

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie

der Universität des Saarlandes, Homburg (Saar)

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Volk

**Thorakale epidurale oder paravertebrale Analgesie- ein Vergleich der postoperativen
Lungenfunktion und Hämodynamik nach thoraxchirurgischen Eingriffen**

Dissertation zu Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

(der theoretischen Medizin, der Zahnheilkunde oder der Naturwissenschaften)

der medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2021

vorgelegt von: Müzeyyen Ira Copur

geb. am 30.05.1987

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
der Universität des Saarlandes, Homburg (Saar)

Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. Thomas Volk

Tag der Promotion: 28.07.2021

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Michael Menger

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Volk

2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Joachim Schäfers

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Zusammenfassung.....	1
1.1 Zusammenfassung (deutsch).....	1
1.2 Abstract	3
2 Einleitung	4
2.1 Grundlagen der Atmung.....	4
2.2 Lungenfunktionsuntersuchung	5
2.2.1 Lungenvolumina.....	6
2.2.2 Praxisspirometrie.....	9
2.3 Arterielle Blutgasanalyse.....	11
2.3.1 Der pH-Wert	11
2.3.2 Der Sauerstoffpartialdruck.....	12
2.3.3 Die Sauerstoffsättigung	12
2.3.4 Der Kohlenstoffdioxidpartialdruck	13
2.4 Analgesie durch rückenmarksnahe Verfahren in der Thoraxchirurgie	13
2.4.1 Thorakaler Periduralkatheter	14
2.4.2 Thorakaler Paravertebralkatheter	18
2.5 Die Medikamente der Studie.....	23
2.5.1 Das Synthetische Opioid Sufentanil.....	23
2.5.2 Das Lokalanästhetikum Ropivacain.....	24
2.6 Leitfragen der Studie und Ziel der Untersuchung	25
3 Methodik und Material.....	26
3.1 Das Design der Studie	26
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien.....	27
3.2.1 Einschlusskriterien	27
3.2.2 Ausschlusskriterien.....	27
3.3 Die Auswahl der Patienten.....	28

3.4 CRF-Bogen.....	28
3.4.1 Angaben zu den Werten.....	28
3.5 Anlageverfahren der Katheter.....	30
3.6 Erhebung der Daten.....	31
3.7 Zielsetzung der Studie.....	32
3.8 Angaben zur Statistischen Auswertung.....	33
4 Ergebnisse.....	34
4.1 Patientenkollektiv.....	34
4.2 Spirometrie.....	35
4.2.1 Einsekundenkapazität FEV1.....	35
4.2.2 Forcierte Vitalkapazität.....	37
4.2.3 Tiffeneau- Index.....	39
4.2.4 Peak Expiratory Flow (PEF).....	41
4.3 Atemfrequenz.....	43
4.4 Sauerstoffsättigung.....	45
4.5 Arterielle Blutgasanalyse.....	47
4.5.1 pH-Wert.....	47
4.5.2 Sauerstoffpartialdruck.....	49
4.5.3 Kohlenstoffdioxidpartialdruck.....	50
4.6 Hämodynamik.....	52
4.6.1 Mittlerer arterieller Druck.....	52
4.6.2 Herzfrequenz.....	54
5 Diskussion.....	56
5.1 Ergebnisse.....	56
5.1.1 Patientenkollektiv.....	56
5.1.2 Diskussion der postoperative Lungenfunktion.....	56
5.1.3 Diskussion des Verhaltens der Hämodynamik.....	60
5.2 Komplikationen und Limitationen.....	61
5.2.1 Komplikationen.....	61
5.2.2 Limitationen und Begrenzungen der Untersuchung.....	61
5.3 Schlussfolgerung und Ausblick.....	62
6 Literaturverzeichnis.....	64

7 Danksagung	70
8 Lebenslauf	71
9 Anhang	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersicht über den Transportweg des Sauerstoffs [62].....	4
Abbildung 2 Spirometrie [59]	7
Abbildung 3 Obstruktive Ventilationsstörung LLN= unterer Grenzwert, aus der Sk2 Leitlinie Spirometrie [6].....	8
Abbildung 4 Flowchart Einteilung der Ventilationsstörungen [20].....	8
Abbildung 5 Idealdarstellung einer Volumen-Zeit Kurve [20]	10
Abbildung 6 Idealdarstellung einer Fluss-Volumen Kurve [20].....	10
Abbildung 7 Schichten, die mit einer Rückenmarksnahen Anästhesie durchdrungen werden. [30].....	15
Abbildung 8 Vergleich Einstichwinkel thorakal und lumbal [24].....	16
Abbildung 9 Querschnitt eines Brustwirbels mit anatomischen Strukturen, die wichtig für die Paravertebralblockade sind [47]	20
Abbildung 10 Linksseitige Paravertebralblockade in Seitenlage [4]	21
Abbildung 11 Ultraschall Paravertebralblockade, 1 paraspinale Muskulatur, 2 Proc.transversus, 3 Lig. Costotransversarium, 4 Lig costotrasversariius sup., 5 Pleura [4]...22	22
Abbildung 12 FEV1 (%) vom Sollwert.....	37
Abbildung 13 FVC (%) vom Sollwert.....	39
Abbildung 14 Tiffeneau Index.....	41
Abbildung 15 PEF (%) vom Sollwert.....	43
Abbildung 16 Atemfrequenz (Atemzüge/Minute)	45
Abbildung 17 Sauerstoffsättigung (%)	47
Abbildung 18 pH-Wert	48
Abbildung 19 Sauerstoffpartialdruck (mmHg)	50
Abbildung 20 Kohlenstoffdioxidpartialdruck (mmHg)	51
Abbildung 21 MAP, mittlerer arterieller Druck (mmHg)	53
Abbildung 22 Herzfrequenz in bpm (beats per minute).....	55
Abbildung 23 Case Report Form (CRF).....	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Studiendesign aus dem Ethikantrag.....	26
Tabelle 2 Zeitpunkte der Datenerhebung	31
Tabelle 3 Patientenkollektiv, Demographische Daten.....	35
Tabelle 4 FEV1 vom Sollwert in %	36
Tabelle 5 FVC vom Sollwert in %	38
Tabelle 6 Tiffeneau Index	40
Tabelle 7 PEF vom Sollwert in %	42
Tabelle 8 Atemfrequenz (Atemzüge/Minute).....	44
Tabelle 9 Sauerstoffsättigung (%)	46
Tabelle 10 pH-Wert	48
Tabelle 11 Sauerstoffpartialdruck (mmHg)	49
Tabelle 12 Kohlenstoffdioxidpartialdruck (mmHg).....	51
Tabelle 13 MAP Mittlerer arterieller Druck (mmHg)	52
Tabelle 14 Herzfrequenz (beats per minute).....	54

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen	Bedeutung
%	Prozent
°	Grad
=	ist gleich
±	Plusminuszeichen
≤	kleiner gleich
≥	größer gleich
♀	weiblich
♂	männlich
I	römisch eins
II	römisch zwei
III	römisch drei
IV	römisch vier
V	römisch fünf
VI	römisch sechs
µg	Mikrogramm
µm	Mikrometer
δ	Delta
κ	Kappa
µ	Mü
Abb.	Abbildung
ASA	American Society of Anaesthesiologists
BMI	Body Mass Index
ca.	circa
FEV ₁	forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde
FVC	forcierte Vitalkapazität
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
kPA	Kilopascal
L	Liter
Lig.	Ligamentum
LOR	loss of resistance
m/s	Meter pro Sekunde

m²	Meter im Quadrat
MAP	Mean arterial pressure, Mittlerer arterieller Druck
mg	Milligramm
MHz	Megahertz
min	Minute
Mio.	Millionen
ml	Milliliter
mm	Millimeter
n	Anzahl
OP	Operation
paCO₂	arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck
paO₂	arterieller Sauerstoffpartialdruck
PDK	Periduralkatheter/Epiduralkatheter
PEF	peak expiratory flow, expiratorischer Spitzenfluss
postop	postoperativ
präop	präoperativ
psO₂	periphere Sauerstoffsättigung
PVB	Paravertebral Katheter
s.o.	siehe oben
Tab.	Tabelle

1 Zusammenfassung

1.1 Zusammenfassung (deutsch)

Pulmonalen Komplikationen vorzubeugen nach thoraxchirurgischen Eingriffen, nimmt nach wie vor einen hohen klinischen Stellenwert ein. Durch Schmerzen können reduzierte Atemexkursionen, ungenügende Hustenstöße und eine schmerzbedingte Immobilisation, zu Sekretretention, Atelektasen und Pneumonien führen [49]. Um die Schmerztherapie und damit die Atmung zu verbessern, wird häufig ein Regionalverfahren verwendet [7]. Es wird angenommen, dass eine adäquate Schmerztherapie der wichtigste Faktor zur Prävention von ineffektiver Belüftung und unzureichender Sekretmobilisation ist. Damit ist sie ein wichtiger Bestandteil eines multimodalen Konzeptes, für eine gute postoperative Lungenfunktion. Als allgemeiner ‚Goldstandard‘ zur Schmerztherapie bei thoraxchirurgischen Eingriffen, gilt der thorakale Periduralkatheter (PDK). Es konnte jedoch gezeigt werden, dass der Paravertebralkatheter (PVB) ebenfalls eine wirksame Alternative sein kann [7]. Obwohl die Paravertebralanalgesie häufig als Single Shot Technik verwendet wird, wurden auch viele kontinuierliche Verfahren untersucht [15]. Der Zweck dieser Studie ist es den thorakalen Periduralkatheter mit einem Paravertebralkatheter hinsichtlich Lungenfunktion bei thoraxchirurgischen Eingriffen zu vergleichen. Die Hämodynamik wurde als sekundäre Variable mitbetrachtet.

