Als Limitation kann nicht sicher ausgeschlossen werden, dass das Anwenden von unterschiedlichen PEEP-Werten, anstatt eines standardisierten PEEP von beispielsweise 5 mbar, einen Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Der dritte große Unterschied ist der Ausschluss von Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD), wohingegen 8 von 14 (57 %) der Pneumothoraxpatienten in dieser Studie eine COPD oder Asthma hatten. Dies könnte eine Limitation der Studie darstellen, da einige Autoren diese Komorbiditäten als relative Kontraindikationen für die V.-subclavia-Katheterisierung angeben würden. In vielen Krankenhäusern, wie in den beiden teilnehmenden Universitätskliniken, ist dies jedoch nicht der Fall. Limitierend für diese Studie ist auch, dass keine prospektive Erhebung über das Vorliegen einer COPD oder von Asthma im Gesamtkollektiv durchgeführt wurde, sodass keine klare Bewertung der COPD als unabhängigen Risikofaktor für den Pneumothorax abgegeben werden kann.

Eine retrospektive Analyse von 730 Patienten ergab 14 schwere mechanische Komplikationen, darunter 5 Patienten mit Pneumothorax [9]. Nur 21 % der Patienten erhielten einen V.-subclavia-Katheter mit 3 Fällen von Pneumothorax. Interessanterweise traten 71 % dieser Komplikationen bei beatmeten Patienten auf, was auch die Ergebnisse dieser Studie abbilden konnten.

Ein sekundärer Endpunkt, die arterielle Fehlpunktion, unterschied sich zwischen den beiden Studiengruppen nicht

signifikant. Die Beatmungsgruppe wies zwar eine höhere Rate auf (6,5 % gegenüber 4,7 %), allerdings ist diese Studie nicht auf diesen Endpunkt gepowert worden, und zusätzliche Untersuchungen sind erforderlich, um diese Frage abschließend zu beantworten. Die arterielle Punktionsrate im gesamten Kollektiv (5,5 %) entsprach in etwa den von anderen Autoren veröffentlichten Ergebnissen [4, 19, 20].

Es fanden sich in dieser Studie keine Unterschiede in der durchschnittlichen Anzahl der Punktionsversuche ($1,7 \pm 1,1$ in beiden Gruppen). Dieses Ergebnis stimmt mit den Ergebnissen von Kim et al. überein ($1,4 \pm 0,9$ in beiden Gruppen) [12]. Der minimale Unterschied zwischen den Studienergebnissen könnte evtl. mit der größeren Erfahrung der Punktierenden erklärt werden. Mehr als zwei Drittel der punktierenden Anästhesisten in dieser Studie hatten weniger als 50 V.-subclavia-Katheterisierungen durchgeführt, während bei Kim et al., wie bereits beschrieben, jeder Punktierende über eine Erfahrung >100 Punktionen verfügte. Der Erfolg beim ersten Punktionsversuch lag in beiden Studiengruppen bei etwa 60 % und unterschied sich somit nicht. Diese Ergebnisse sind wiederum vergleichbar mit Kim et al., die ebenfalls keinen Unterschied zwischen den Gruppen feststellen konnten, allerdings wurde dort eine höhere Erfolgsquote von 75 % bei der ersten Punktion gesehen [12]. Analog zur arteriellen Punktion könnte dies mit den geringeren Erfahrungen der Punktierenden in dieser Studie erklärt werden.

Der letzte sekundärer Endpunkt war die Gesamterfolgsrate in Bezug auf die Studiengruppe. Interessanterweise war die Gesamterfolgsrate in der Apnoegruppe signifikant besser (94,2 % gegenüber 90,4 %). Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu Kim et al., die keinen Unterschied und insgesamt etwas bessere Erfolgsraten fanden (97,6 % in der Beatmungsgruppe bzw. 98,2 % Apnoegruppe [12]). Die Gründe hierfür sind unklar, zumal die Querschnittsfläche der V. subclavia durch die maschinelle Beatmung nachweislich verbessert wird [13], und man erwarten würde, dass die Ergebnisse in der Beatmungsgruppe