Von April 2010 bis Juli 2013, im Zeitraum von 40 Monaten, wurden am Universitätsklinikum des Saarlandes insgesamt 68 Patienten in diese Studie eingeschlossen. Die Daten von 5 Patienten wurden nachträglich wieder ausgeschlossen, so dass insgesamt 30 Patienten mit einem Periduralkatheter und 33 Patienten mit einem Paravertebralkatheter in die Auswertung einbezogen wurden. Beide Verfahren (PDK und PVB), wurden präoperativ vom Anästhesisten gelegt und die Randomisierung erfolgte per Losverfahren. Der thorakale PDK wurde mittels ‚loss of resistance‘ Technik gelegt und der Paravertebralkatheter sonographisch. Beide Katheter wurden mit einer Kombination aus Ropivacain 0,2% und Sufentanil 0,5 µg/ml bestückt. Die Laufrate betrug 8 ml/h über einen Perfusor. Anschließend erfolgte über einen Zeitraum von 60 Stunden postoperativ zwei Mal täglich (morgens und abends) eine Spirometrie, Monitoring der Atemfrequenz und die Erhebung der peripheren Sauerstoffsättigung. Weiterhin erfolgten zwei arterielle Blutgasanalysen postoperativ. Das Herz-Kreislauf Monitoring erfolgte ebenfalls für einen Zeitraum von 60 Stunden postoperativ.

Die Studie ergab keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der postoperativen Lungenfunktion zwischen den beiden Gruppen. In Bezug zum Sollwert ergaben sich weder für die FEV₁

(forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde), der FVC (forcierte Vitalkapazität) noch für den expiratorischen Spitzenfluss (PEF, peak expiratory flow) statistisch signifikante Unterschiede. Das gleiche Ergebnis zeigte auch die Blutgasanalyse, die Sauerstoffsättigung, die Atemfrequenz und die Hämodynamik.

Abschließend lässt sich sagen, dass der Peridural- und der Paravertebralkatheter hinsichtlich der postoperativen Lungenfunktion und der Herz-Kreislaufreaktion gleichwertig sind.

1.2 Abstract

Preventing pulmonary complications after thoracic surgery still has as a high clinical priority. Due to pain, reduced respiratory excursions, inadequate cough thrusts, and pain-related immobilization, secretion retention, atelectasis, and pneumonia can occur [49]. A regional anaesthesiological procedure is often used to improve pain management and thus respiration. [7]. It is believed that adequate pain management is the most important factor to prevent ineffective ventilation and inadequate secretion mobilization. Thus, it is an important component of a multimodal concept, for a good postoperative lung function. The general 'gold standard' for pain management in thoracic surgery is the thoracic epidural catheter. However, it has been shown that the paravertebral catheter can also be an effective alternative. [7]

Although paravertebral analgesia is commonly used as a single shot technique, many continuous procedures have also been studied [15]. The purpose of this study is to compare the thoracic epidural catheter with a paravertebral catheter in terms of pulmonary function after thoracic surgery. Hemodynamics was included as a secondary variable.

From April 2010 to July 2013, in a period of 40 months, a total of 68 patients were included in this study at Saarland University Hospital. The data of 5 patients were subsequently excluded again, so that a total of 30 patients with a peridural catheter and 33 patients with a paravertebral catheter were included in the evaluation. Both catheters were placed preoperatively by the anesthesiologist and randomization was by lottery procedure. The thoracic epidural catheter was placed using the loss of resistance technique and the paravertebral catheter was placed sonographically. Both catheters were loaded with a combination of ropivacaine 0.2% and sufentanil 0.5 µg/ml. The continuous rate was 8 ml/h applied by an infusion pump. Subsequently, spirometry, monitoring of respiratory rate and peripheral oxygen saturation were performed twice daily (morning and evening) over a period of 60 hours postoperatively. Furthermore, two arterial blood gas analyses were performed postoperatively. Cardiovascular monitoring was also monitored for a period of 60 hours postoperatively.

The study showed no significant differences in postoperative lung function between the two groups. In relation to the individual setpoint of each patient, there were no statistically significant differences for FEV₁ (forced expiratory volume in one second), FVC (forced vital capacity), or PEF (peak expiratory flow). The same results were shown for blood gas analysis, oxygen saturation, respiratory rate and hemodynamics.

In conclusion, the peridural and paravertebral catheters are equivalent in terms of postoperative pulmonary function and cardiovascular response.

2 Einleitung

2.1 Grundlagen der Atmung

Die Lunge ist unser Atmungsorgan. Sie ist ein paariges Organ und wiegt insgesamt ca. 1,3 kg. Die Lunge eines Erwachsenen ventilert täglich ca. 10.000-20.000L Luft, dabei passen ca. 6L Luft in die Lunge [72]. Sie liegt im Brustraum und wird geschützt durch unsere Rippen. Die Atemwege unterteilen sich in die oberen und unteren Atemwege. Die oberen Atemwege, bestehend aus den Nasenhöhlen und dem Rachen haben die Aufgabe die eingeatmete Luft zu erwärmen, anzufeuchten und von groben Schmutzpartikeln zu befreien. Der Kehlkopf bildet den Übergang zwischen oberen und unteren Atemwegen. Die unteren Atemwege, bestehend aus Trachea, rechter und linker Hauptbronchus und Bronchialbaum, leiten die Luft weiter, bis hin zu den Alveolen. Rechts finden sich drei Lungenlappen, links hingegen nur zwei. Von den Bronchen aus verästeln sich die Atemwege weiter, zunächst in die Segmentbronchen und dann in immer mehr kleinere Äste. Diese Teilungsschritte finden ca. 20-25-mal statt, bis hin zu den Bronchiolen. Die Bronchiolen verzweigen sich wiederum in die sog. Bronchioli respiratorii. Sie bilden den ersten Abschnitt des eigentlichen Lungengewebes. Die nächste und wichtigste Stufe sind die Lungenbläschen (Alveolen). Alveolen haben einen Durchmesser von ca. 250 μm . Zwischen ihnen und dem Kapillarnetz findet letztlich der Gasaustausch statt. Die über 300 Mio. Lungenbläschen bilden insgesamt eine Oberfläche von ca. 80- 140 m^2 [62]. Der Sauerstoff gelangt aus den Alveolen, die nur eine dünne und für O_2 und CO_2 durchlässige Wand haben, in die Kapillaren und damit in den Blutkreislauf. Diesen Vorgang bezeichnet man als Diffusion (siehe Abb.1).

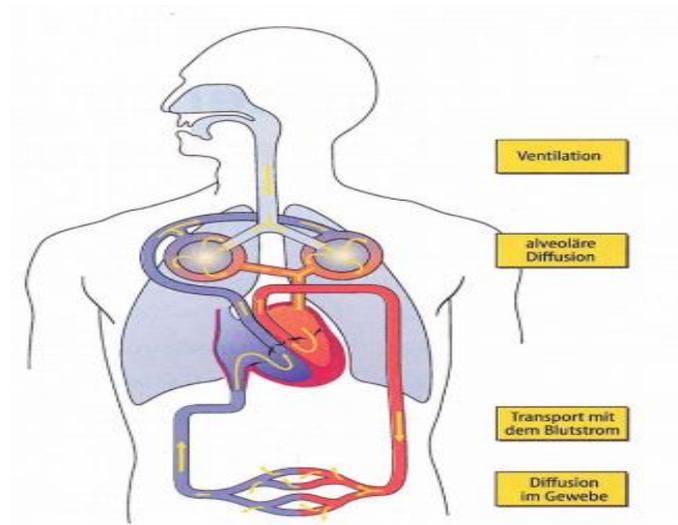


Abbildung 1 Übersicht über den Transportweg des Sauerstoffs [62]

Der verbrauchte Sauerstoff, welcher zu Kohlenstoffdioxid umgewandelt wird, verlässt das Blut ebenfalls über die Alveolarwand und wird dann abgeatmet. Abgesehen von der Atmung hat die Lunge allerdings auch noch weitere Aufgaben. Sie erfüllt metabolische Funktionen und puffert den Säure-Base Haushalt des Blutes, um einen ausgeglichenen pH-Wert im Blut zu erreichen. Bei der Atemmechanik spielt auch die Muskulatur eine wichtige Rolle, wobei die Lunge selbst keine Muskeln hat. Gerade beim Einatmen (als aktiver Vorgang) sind insbesondere das Zwerchfell und die interkostale Muskulatur maßgeblich beteiligt, während die Ausatmung ein passiver Vorgang ist. Dieser Vorgang der Ventilation wird durch den Druckgradienten zwischen Atmosphäre und Alveolen gesteuert [22].

Die nervale Regulation der Atmung erfolgt über das Atemzentrum. Dieses besteht aus einem Netzwerk von Neuronen, das sich in der rostralen ventro-lateralen Medulla oblongata befindet. Die Atmung hängt von rhythmischen Impulsen ab. Bei Unterbrechung der efferenten Verbindungen zu den beteiligten Muskeln oder erlangt das Zentrum selbst einen Schaden, ist der automatische Prozess unterbrochen. Die Innervation der Lunge ist sowohl sympathisch als auch parasympathisch. Eine Sympathikusaktivierung führt zu einer Bronchiokonstriktion und eine des Parasympathikus zu einer Bronchodilatation. Ziel ist die möglichst konstante Aufrechterhaltung des Sauerstoffpartialdruckes und des Kohlendioxidpartialdruckes trotz schwankendem Verbrauch und Produktion. Verschiedene zentrale und periphere Rezeptoren reagieren auf Veränderungen der Zusammensetzung der sie umgebenden Flüssigkeiten oder auf Dehnung. Entsprechend steigern bzw. hemmen sie die Atemtätigkeit [17].

2.2 Lungenfunktionsuntersuchung

Um die Ergebnisse der Studie besser zu verstehen, ist es sinnvoll, sich die verschiedenen Lungenvolumina, die durch eine Lungenfunktionsuntersuchung erfasst werden, noch einmal klar zu machen. Generell ist das Ziel einer Lungenfunktionsuntersuchung die Erfassung verschiedener Lungenvolumina, um eine Lungenerkrankung frühzeitig zu detektieren, oder den Verlauf einer bereits bestehenden Lungenerkrankung bzw. wie in diesem Fall, postoperativ nach Resektion eines bestimmten Abschnittes der Lunge, zu beobachten. Auch präoperativ zur Entscheidung, ob eine Resektion überhaupt möglich ist und inwieweit das anästhesiologische Management oder die postoperative Betreuung angepasst werden muss, wird die Lungenfunktionsuntersuchung herangezogen [45]. Es können dabei statische und dynamische Volumina gemessen werden. Statische Volumina sind zeitunabhängig und dynamische Volumina werden in Bezug zur Zeit ermittelt und lassen somit auf die Größenverhältnisse der Lunge schließen [23]. Es gibt verschiedene Methoden, wie dies durchgeführt werden kann. Zum

einen kann man eine Ruhespirometrie mithilfe eines Pneumotachographen oder aber die Ganzkörperplethysmographie durchführen. Die Ganzkörperplethysmographie ist das sensitivere Verfahren, wohingegen die Spirometrie auch als kleine Lungenfunktionsuntersuchung bezeichnet wird [23]. Während der Bodyplethysmographie sitzt der Patient in einer geschlossenen gläsernen Kammer, deren Volumen bekannt ist, wobei die einfache Spirometrie bei Raumluft durchgeführt wird. Ein wichtiges Ziel beider Untersuchungen ist es, zwischen einer restriktiven und obstruktiven Erkrankung der Lunge zu unterscheiden [6]. In dieser Studie wurden Werte anhand eines mobilen Spirometers (Schiller Medizintechnik GmbH) erhoben.

2.2.1 Lungenvolumina

Das Volumen, welches bei einem normalen Atemzyklus ein- und ausgeatmet wird, wird als Atemzugvolumen (AZV) oder Tidalvolumen (TV) bezeichnet. Anschließend wird der Patient bei einer Lungenfunktionsuntersuchung aufgefordert, maximal auszuatmen und darauffolgend maximal einzuatmen. Hierbei werden die Reservevolumina der Lunge bestimmt, die nach Ruheatmung noch zusätzlich maximal aus- und eingeatmet werden können. Diese Volumina werden auch als Expiratorisches Reservevolumen (ERV) bzw. als inspiratorisches Reservevolumen (IRV) bezeichnet. Das Volumen, welches am Ende einer maximalen Ausatmung in der Lunge verbleibt, wird als Residualvolumen bezeichnet (RV). Wenn man Volumina zusammenfasst, bezeichnet man sie als Kapazität. Eine der wichtigen Kapazitäten stellt die sogenannte Vitalkapazität (VC) oder inspiratorische Vitalkapazität (IVC) dar. Sie stellt die Gesamtmenge der Luft dar, die mit der Lunge geatmet werden kann. Sie ist eine Zusammensetzung aus dem Tidalvolumen (TV), sowie dem inspiratorischen (IRV) und expiratorischen (ERV) Reservevolumen ($IVC/VC = TV + IRV + ERV$). Eine weitere wichtige Kapazität stellt die Totale Lungkapazität dar (TLC). Sie bezeichnet die gesamte Luftmenge nach voller Inspiration ($TLC = RV + IVC$) (siehe Abb. 2) [59].

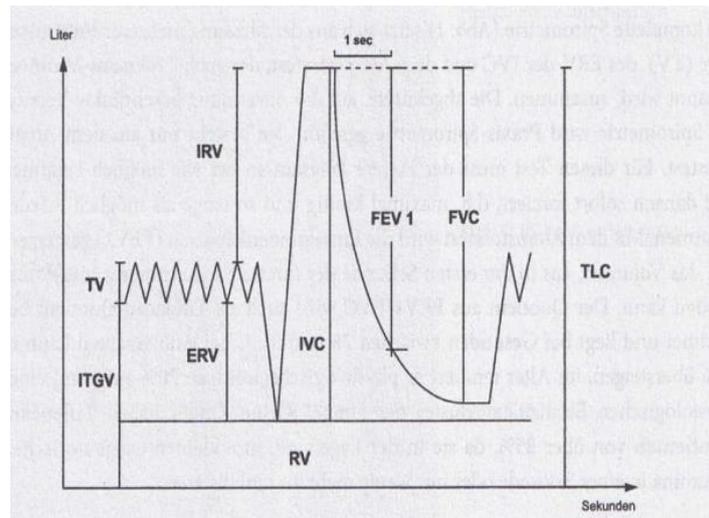


Abbildung 2 Spirometrie [59]

Nachdem nun auch das inspiratorische Reservevolumen mit der maximalen Einatmung ausgeschöpft wurde, wird der Patient gebeten, so schnell wie möglich wieder vollständig auszuatmen. Dieser letzte Teil ist eine Ausatmung unter Kraftanstrengung, eine forcierte Expiration. Die forcierte Vitalkapazität (FVC) wird als das Volumen bezeichnet, das nach vollständiger Inspiration unter maximaler Geschwindigkeit ausgeatmet werden kann. Im Gegensatz dazu, ist das forcierte expiratorische Volumen in einer Sekunde (FEV₁) per Definition das Atemvolumen, welches nach maximaler Inspiration forciert in der **ersten Sekunde** ausgeatmet werden kann.

Beurteilt wird vor allem das Verhältnis dieser beiden letzteren Parameter zueinander. Das Verhältnis FEV₁/FVC wird auch als Tiffenau-Index bezeichnet [6]. Der Anteil der FVC sollte beim gesunden Menschen zwischen 75-80% betragen. Ein erniedrigter oder erhöhter Tiffenau-Index kann für eine Pathologie sprechen. (siehe Abb. 3 und Abb. 4). Er wird unter anderem zur Klassifizierung der obstruktiven bzw. restriktiven Lungenerkrankungen herangezogen. Junge gesunde Erwachsene zeigen oft einen Wert > 85%, wobei der Wert im Alter physiologisch wieder bis auf 70% fallen kann [59].

Das Intrathorakale Gasvolumen (IGTV) spielt in dieser Studie eine untergeordnete Rolle. Es kann nur mittels der Bodyplethysmographie bestimmt werden. Es beschreibt das Volumen, welches nach einer Ruheausatmung in der Lunge verbleibt.

OBSTRUKTIVE VENTILATIONSSTÖRUNG		
Definition		
FEV ₁ / FVC < LLN		
Schweregrade		
I	leicht	FEV ₁ > 60% Soll
II	mittelschwer	FEV ₁ 40 – 60% Soll
III	schwer	FEV ₁ < 40 % Soll

Abbildung 3 Obstruktive Ventilationsstörung LLN= unterer Grenzwert, aus der Sk2 Leitlinie Spirometrie [6]

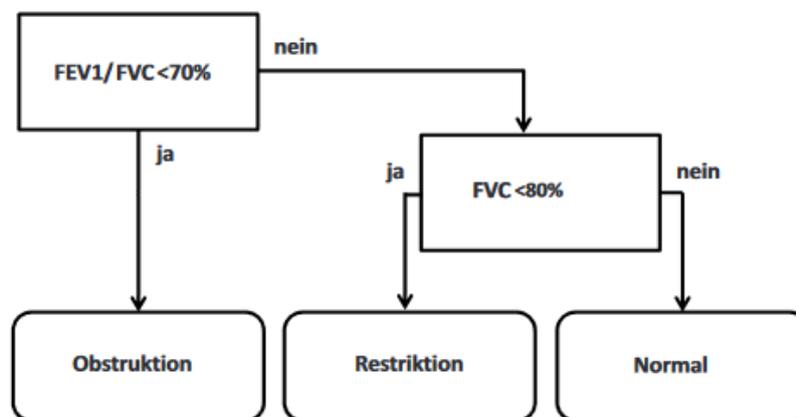


Abbildung 4 Flowchart Einteilung der Ventilationsstörungen [20]

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Spitzenfluss Messung, der Peak Expiratory Flow PEF (Abb. 4). Sie ist ein einfaches Maß, für die maximale Flussrate, die während einer kraftvollen Ausatmung erreicht werden kann. Nach diesem Wendepunkt nimmt die Flussrate kontinuierlich ab. Man bestimmt damit die maximale Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft, während der Patient ausatmet. Angegeben wird sie in Litern pro Sekunde. Der Peak Flow dient zum Beispiel dem Asthma Monitoring. Die Korrelation zwischen Luftstrom und Symptomen ist variabel, wobei einige Patienten die Veränderungen der Durchgängigkeit der Atemwege nur schlecht wahrnehmen, während andere schon die kleinsten Veränderungen registrieren. Im Wesentlichen ist der Peak Expiratory Flow von drei Faktoren abhängig: 1. die Kraft, die durch expiratorische Muskeln erzeugt wird, 2. die Geschwindigkeit mit dem der maximale Alveolardruck erreicht wird und 3. die Dimension der Extra- und Intrathorakalen Luftwege. Pathophysiologisch kommt die größte Beeinträchtigung durch eine Obstruktion der Atemwege oder Zustände, die die Ausdehnung der Brust einschränken [34]. Wenn Patienten, die an Asthma oder COPD leiden, mit einem Peak-Flow-Meter zu Hause arbeiten, ist ihre Referenz nicht ein

errechneter Wert, sondern der persönliche Bestwert. Dies ist zu begründen mit Veränderungen der PEF innerhalb eines Tages und den definierten Bereichen physiologischer Variabilität [52]. Dabei ist die Stärke der Ausatmung entscheidend und nicht die Dauer. Sie ist beim gesunden Erwachsenen abhängig vom Kaliber der zentralen Atemwege.