Tab. 4 Charakteristika der Patienten mit einem Pneumothorax

Patient	Alter	Geschlecht	BMI (kg/m ²)	Studiengruppe	Punktionsversuche	PEEP (mbar)	Thoraxdrainage	Relevante Komorbiditäten, ASA-Status
#1	28	M	24	Beatmung	5	8	3 Tage	Keine, ASA I
#2	68	W	20,7	Apnoe	2	6	2 Tage	COPD, HT, AKE, ASA III
#3	51	W	22	Apnoe	4	6	3 Tage	Keine, ASA I
#4	49	M	20,3	Beatmung	4	8	3 Tage	COPD, ASA III
#5	54	W	18	Beatmung	4	6	Nein	Keine, ASA II
#6	59	W	23,2	Beatmung	4	6	3 Tage	COPD, ASA III
#7	50	W	27,9	Beatmung	3	6	3 Tage	Asthma, ASA II
#8	73	M	23,6	Beatmung	1	8	Nein	Keine, ASA II
#9	69	W	24,2	Beatmung	5	6	3 Tage	COPD, ASA III
#10	23	M	22,6	Beatmung	2	9	2 Tage	Keine, ASA I
#11	45	W	25,7	Beatmung	3	7	Nein	Asthma, ASA II
#12	63	W	21	Beatmung	2	7	Nein	Keine, ASA II
#13	50	W	28	Beatmung	6	6	Nein	COPD, HT, ASA III
#14	60	W	24,2	Beatmung	3	7	4 Tage	COPD, ASA III

BMI Body-Mass-Index, PEEP „positive end-expiratory pressure“, ASA American Society of Anesthesiologists, COPD „chronic obstructive pulmonary disease“, HT arterielle Hypertension, AKE Aortenklappenersatz

besser oder zumindest gleich wären. Dieser Effekt auf den Gefäßdurchmesser wurde in der zitierten Untersuchung von Kwon et al. jedoch mit einem inspiratorischen Halt über 10 s und einem Druck von 20 mbar nachgewiesen. Es kann in dieser Studie unterdessen nicht garantiert werden, dass die Punktionen in der Beatmungsgruppe während des maximalen Inspirationsdrucks durchgeführt wurden. Im Gegensatz zu dieser Ultraschalluntersuchung von Kwon liegen Untersuchungen bei spontan atmenden Erwachsenen vor, bei denen die Querschnittsfläche der V. subclavia in der endexpiratorischen Phase und nicht in der endinspiratorischen Phase zunahm [17]. Dieselbe Arbeitsgruppe fand bei maschinell beatmeten Kindern keinen Unterschied zwischen endinspiratorischer oder endexpiratorischer Phase im Gefäßquerschnitt der V. subclavia [16]. Diese Befunde deuten darauf hin, dass es scheinbar mehrere Einflussfaktoren auf den Gefäßquerschnitt gibt, wie das Alter, der erwähnte intrathorakale Druck und sicherlich der nicht zu vernachlässigende, aber schwer zu bestimmende Volumenstatus. Eine durch die Trendelenburg-Position induzierte Autotransfusion bei narkotisierten Patienten ist hinsichtlich der Verbesserung der Querschnittsfläche der V. subclavia überlegen und zwar unabhängig davon, ob sie in Apnoe

oder bei inspiratorischem Halt durchgeführt wird [13]. Da jedoch in dieser Studie neurochirurgische Patienten zur Kraniotomie untersucht wurden und eine Erhöhung des Hirndrucks durch die Trendelenburg-Lagerung unbedingt vermieden werden sollte, wurden die Patienten im Gegensatz zu Kim et al. [12] immer in normaler Rückenlagerung punktiert. Dies stellt zugleich eine weitere Limitation dieser Daten dar, da die Ergebnisse nicht sicher auf Patienten mit Trendelenburg-Lagerung übertragbar sein könnten.

Zusätzlich zu den primären und sekundären Endpunkten konnte bei Patienten mit Pneumothorax ein höheres Risiko durch einen reduzierten BMI (OR 0,82, $p=0,013$) und eine höhere Anzahl von Punktionsversuchen (OR 2,35; $p<0,001$) gesehen werden. Dies steht im Einklang mit anderen Autoren, die ebenfalls ein höheres Risiko für einen Pneumothorax bei niedrigeren BMI-Werten fanden [9, 18] sowie bei steigenden Raten an Punktionsversuchen [15, 18, 23] aufzeigen konnten. In dieser Untersuchung konnte zwischen den Interventionsgruppen weder in der Anzahl der Punktionsversuche bis zum Erfolg noch in Jahren Berufserfahrung, Patientenalter und -geschlecht ein signifikante Einfluss gefunden werden.