2.2.2 Praxisspirometrie

In dieser Studie wurde ein mobiles Spirometer (Schiller Medizintechnik GmbH) für die klinischen Untersuchungen der Patienten verwendet. In dieser sogenannten Praxis-Spirometrie wurde vor allem der Atemstoßtest, auch Tiffeneau-Manöver genannt, bewertet [59]. Wörtlich bedeutet die Spirometrie, die Messung der Atmung (spirare lat. Atmen). Durch sie werden die dynamischen Parameter bestimmt [59]. Sie wird im Sitzen und mit Verwendung einer Nasenklemme durchgeführt. Die Vorbereitung einer spirometrischen Messung beinhaltet zunächst die Kalibrierung des Spirometers nach Herstellerangabe. Nachfolgend wird ein frisches Wegwerf-Mundstück aufgesteckt und dem Patienten erklärt, dieses zwischen seine Zähne zu nehmen jedoch nicht draufzubeißen. In diesem Mundstück wird die Strömung der Atmung gemessen. Dabei sind zwei Größen relevant: das Atemvolumen und der Atemfluss.

Weiterhin gibt es zwei wichtige und gängige Messprinzipien. Die eine Möglichkeit ist eine Turbine im Mundstück zu verwenden, durch deren Drehzahl auf das geatmete Volumen rückgeschlossen werden kann. Die andere Möglichkeit ist, über einen Widerstand im Mundstück die Druckänderung zu messen. Die Spirometrie gilt als einfache, kostengünstige und schnelle, nicht invasive Methode zur Messung von Lungenvolumina und Atemstromstärken. Insbesondere bei obstruktiven Ventilationsstörungen und zur Objektivierung bzw. zur Aussage der therapeutischen Beeinflussbarkeit kommt sie häufig zum Einsatz [6]. Die Werte, die in einer Spirometrie bestimmt werden, können sich zwei Gruppe zuordnen lassen. Es handelt sich entweder um ein Atemvolumen, wie zum Beispiel die Vitalkapazität oder um einen Atemfluss, wie zum Beispiel dem Spitzenfluss.

Im Rahmen einer Spirometrie wird der Patient gebeten, verschiedene Atemmanöver durchzuführen, wobei die geatmeten Volumina graphisch als Kurve dargestellt werden können. Dies erfolgt entweder in einer Volumen-Zeit-Kurve oder mittels direkter Flussmessung in einer Fluss-Volumen-Kurve. (Abb. 5 und 6) [59].

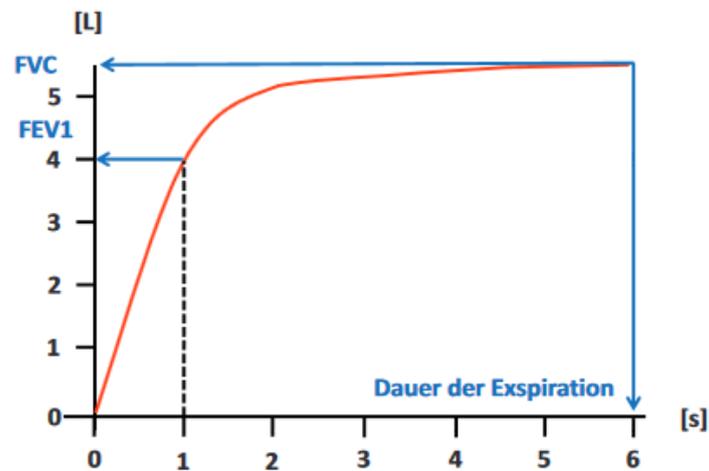


Abbildung 5 Idealdarstellung einer Volumen-Zeit Kurve [20]

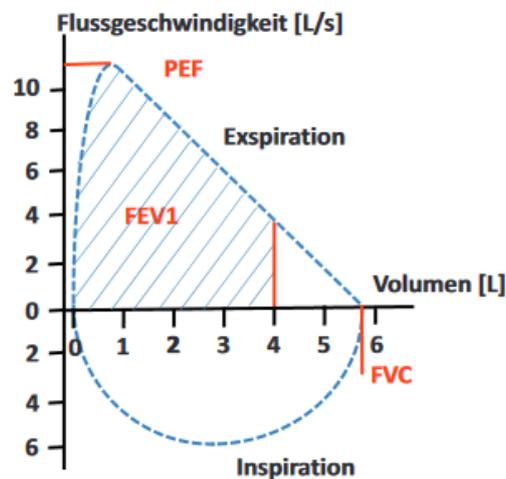


Abbildung 6 Idealdarstellung einer Fluss-Volumen Kurve [20]

Am Ende der Untersuchung müssen mindestens 3 vergleichbare und qualitativ akzeptable Kurven vorliegen [6].

Die Grenze der Spirometrie ist, dass nicht das gesamte Lungenvolumen ermittelt werden kann. Mit Ausnahme der obstruktiven Ventilationsstörung können alle weiteren Störungen nur eingeschränkt oder gar nicht beurteilt werden. Reversibilitätsprüfung und Mischformen oder Lokalisation setzen eine Bodyplethysmographie voraus [69].

2.3 Arterielle Blutgasanalyse

Um die 1960er Jahre hat sich die Blutgasanalyse zu einem unverzichtbaren Teil der klinischen Diagnostik entwickelt [37] [38]. Die arterielle Blutgasanalyse ist eine schnelle, verlässliche und wichtige Messung zur Bestimmung der Blutgase, wie zum Beispiel des Sauerstoffpartialdruckes oder des Kohlendioxidpartialdruckes. Sie ist als ‚Point of Care Diagnostik‘ in den meisten Notaufnahmen, während einer Operation und auf einer Intensivstation verfügbar. Die Messung dauert in der Regel wenige Minuten und die Ergebnisse erlauben Rückschlüsse auf die grundlegenden metabolischen und respiratorischen Verhältnisse des Patienten. Die arterielle Blutgasanalyse gibt nicht nur Auskunft über den Säure-Base Haushalt und über die respiratorische Situation des Patienten, sondern oftmals (je nach Hersteller) sind des Weiteren Elektrolyte, Hämoglobin Werte, Basenüberschuss und das Laktat abzulesen. Sie wird mit wenigen Millilitern arteriellem Blut gemessen. Es kann aber auch venöses (zentralvenöses aus einem zentralen Venenkatheter), arterialisiertes Kapillarblut (bei Neugeborenen und Kleinkindern) oder gemischt venöses Blut aus der A. pulmonalis verwendet werden. Ziele einer arteriellen Blutgasanalyse sind im Notfall die Früherkennung von kardiovaskulären und respiratorischen Erkrankungen oder Verlaufskontrollen chronischer pulmonaler Erkrankungen. Häufige Gründe, weshalb man eine arterielle Blutgasanalyse benötigt, sind zum Beispiel die Überwachung einer Beatmungs- und NIV (non-invasive-ventilation) - Therapie, die Differentialdiagnostik bei Vigilanzminderung im Sinne einer Hyperkapnie, die Bestimmung bzw. das Monitoring des pH-Wertes oder Verlaufsbeurteilung einer akuten Blutung.

2.3.1 Der pH-Wert

Es gehören verschiedene Komponenten zu einer arteriellen Blutgasanalyse. Zunächst ist der pH-Wert von zentraler Bedeutung, heißt wie ‚sauer‘ oder ‚basisch‘ ist das Blut. Er sagt aus, wie viele Wasserstoff-Ionen im Blut sind. Der Normalwert liegt je nach Literatur und auswertendem Labor zwischen 7,36 und 7,44 [67]. Je nach Pathologie kann es bei Patienten zu einer Azidose bei einem pH-Wert $<7,36$ oder einer Alkalose bei einem pH-Wert $>7,44$ kommen, die entweder der pulmonalen bzw. der metabolischen Komponente zuzuordnen sind. Entsprechend gibt es die metabolische Azidose, die metabolische Alkalose, die respiratorische Azidose und die respiratorische Alkalose. Daraus können Rückschlüsse auf die zugrunde liegende Erkrankung gezogen werden. Die Regulation vieler Vorgänge im Körper ist vom pH-Wert abhängig. Bei einer Abweichung drohen beispielsweise Probleme mit dem Blutzucker

oder der Gerinnung. Eine Azidose steigert die Glukose im Blut, eine Alkalose senkt sie. Außerdem sinken der Blutdruck und der Cardiac Output bei einer zu starken Abweichung. Im Gegenzug steigt der Hirndruck bei einer Azidose und Kreislaufmedikamente verlieren ihre Wirkung im sauren Milieu [67]. Daraus ist zu schließen, dass der pH-Wert eine zentrale Rolle in unserem Körper spielt.

2.3.2 Der Sauerstoffpartialdruck

Der nächste Wert, den es sich insbesondere bezüglich der Fragestellung dieser Studie lohnt, genauer zu betrachten ist der Sauerstoffpartialdruck pO_2 . Aus ihm kann man schließen, wie gut die Sauerstoffaufnahme des Hämoglobins im Körper funktioniert. Er wird in der Einheit Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) oder in kPa (Kilopascal) angegeben. Der Normalwert ist altersabhängig und liegt bei 70-100 mmHg. Bei einem Neugeborenen beträgt er 60-80 mmHg (ca. 8-10,7 kPa) und bei einem jungen Erwachsenen knapp unter 100 (ca. 12,8 kPa). Er nimmt mit zunehmendem Lebensalter allerdings wieder ab [67]. Funktionsstörungen der Lunge können gut an diesem Wert erkannt werden. Bei Werten unter 70 mmHg Sauerstoffpartialdruck fällt die Sauerstoffsättigung im Blut rapide ab und die Organe wären unterversorgt. Man spricht dann von einer Hypoxie [67].

2.3.3 Die Sauerstoffsättigung

Die Sauerstoffsättigung ist ein weiterer wichtiger Wert, der bei einer arteriellen Blutgasanalyse gemessen wird und in Prozent angegeben wird. Es ist der Prozentsatz des Hämoglobins, der mit Sauerstoff beladen ist. Normalwerte liegen zwischen 90-98 %. Aufgrund des Auftretens eines physiologischen Shunts, kann die arterielle Sättigung nie 100% erreichen. Für eine zentral oder gemischt venöse Sättigung liegt der Wert bei ca. 75 % [67]. Sobald Abweichungen nach unten detektiert werden, liegt eine Störung der Aufnahme von Sauerstoff vor und man spricht von einer Hypoxigenation.

2.3.4 Der Kohlenstoffdioxidpartialdruck

Weiterhin entscheidend für die respiratorische Funktion ist der Kohlenstoffdioxidpartialdruck. Auch dieser wird in der Einheit Millimeter Quecksilbersäule angegeben. Dabei liegen ca. 10-15% gasförmig vor und werden gemessen. Normalwerte in der arteriellen Blutgasanalyse sind 32-45 mmHg bei Frauen und 35-48 mmHg bei Männern. Kohlenstoffdioxid ist sauer, was bedeutet, dass zu viel davon zu einer respiratorischen Azidose führt und somit wichtige Stoffwechselprozesse verhindert werden können. Werte > 60 mmHg und < 25 mmHg können oftmals eine Lebensgefahr darstellen. Eine Hyperkapnie spricht oft für ein Versagen der Atempumpe bzw. einem Ventilationsversagen, während eine Hypoxie meist ein Versagen des Gasaustausches widerspiegelt. Auch Mischformen sind selbstverständlich möglich [32].

2.4 Analgesie durch rückenmarksnahe Verfahren in der Thoraxchirurgie

Analgesie in der Thoraxchirurgie ist grundsätzlich auf viele verschiedene Arten möglich. Je nach Ausmaß und Gewebeschaden bei einem thoraxchirurgischen Eingriff können leichte bis maximale Schmerzen von den Patienten empfunden werden. In einigen Fällen reicht die Medikation eines Nicht-Opioid Analgetikums aus, während es in anderen notwendig ist ein regionales Anästhesieverfahren mit einer systemischen Therapie zu kombinieren. Entsprechend ist es wichtig, den Eingriff einzuordnen und ihn mit einem Schmerzschema zu versehen. Durch Affektion der Pleura, der Kostovertebralgelenke oder der Muskulatur werden intensive Schmerzzustände empfunden [74]. Diese können durch Atmen und Husten verstärkt werden. Wenn die Schmerztherapie unzureichend ist, ist die Gefahr von pulmonalen Komplikationen ebenfalls erhöht. Es wurde gezeigt, dass Patienten mit einem Periduralkatheter ein reduziertes Risiko für eine Arrhythmie, ein geringeres Risiko für postoperativen Ileus sowie ein geringeres Risiko von pulmonalen Komplikationen haben [50]. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die peridurale Analgesie im thorakalen Bereich zu einer leichten, aber signifikanten Verbesserung der Lungenfunktion führt, höchstwahrscheinlich aufgrund einer besseren postoperativen Analgesie [66].

Auch der Paravertebralkatheter weist ähnliche Ergebnisse auf. Die ultraschallgesteuerte Paravertebralblockade verbessert die arterielle Sauerstofffunktion und beschleunigt die

Wiederherstellung der Lungenfunktion bei Patienten mit gebrochenen Rippen nach einer Operation [18].

Zusammengefasst lohnt es sich bei sehr schmerzhaften thoraxchirurgischen Eingriffen ein rückenmarksnahes Regionalverfahren anzuwenden. In den folgenden Abschnitten werden beide Katheterverfahren detailliert erläutert.

2.4.1 Thorakaler Periduralkatheter

Unter Periduralanästhesie versteht man das Einbringen eines Lokalanästhetikums (gegebenfalls in Kombination mit einem Opiat) in den Periduralraum. Oft wird auch von Epiduralraum und Epiduralanästhesie gesprochen. Dadurch werden ausgewählte Spinalnerven blockiert und es erfolgt eine vorübergehende Unterbrechung der neuralen Erregungsleitung. Eine selektive Blockade, vor allem der Schmerzempfindung bei erhaltener Motorik, ist das Ziel. Sie kann lumbal bis hochthorakal durchgeführt werden [67]. In dieser Studie handelt es sich um thorakale Eingriffe, sodass vornehmlich TH 4/5, TH5/6 oder TH 6/7 als Punktionsort gewählt wurde. Der thorakale Periduralkatheter wird in der Thoraxchirurgie insbesondere bei Thorakotomien allgemein als „Goldstandard“ für die Schmerztherapie angesehen, da die Thorakotomie zu starken postoperativen Schmerzen und einer Beeinträchtigung der Lungenfunktion führt [25]. Bei thorakoabdominellen Operationen ist der Periduralkatheter im Vergleich zur einer ausschließlich intravenösen opiatbasierten Therapie mit einer besseren Lungenfunktion assoziiert [50].

Der Periduralraum schwankt in seiner Ausdehnung. Hochthorakal liegt er bei etwa 3 mm und nimmt nach kaudal bis zu 5-6 mm zu, was eine thorakale Punktion zu einer größeren Herausforderung macht. Er liegt zwischen Dura mater und den Knochen des Spinalkanals. Er enthält die Nervenwurzeln der Spinalnerven, zartes Fett- und Bindegewebe, Venengeflechte und Lymphgefäße. Seitlich angrenzend ist der Paravertebralraum, der durch die Foramina intervertebralia mit dem Periduralraum verbunden ist. Vorne wird er begrenzt durch das Ligamentum longitudinale und hinten durch das Ligamentum flavum. Die anatomischen Strukturen, die mit der Nadel durchdrungen werden, sind von großer Bedeutung und ihre Kenntnis ist wichtig, um eine korrekte Lage des Periduralkatheters zu erreichen. Die Punktion kann median, aber auch paramedian erfolgen (siehe Abb. 7). Zunächst erfolgt die Punktion der Haut und dem subkutanen Fettgewebe. Die nächste anatomische Struktur ist das Ligamentum supraspinale, welches von Dornfortsatzspitze zu Dornfortsatzspitze zieht. Folgend wird das Ligamentum interspinale penetriert, welches sich zwischen den Dornfortsätzen befindet. Das nächste Ligament ist eine wichtige Orientierungshilfe, das Ligamentum flavum. Auf Höhe TH 7-12 ist dieses

Band ca. 0,6-1 mm dick. Es stellt eine derbe Struktur dar, die elastisch dabei aber sehr fest ist. Unmittelbar nach dem Ligamentum flavum folgt der Periduralraum [24].

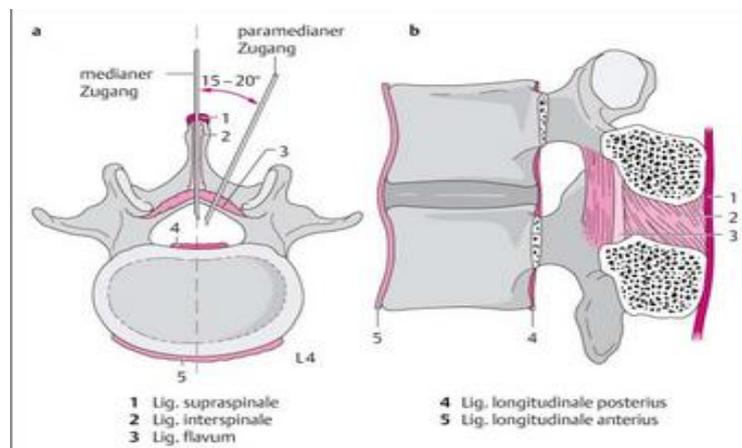


Abbildung 7 Schichten, die mit einer Rückenmarksnahen Anästhesie durchdrungen werden. [30]

Zur Durchführung existieren in verschiedenen Kliniken meist eine sogenannte SOP (Standard Operating Procedure). Zunächst wird die voraussichtliche Punktionsstelle markiert. Zur groben Orientierung dienen folgende Strukturen. Ein besonders prominenter Dornfortsatz im Nacken ist meist der 7. Halswirbelkörper. Der untere Rand der Schulterblätter befindet sich auf Höhe des 7. Brustwirbelkörpers und das tastbare Ende der 12. Rippe kann dem 12. Brustwirbelkörper zugeordnet werden.

Die Punktion erfolgt nach mehrfacher großflächiger Desinfektion und ausreichender Lokalanästhesie der Haut und der darunter liegenden Bandstrukturen. Da die Dornfortsätze im thorakalen Bereich sehr steil verlaufen, muss die Stichrichtung ebenfalls steil (40-45° nach kranial) ausgerichtet sein. (Abb.8)

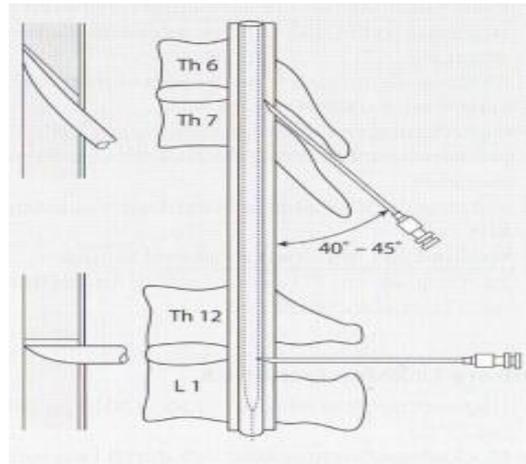


Abbildung 8 Vergleich Einstichwinkel thorakal und lumbal [24]