Eine weitere Limitation dieser Studie ist die Anwendung der landmarkengestützte Punktion, die eine Übertragung der Ergebnisse auf ultraschallgestützte Punktion nicht zulässt. In einem Cochrane-Review aus dem Jahr 2015 wurde für die V. subclavia lediglich eine Risikoreduktion für arterielle Punktionen festgestellt, jedoch kein Unterschied bei anderen Komplikationen oder die Erfolgsquote [2]. Allerdings ist der Haupteffekt durch die große (824 Patienten) Mansfield-Studie zu erklären [18], eine Studie, die im Jahre 1994 publiziert wurde. Zu dieser Zeit waren die zur Verfügung stehenden Ultraschallgeräte weit weniger geeignet als heute. Jüngere Studien zeigen klar, dass die Anwendung der ultraschallgesteuerten Punktion die Komplikationsraten reduzieren und die Erfolgsquoten erhöhen kann [7, 8, 14, 21, 25]. Diese Studie soll kein Plädoyer für die landmarkengestützte Technik sein. Die Autoren sind davon überzeugt, dass die Anwendung von ultraschallgestützter Punktion die bessere Methode ist. Aus diesem Grund muss die Ausbildung in dieser Technik konsequent weitergeführt werden. Es wird jedoch immer wieder Situationen geben, in denen ein Ultraschallgerät nicht zur Verfügung steht, so dass die landmarkengestützte Punktion ein Verfahren bleibt, auf das regelmäßig zurückgegriffen werden muss.

Darüber hinaus gibt es weitere Limitationen. Zunächst wurde das Auftreten eines Pneumothorax innerhalb von 24 h nach der Operation untersucht. Das Auftreten eines sehr seltenen „Late-onset“-Pneumothorax [5] kann daher nicht sicher ausgeschlossen werden. Jedoch war keiner der Patienten vor der Entlassung aus dem Krankenhaus klinisch auffällig. Zweitens wurde die Entsättigungsrate in der Apnoegruppe während des Punktionsverfahrens nicht erfasst. Drittens umfasste die Untersuchung nur Patienten im OP und keine kritisch kranken Patienten mit Atemnot. Bei Patienten mit hohen inspiratorischen Spitzendrücken und sehr hohen PEEP-Werten könnte es daher zu einer stärkeren Wirkung während der Beatmung kommen. Ein Vergleich mit Apnoe wird jedoch für diese kritisch kranken Patienten nicht möglich sein.

Fazit für die Praxis

In dieser Studie war die landmarken-gestützte infraklavikuläre Katheterisierung der V. subclavia mit einer signifikant höheren Pneumothoraxrate verbunden, wenn die Venenpunktion unter fortgesetzter maschineller Beatmung durchgeführt wurde. Diese Daten legen daher den Schluss nahe, bei beatmeten Patienten die Punktion unter kurzer Apnoe (Beatmungsgerät auf manuell/spontan und APL-Ventil auf 0 mbar) durchzuführen, sofern der Zustand des Patienten dies zulässt. Bei Patienten mit niedrigem BMI und Vorliegen einer COPD sollte eine strenge Nutzen-Risiko-Abwägung für die Punktionsstelle V. subclavia erfolgen.

Korrespondenzadresse

Dr.med. T. Palmaers
Klinik für Anästhesiologie und
Intensivmedizin (OE8050),
Medizinische Hochschule
Hannover
Carl-Neuberg-Straße 1,
30625 Hannover,
Deutschland
palmaers.thomas@
mh-hannover.de

Danksagung. Die Autoren danken S. Palmaers (Study nurse) für das Datenmanagement, E. Budde und A. Grosshenning für ihre Unterstützung bei der Fallzahlplanung. Und allen Anästhesisten/-innen, die bei der Rekrutierung für diese Studie mitgewirkt haben.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T. Palmaers, P. Frank, H. Eismann, L. Sieg, A. Leffler, H. Schmitt und A. Scholler geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle im vorliegenden Manuskript beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor.