Die thorakale Punktion sollte möglichst im Sitzen durchgeführt werden. Bei zu tiefer Punktion droht die direkte Rückenmarksverletzung. Die korrekte Identifizierung des Periduralraums erfolgte in dieser Studie über die Methode des plötzlichen Widerstandsverlustes (loss of resistance). Dabei wird die Periduralnadel ca. 2 cm zwischen den Dornfortsätzen mit nach kranial gerichtetem Schliff eingeführt. Der Mandrin wird entfernt und eine spezielle Spritze mit Kochsalzlösung wird aufgesetzt. Es folgt die feste Abstützung des linken Handrückens am Rücken des Patienten und unter kontinuierlichem Stempeldruck wird die Periduralkanüle weiter vorgeschoben. Im Idealfall folgt bei ca. 4-6 cm Tiefe der plötzliche Widerstandsverlust. Durch ein schwächer ausgebildetes Ligamentum flavum ist der Widerstandsverlust im thorakalen Bereich deutlich geringer als im lumbalen Bereich. Am sitzenden Patienten herrscht im thorakalen Bereich ein Unterdruck (subatmosphärischer Druck), solange der Patient nicht presst oder hustet. Die Kochsalzlösung lässt sich nun leicht in den Periduralraum injizieren und dehnt ihn damit auf. Es folgt nun das Einführen des Periduralkatheters. Die Katheterspitze sollte ca. 3-5 cm im Periduralraum liegen. Nun wird die Periduralkanüle zurückgezogen und ein Partikelfilter wird aufgesetzt. Es erfolgt die Aspiration auf Blut und Liquor. Ist diese negativ, erfolgt anschließend die Fixierung des Katheters. Die Verweildauer des Katheters kann mehrere Tage oder sogar Wochen betragen. Weitere Techniken sind zum einen die Tropfinfusionstechnik oder die Ballon-Technik nach Macintosh. Es konnte gezeigt werden, dass in Bezug auf die Anzahl der Versuche, die Qualität des Blocks und die Komplikationen alle Techniken vergleichbar waren [63, 67].

Abhängig von Injektionsort und Alter des Patienten sind unterschiedliche Lokalanästhetikamengen nötig. Die Ausbreitung hängt maßgeblich vom Volumen ab. Je größer das Volumen, desto weiter steigt das Lokalanästhetikum nach kranial. Für die oberen thorakalen Segmente

sind ca. 50 % weniger Lokalanästhetikum nötig als zum Beispiel für die lumbalen. Die Zielstrukturen sind die Wurzeln der Spinalnerven, die von Pia mater und Dura mater umgeben sind. Das Lokalanästhetikum muss vom Periduralraum durch diese Strukturen diffundieren, daher braucht es bis zur vollständigen Wirkung eine gewisse Zeit. Weiterhin kann man die Wirkung durch unterschiedlich hohe Dosen steuern. Im Rahmen der postoperativen Schmerztherapie wird ein Differenzialblock angestrebt, welcher sich dadurch auszeichnet, dass nur die dünnen Nervenfasern (A δ , B- und C-Fasern) ausgeschaltet werden. Die dicken motorischen Fasern, die für Motorik und Druckempfinden verantwortlich sind, sind dabei weitestgehend intakt. Dafür eignen sich niedrigprozentige Lokalanästhetika.

Einige absolute Kontraindikationen für einen Periduralkatheter sind zum Beispiel die Ablehnung durch den Patienten, Hämostasestörungen, Allergien gegen verwendete Lokalanästhetika, generalisierte Sepsis oder Infektionen im Punktionsbereich sowie ein erhöhter intrakranieller Druck [67].

Natürlich kann es bei einem Periduralkatheter auch zu Komplikationen kommen. Zunächst liegt die Versagerquote der thorakalen Periduralanästhesie bei ca. 7 %. [51] Durch das Lokalanästhetikum kommt es in der Regel zu einem mäßigen Blutdruckabfall durch die einsetzende Sympathikolyse. Durch Vasodilatation fällt der Blutdruck und es kommt zu einem venösen Pooling mit begleitender Bradykardie und einem verminderten Preload. Insbesondere in den oberen thorakalen Bereichen TH 1-4 kann es durch die Blockade der Nn. Accelerantes zu einer totalen Sympathikusblockade kommen. Diese stellt eine lebensbedrohliche Situation dar und muss sofort durch stabilisierende Maßnahmen therapiert werden. Bei hypovolämischen Patienten ist der Blutdruckabfall deutlich ausgeprägter, daher wird in der Regel die Cohydratation (Volumengabe während der Anlage des Periduralkatheters) empfohlen. Weiterhin ist die Gabe eines Vasokonstriktors z.B. Akrinor möglich [67].

Im Falle einer intrathekalen Injektion kann es zu einer hohen Spinalanästhesie kommen, die durch eine zentrale Atemlähmung, zumeist eine Beatmung unter Sedierung nötig macht. Auch durch den Zusatz eines Opiates kann eine Atemdepression hervorgerufen werden, auch wenn die Lösung korrekt in den Periduralraum appliziert wurde. Man unterscheidet eine frühe Atemdepression, die ca. 30-60 Minuten nach Injektion auftritt, von einer späten, die bis zu 24h nach periduraler Injektion auftreten kann. Die Ursache liegt in einer Dämpfung des Atemzentrums. Entsprechend muss postoperativ, sollte ein Schmerzkatheter mit Opiatzusatz zum Einsatz kommen, ein adäquates Atemmonitoring gewährleistet sein [67].

Wenn das Lokalanästhetikum unbemerkt intravasal appliziert wird, kann es zu schweren zerebralen Krampfanfällen und kardiozirkulatorischen Komplikationen bis hin zum Herzstillstand kommen. Daher ist eine Aspiration zum Ausschluss einer intravasalen Lage vor Applikation des Lokalanästhetikums obligat.

Traumatisch bedingte Komplikationen sind zumeist bedingt durch akzidentelle Duraferporation. Ihre Inzidenz wird im oberen thorakalen Bereich mit 0,4% angegeben, jedoch wurden bleibende neurologische Defizite nicht beobachtet [19]. Studien zeigen, dass in ca. 88% aus einer Duraperforation der postpunktionelle Kopfschmerz resultiert [64].

Neurologische Defizite können darauf hindeuten, dass sich ein peridurales Hämatom gebildet hat und dadurch eine Rückenmarks- oder Nervenverletzung entstanden ist. Die Inzidenz liegt bei 1:168.000 [60]. Im Extremfall kann dies zu einer Querschnittssymptomatik führen. Um die Inzidenz von epiduralen und spinalen Blutungen zu vermeiden, muss vor Anlage eines Periduralkatheters eine ausführliche Blutungsanamnese erfolgen und im Fall von Blutungsneigung eine laborchemische Gerinnungsüberprüfung veranlasst werden.

Weiterhin besteht die Gefahr der Abszessbildung und Infektion, deren Inzidenz bei 1:145.000 liegt [60]. Infektiöse Komplikationen können zu Meningitis und Enzephalitis führen bzw. einen Abszess bilden. Dies resultiert meist aus nicht aseptischem Vorgehen. Ihre Inzidenz wird bei 2,5 pro 100.000 (= 0,0025%) angegeben. Als Erreger sind hier vor allem koagulase negative Staphylokokken zu nennen [41].

Zusammenfassend kann durch den thorakalen Periduralkatheter eine hervorragende Analgesie erreicht werden, jedoch muss im Hinblick auf die vielen möglichen Komplikationen und unerwünschten Nebenwirkungen immer eine sorgfältige Nutzen-Risiko-Abwägung erfolgen und eine ausreichende Überwachung des Patienten gewährleistet sein.

2.4.2 Thorakaler Paravertebralkatheter

Der thorakale paravertebrale Block ist die Technik der Injektion eines Lokalanästhetikums neben den Brustwirbeln an der Stelle, an der die Spinalnerven aus dem Foramen intervertebrale austreten. Dies führt zu einer segmentalen, einseitigen, somatischen und sympathischen Nervenblockade, die während einer Allgemeinanästhesie und zur Behandlung von akuten und chronischen Schmerzen einseitigen Ursprungs wirksam sein kann [8].

Das Blockieren der Nerven im Paravertebralraum zur postoperativen Schmerzkontrolle wurde vor mehr als einem Jahrhundert eingeführt [5]. Obwohl der paravertebrale Block in den frühen 1900er Jahren ziemlich beliebt war, schien er in der späteren Hälfte des Jahrhunderts in Ungnade gefallen zu sein; der Grund dafür ist nicht bekannt. Aktuell entwickelt er sich derzeit zu einem immer beliebteren Verfahren. Im Vergleich zum Periduralkatheter bezüglich der Schmerzkontrolle nach Thorakotomien bietet die paravertebrale Analgesie eine vergleichbare analgetische Wirksamkeit, jedoch weniger Nebenwirkungen [74]. In Bezug auf die gleichzeitige

Anwendung von Antikoagulanzen und Thrombozytenaggregationshemmern wird die paravertebrale Blockade als zentrale Nervenblockade angesehen. Es besteht sowohl die Möglichkeit einer kontinuierlichen postoperativen Infusion als auch die Verwendung der Single-Shot Technik. Die einfache Handhabung und geringe Komplikationsrate, machen das Verfahren sehr attraktiv [5]. Die aktuelle Studienlage zeigt, dass es beim Vergleich eines Periduralkatheters und eines Paravertebralkatheters keinen Unterschied in der Häufigkeit der Einnahme von zusätzlichen Analgetika gibt. Inzidenzen von Übelkeit, Erbrechen und Juckreiz sowie die Gesamtzufriedenheit sind bei beiden Verfahren ähnlich [48]. In unserer Studie wurde der Paravertebralraum mit einer Ultraschallsonde aufgesucht und der Katheter unter visueller Kontrolle eingeführt. Die Ultraschallgestützte Methode, erreicht eine ähnliche Schmerzlinderung und senkt die Inzidenz von Hypotonien im Vergleich zum Periduralkatheter [46]. Eine Metaanalyse zeigt, dass es zusammenfassend keinen Unterschied in der Analgesie mit Paravertebral Kathetern im Vergleich zu Periduralkathetern gibt. Der Einsatz eines Paravertebralkatheters ist mit einer Verbesserung der Lungenfunktion und Verringerung von Komplikationen verbunden. Jedoch muss beachtet werden, dass die Insertionsmethoden für den Paravertebralkatheter in den ausgewerteten Studien dieser Metaanalyse unterschiedlich waren. In den einbezogenen Studien wurde der Katheter überwiegend intraoperativ unter direkter Sicht gelegt [7].

Die Sympathikusblockade, die bei der Paravertebralblockade nur auf einer Seite auftritt hat den Vorteil, dass damit die Komplikationen, wie zum Beispiel Abfall des Blutdrucks ebenfalls geringer ausgeprägt sind [39].

Zur sicheren ultraschallkontrollierten Durchführung ist es sinnvoll, sich den Paravertebralraum und die umliegenden Strukturen nochmals vor Augen zu führen.

Dorsal wird der Paravertebralraum vom Ligamentum Costotransversum begrenzt. Ventral findet sich die Pleura parietalis. Kranial und kaudal befinden sich der Rippenhals und das Rippenköpfchen (Collum und Caput costae) und medial die laterale Kante des Wirbelkörpers. Nach lateral bildet sich der Übergang in den Interkostalspalt. Der Paravertebralraum ist ein keilförmiges Kompartiment, der mit Fettgewebe und Bindegewebe locker ausgefüllt ist. Er wird von den dorsalen und ventralen Ästen der Spinalnerven, den kommunizierenden Ästen, den Interkostalnerven und Blutgefäßen, dem Ductus thoracicus und dem Truncus sympathicus durchquert. (Abb.9) [4, 26].

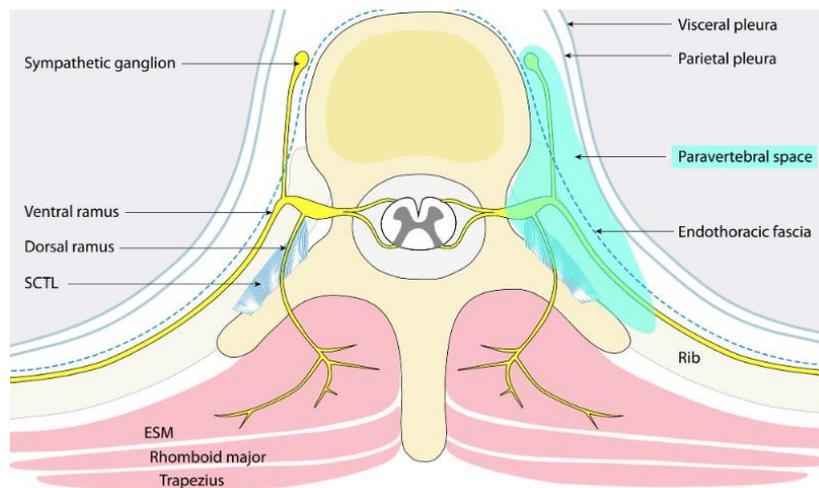


Abbildung 9 Querschnitt eines Brustwirbels mit anatomischen Strukturen, die wichtig für die Paravertebralblockade sind [47]

Wenn der Spinalnerv aus dem Foramen intervertebrale austritt, hat er keine Faszienhülle mehr und teilt sich in kleinere Nervenwurzeln auf. Dadurch kann er leicht von einem Lokalanästhetikum durchdrungen werden und die Wirkung kann sich besser entfalten. Der Wirkmechanismus der paravertebralen Analgesie besteht in der direkten Penetration des Lokalanästhetikums in den Nerv, einschließlich seines Ramus dorsalis, der Rami communicantes und des Truncus sympathicus. Eine Diffusion des Arzmittels über weitere Gewebeebenen ist also nicht mehr nötig [55]. Auch dies scheint ein Vorteil der einseitigen Paravertebralblockade zu sein.

Die erforderliche Dosis des Lokalanästhetikums erfordert eine Betrachtung der Anzahl der Dermatome, die blockiert werden sollen. Es wurde noch keine zuverlässige Formel entwickelt, aber bei Erwachsenen kann davon ausgegangen werden, dass sich ein Volumen von 15 ml über mindestens 3 Dermatome verteilt und diese blockiert [55].

Indikationen für einen Paravertebralblock bzw. für einen Paravertebralkatheter sind meist einseitige chirurgische Eingriffe in Brust und Bauch, auch bei Thorakotomien und Rippenfrakturen.

Angesichts der zunehmenden Relevanz des Ultraschalls für Blockaden von Nerven wurde auch in dieser Studie die sonographische Darstellung des Paravertebralraums und den umgebenden Strukturen erfolgreich durchgeführt [44]. Die Leitstrukturen sind zum einen die Rippen, die Pleura und die Processus transversi. Weiterhin zählen das Ligamentum costotransversi, der M. intercostalis externus, die interne Interkostalmembran und die endothorakale Faszie dazu [31].

Der Patient befindet sich bevorzugt in sitzender Position, da die Anatomie besser einzuschätzen ist. Auch die Punktion in Seitenlage ist möglich, wobei dabei die zu punktierende Seite oben liegen sollte. (Abb.10) Als Ultraschallsonde wird meist ein Linearschallkopf (7,5-18 MHz mit einer Eindringtiefe von 2-7 cm) verwendet (HFLx50 Sonosite, Fujifilm Sonosite GmbH, Frankfurt, Germany).



Abbildung 10 Linksseitige Paravertebralblockade in Seitenlage [4]

Unter sonographischer Kontrolle wird die Punktion in Inline Technik von kaudal nach kranial durchgeführt. Der Schallkopf wird in sagittaler Richtung und 2-3 cm auf der zu operierenden Seite aufgesetzt. Der Stichwinkel sollte 70-80° betragen. (Abb.10) Im Ultraschallbild sollten die 2 Querfortsätze und die Lungengrenze gut zu sehen sein. Nach anterior kann man den Processus transversus gut als hyperechogene (weiße) Struktur darstellen. In der Tiefe sollte man ebenfalls als helle Struktur die Lungengrenze erkennen. Die physiologische Atembewegung wird hier durch Verschiebung der beiden Pleurablätter aneinander sichtbar. Oberhalb dieser Lungengrenze befindet sich das Ligamentum costotransversarium und unsere Zielstruktur, der Paravertebralraum befindet sich direkt darunter. (Abb.11)



Abbildung 11 Ultraschall Paravertebralblockade, 1 paraspinale Muskulatur, 2 Proc.transversus, 3 Lig. Costovertebrarium, 4 Lig costovertebrarium sup., 5 Pleura [4]

Nachdem die Tuohy Kanüle nun vorgeschoben und der Aspirationsversuch negativ auf Blut oder Liquor war, werden ca. 2 ml Kochsalzlösung injiziert, um die Pleura ‚bogig‘ nach anterior zu verdrängen. Bei korrekter Position der Nadelspitze kann nun der Schmerzkatheter vorgeschoben werden. Es wird empfohlen den Katheter nicht mehr als 3-4 cm über die Nadelspitze hinaus in den Paravertebralraum zu legen, damit das Risiko einer Fehlposition minimiert wird. Als Erfolgskontrolle kann nun unter Sicht die Applikation des Lokalanästhetikums erfolgen. Es sollte nun die Ausbreitung der Flüssigkeit in die Segmente kranial und kaudal in unmittelbarer Nachbarschaft zu sehen sein [4].

An Komplikationen ist zum einen der Pneumothorax mit 0,2 %, weiterhin das Horner Syndrom oder die intrapleurale Lage des Katheters mit ca. 1 % zu nennen. Die epidurale oder intrathekale Lage des Katheters wird ebenfalls mit ca. 1 % angegeben und die totale Spinalanästhesie wird in wenigen Fallberichten beschrieben [4]. Die ähnlichen Komplikationen wie beim Periduralkatheter ergeben sich aus der anatomischen Nähe beider Kompartimente zueinander. Über die generellen Risiken der Punktion wie Infektionen, Duraperforationen, daraus resultierender postpunktioneller Kopfschmerz und neurologische Schäden muss der Patient auch bei diesem Verfahren ausführlich aufgeklärt werden.

2.5 Die Medikamente der Studie

Den Hauptbestandteil der Medikamente, die peridural/paravertebral verwendet werden, nehmen Lokalanästhetika ein. Wenn eine postoperative Schmerztherapie mit einem rückenmarksnahen Schmerzkatheter durchgeführt wird, kombiniert man das niedrig prozentige Lokalanästhetikum meist mit einem Opiat, um einen besseren und länger anhaltenden analgetischen Effekt zu haben. Diese Kombination ist der Applikation von Einzelsubstanzen überlegen [43]. Opiode zeigen einen synergistischen Effekt, sodass zumeist die Dosis des Lokalanästhetikums reduziert werden kann und damit die motorische Blockade weniger ausgeprägt ist [67]. Der Wirkort der Opiode sind die Opiodrezeptoren des Hinterhirns des Rückenmarks, der ersten Schaltstelle der sensorischen Afferenzen. Dort wird die Weiterleitung von Schmerzimpulsen damit unterdrückt [1].

In dieser Studie entschied man sich für das Lokalanästhetikum Ropivacain (0,2%) kombiniert mit dem Opiat Sufentanil (5 µg/ml) als kontinuierliche Infusion via eines der Rückenmarksnahen Verfahren.