Literatur

- Amir R, Knio ZO, Mahmood F et al (2017) Ultrasound as a screening tool for central venous catheter positioning and exclusion of Pneumothorax. *Crit Care Med* 45:1192–1198
- Brass P, Hellmich M, Kolodziej L et al (2015) Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for subclavian or femoral vein catheterization. *Cochrane Database Syst Rev* 1. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd011447>
- Chui J, Saeed R, Jakobowski L et al (2018) Is routine chest X-Ray after ultrasound-guided central venous catheter insertion choosing wisely?: A population-based retrospective study of 6,875 patients. *Chest* 154:148–156
- Comerlatto PH, Rebelatto TF, Santiago De Almeida FA et al (2017) Complications of central venous catheter insertion in a teaching hospital. *Rev Assoc Med Bras* 63(1992):613–620
- Cronen MC, Cronen PW, Arino P et al (1991) Delayed pneumothorax after subclavian vein catheterization and positive pressure ventilation. *Br J Anaesth* 67:480–482
- Eerola R, Kaukinen L, Kaukinen S (1985) Analysis of 13,800 subclavian vein catheterizations. *Acta Anaesthesiol Scand* 29:193–197
- Fragou M, Gravvanis A, Dimitriou V et al (2011) Real-time ultrasound-guided subclavian vein cannulation versus the landmark method in critical care patients: A prospective randomized study. *Crit Care Med* 39:1607–1612
- Gualtieri E, Deppe SA, Sipperly ME et al (1995) Subclavian venous catheterization: Greater success rate for less experienced operators using ultrasound guidance. *Crit Care Med* 23:692–697
- Heidemann L, Nathani N, Sagana R et al (2017) A contemporary assessment of mechanical complication rates and trainee perceptions of central venous catheter insertion. *J Hosp Med* 12:646–651
- Iwanczuk W, Guźniczak P, Kasperczak J (2013) Hemothorax as a complication of subclavian vein cannulation with haemodialysis catheter—case report. *Anaesthesiol Intensive Ther* 45:89–92
- Kilbourne MJ, Bochicchio GV, Scalea T et al (2009) Avoiding common technical errors in subclavian central venous catheter placement. *J Am Coll Surg* 208:104–109
- Kim E, Kim HJ, Hong DM et al (2016) Influence of mechanical ventilation on the incidence of Pneumothorax during Infraclavicular Subclavian vein Catheterization: A prospective randomized Noninferiority trial. *Anesth Analg* 123:636–640
- Kwon MY, Lee EK, Kang HJ et al (2013) The effects of the Trendelenburg position and intrathoracic pressure on the subclavian cross-sectional area and distance from the subclavian vein to pleura in anesthetized patients. *Anesth Analg* 117:114–118
- Lalu MM, Fayad A, Ahmed O et al (2015) Ultrasound-guided Subclavian vein Catheterization: A systematic review and Meta-analysis. *Crit Care Med* 43:1498–1507
- Lefrant JY, Muller L, De La Coussaye JE et al (2002) Risk factors of failure and immediate complication of subclavian vein catheterization in critically ill patients. *Intensive Care Med* 28:1036–1041
- Lim KJ, Kim JT, Kim HS et al (2011) The effect of lung deflation on the position and size of the subclavian vein in mechanically ventilated infants and children. *Anesth Analg* 112:1448–1451
- Lim KJ, Lee JM, Byon HJ et al (2013) The effect of full expiration on the position and size of the subclavian vein in spontaneously breathing adults. *Anesth Analg* 117:109–113
- Mansfield PF, Hohn DC, Fornage BD et al (1994) Complications and failures of subclavian-vein catheterization. *N Engl J Med* 331:1735–1738
- McGee DC, Gould MK (2003) Preventing complications of central venous catheterization. *N Engl J Med* 348:1123–1133
- Merrill J, De Jonghe B, Golliot F et al (2001) Complications of femoral and subclavian venous catheterization in critically ill patients: A randomized controlled trial. *JAMA* 286:700–707
- Milone M, Di Minno G, Di Minno MN et al (2010) The real effectiveness of ultrasound guidance in subclavian venous access. *Ann Ital Chir* 81:331–334
- O'gara B, Talmor D (2018) Perioperative lung protective ventilation. *BMJ* 362:k3030
- Odendaal J, Kong VY, Sartorius B et al (2017) Mechanical complications of central venous catheterization in trauma patients. *Ann R Coll Surg Engl* 99:390–393
- Ruesch S, Walder B, Tramer MR (2002) Complications of central venous catheters: Internal jugular versus subclavian access—a systematic review. *Crit Care Med* 30:454–460
- Sazdov D, Srceva MJ, Todorova ZN (2017) Comparative analysis of ultrasound guided central venous Catheterization compared to blind Catheterization. *PRILOZI* 38(2):107–114. <https://doi.org/10.1515/prilozi-2017-0028>
- Schultz MJ, Abreu MG, Pelosi P (2015) Mechanical ventilation strategies for the surgical patient. *Curr Opin Crit Care* 21:351–357
- Seldinger SI (1953) Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; A new technique. *Acta Radiol* 39:368–376
- Serpa Neto A, Hemmes SN, Barbas CS et al (2015) Protective versus conventional ventilation for surgery: A systematic review and individual patient data Meta-analysis. *Anesthesiology* 123:66–78
- Sznajder JI, Zveibil FR, Bitterman H et al (1986) Central vein catheterization. Failure and complication rates by three percutaneous approaches. *Arch Intern Med* 146:259–261
- Takeyama H, Taniguchi M, Sawai H et al (2006) Limiting vein puncture to three needle passes in subclavian vein catheterization by the infraclavicular approach. *Surg Today* 36:779–782