2.5.1 Das Synthetische Opioid Sufentanil

Das Sufentanil gehört zu den synthetischen Opioiden. Generell versteht man unter einem Opioid eine Substanz, die in ihrer Wirkung dem Hauptalkaloid des Opiums (Morphin) sehr nahekommt. Opiode sind schwache Basen und liegen meist in eiweißgebundener Form vor. Ihre Leitsubstanz ist das o.g. Morphin [36] [65]. In unserem Körper existieren drei Haupttypen von Opiodrezeptoren. μ , κ und δ . An diesen Rezeptoren können verschiedene Substanzen binden. Zum einen die reinen Agonisten, zu denen alle klassischen Opiode zählen und den Rezeptor mit ihrer Bindung stimulieren. Zum anderen die Agonisten-Antagonisten, unter denen sich heterogene Opiode mit unterschiedlichem Wirkspektrum finden und zum anderen die Antagonisten, die als Hemmstoffe fungieren. Durch Opiode wird vor allem eine starke Analgesie erzeugt, durch die Hemmung nozizeptiver Bahnen im Rückenmark und Thalamus, die dadurch die affektive Reaktion auf Schmerzen hemmt. Diese Wirkung geht hauptsächlich von den μ -Rezeptor aus [70]. Sufentanil ist das zurzeit potenteste Opioid und unterliegt dem Betäubungsmittelgesetz. Es ist ca. 500- bis 1000-mal potenter als Morphin. Es ist ein reiner μ -Agonist. Es wird in vielen Kliniken als Standard Opioid für Narkosen verwendet. Sufentanil hat systemisch ein hohes Verteilungsvolumen, daher fällt die Konzentration im Gehirn schneller ab als von anderen Opioiden und selbst nach mehrstündiger Dauerinfusion wandert Sufentanil noch in die Verteilungsräume. Es hat einen sehr schnellen Wirkungsbeginn von 2-3 Minuten

und eine Wirkdauer von ca. 20-30 Minuten. Sufentanil kann vielfältig eingesetzt werden. Zum einen spielt es eine zentrale Rolle in der balancierten Anästhesie bzw. der intravenösen Anästhesie, zum anderen kommt im Rahmen des Periduralkatheters zur postoperativen Schmerztherapie oft zum Einsatz [67]. Es werden lipophile von hydrophilen Opioiden unterschieden, wobei das Sufentanil zu der lipophilen Gruppe gehört, welches sich durch einen schnellen Wirkeintritt auszeichnet. Zu den pharmakodynamischen Eigenschaften zählen neben den erwünschten Wirkungen wie Analgesie, auch die unerwünschten Nebenwirkungen. Dies lässt sich durch die Stimulation von prä- und postsynaptischen Rezeptoren erklären. Die unerwünschten Wirkungen beinhalten zum Beispiel Atemdepression, Obstipation, Übelkeit mit Erbrechen oder die Toleranzentwicklung mit Abhängigkeitspotential [65].

2.5.2 Das Lokalanästhetikum Ropivacain

Ein Lokalanästhetikum ist eine chemische Substanz, die die Bildung und die Fortleitung eines Aktionspotentials vorübergehend hemmt. Es wird eine reversible und örtlich begrenzte Ausschaltung der zu den Schmerzrezeptoren gehörenden afferenten Fasern erzeugt. Dies geschieht insbesondere durch Hemmung von Natriumkanälen. Der Einstrom von Natrium in das Zellinnere ist ein fundamentaler Prozess für den Aufbau und die Fortleitung eines Aktionspotentials. Sind die Kanäle blockiert, liegt eine Leitungsblockade vor. Dickere motorische Fasern werden erst später von einem Lokalanästhetikum ausgeschaltet als sensible dünnere C-Fasern [36, 67].

Lokalanästhetika bestehen aus 3 Strukturen. Ein lipophiler aromatischer Ring, eine Kohlenstoffkette mit Ester- oder Amidverbindung und ein hydrophiler tertiären Amidrest. Sie können in zwei verschiedene Gruppen unterteilt werden. Zum einen in Lokalanästhetika mit einer Esterbrücke (C=O) und zum anderen mit einer Amidverbindung (C-NH). Ropivacain gehört zu den Lokalanästhetika mit einer Amidverbindung. Da diese Gruppe chemisch stabiler ist und die Wirkung länger anhält, werden mittlerweile in der Anästhesie nur noch Aminoamidverbindungen genutzt. Zusätzlich haben sie ein geringeres Potenzial allergische Reaktionen hervorzurufen. Ihr Abbau erfolgt in der Leber über das Cytochrom P450 System, was bei Patienten mit einem schweren Leberschaden und einer schlechten Leberdurchblutung toxische Plasmaspiegel wahrscheinlicher macht [67].

Ropivacain ist das Propyl Analogon zum Bupivacain. Es ist langwirksam und liegt als eine reine Lösung des S-Enantiomers vor. Im Vergleich zum o.g. Bupivacain soll es eine geringere Kardio- und ZNS-Toxizität aufweisen. Es ist außerdem weniger lipophil, was es zu einem ausgezeichneten Medikament für den Differenzialblock macht. In dieser Studie wurde, wie in

vielen Kliniken üblich, eine niedrige Konzentration mit 0,2% verwendet. Mit zunehmender Konzentration ist eine längere, tiefere und auch motorische Blockade möglich.

2.6 Leitfragen der Studie und Ziel der Untersuchung

In dieser Studie wurden beide Schmerzkatheterverfahren bezüglich verschiedener Variablen miteinander verglichen. Es folgte die Gegenüberstellung. Die Fragestellung der Studie ist zum einen, ob sich die Lungenfunktion der Patienten nach thoraxchirurgischen Eingriffen in beiden Verfahren unterscheidet und zum anderen, ob es Unterschiede in der die Herz-Kreislauf-Funktion gibt. Folgende Fragen ergeben sich daraus:

- Ist unter Verwendung des Paravertebralkatheters die postoperative Lungenfunktion (gemessen an FEV₁, FVC und PEF als primäre Zielvariablen) besser als unter Verwendung des Periduralkatheters?
- Ist unter Verwendung des Paravertebralkatheters die postoperative Herz-Kreislauf-funktion (gemessen an Herzfrequenz und mittlerem arteriellen Druck als sekundäre Zielvariablen) besser als unter Verwendung des Periduralkatheters?

3 Methodik und Material

3.1 Das Design der Studie

Die Studie, die von April 2010 bis Juli 2013 durchgeführt wurde, ist eine offene randomisierte und unizentrische Studie, die dazu dient, einen Vergleich zu ziehen zwischen einem thorakalen Periduralkatheter und einem sonographisch kontrollierten Paravertebralkatheter. Sie wurde in zwei Themenbereiche aufgeteilt. Ein Vergleich der Schmerzen und Nebenwirkungen und ein Vergleich der Lungenfunktion und Verhalten des Herz-Kreislaufsystems. Sie wurde mit der Zustimmung der Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes (unter Kenn-Nr.40/10) ausgerichtet. Dies erfolgte unter der Leitung von Prof. Dr. Thomas Volk in der Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Universitätsklinikums des Saarlandes und der Oberärzte Priv. Doz. Dr. med. S. Schneider und Prof. Dr. med. U. Grundmann. Ebenfalls erfolgte diese Studie in Zusammenarbeit mit der Thoraxchirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes. Sie ist im ISRCTN Register unter der Nummer 55650235 DOI 10.1186/ISRCTN55650235 registriert. Alle Patienten, die an dieser Studie teilnahmen, mussten sich am Universitätsklinikum des Saarlandes einem thoraxchirurgischen Eingriff unterziehen, der eine adäquate Schmerztherapie durch einen Schmerzkatheter voraussetzte. Unmittelbar vor der Operation erfolgte die sorgfältige Prämedikation in der Anästhesie-Sprechstunde. Nach Prüfung der Ein- & Ausschlusskriterien wurden die Patienten eingeschlossen. Daraufhin folgten die Besuche und die klinische Untersuchung. (Tab. 1)

Screening	OP-Tag	Postoperativer Tag 1-2	Nachvisite
D-1	D0	D1-2	D3
Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien, Aufklärung und Einwilligung	Erneute Prüfung der Kriterien, Randomisierung und Beginn des Analgesieverfahrens	Besuche und klinische Untersuchungen	

Tabelle 1 Studiendesign aus dem Ethikantrag von Univ.Prof.Dr.med Thomas Volk

Alle teilnehmenden Patienten wurden ausführlich und schriftlich über das Design der Studie aufgeklärt und die Einverständniserklärung wurde festgehalten. Auch, dass die Randomisierung per Losentscheid erfolgte welcher Patient, welchen Schmerzkatheter erhält, wurde deutlich und ausführlich mit den Patienten besprochen. Alle Patienten, die in dieser Studie eingeschlossen wurden, erklärten sich ausnahmslos damit einverstanden.

3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

3.2.1 Einschlusskriterien

Frauen und Männer wurden gleichermaßen eingeschlossen. Die Voraussetzung war zunächst die Art der geplanten Operation. Jeder Patient unterzog sich einem Thoraxchirurgischen Eingriff. Das Alter der Probanden musste > 18 Jahre sein und das Patientenkollektiv konnte von ASA I bis ASA III präoperativ klassifiziert werden. Selbstverständlich war die Einwilligung für ein rückenmarksnahes Analgesie-Verfahren obligat.

3.2.2 Ausschlusskriterien

Zunächst wurden die Patienten ausgeschlossen, die eine Studienteilnahme ablehnten. Patienten mit schweren kardiologischen oder neurologischen Vorerkrankungen nahmen gleichermaßen nicht an der Studie teil. Ebenso wie Patienten, die eine schwere Nieren- oder Lebererkrankung mit der Laborkonstellation Kreatinin >2 mg/dl oder Bilirubin >2mg/dl aufwiesen, wurden nicht in die Studie aufgenommen. Bei einem BMI > 30 wurde ebenfalls davon abgesehen. Bei Unverträglichkeiten oder Kontraindikationen gegen eines der verwendeten Verfahren wurde ebenfalls auf die Studienteilnahme verzichtet. Bei besonderen Umständen oder Vorerkrankungen, die Untersuchungen nicht möglich gemacht hätten beispielsweise bei sprachlichen Barrieren oder dementiellen kognitiven Einschränkungen, wurden die Patienten ebenfalls nicht eingeschlossen. Chronische Schmerzpatienten mit Opiaten in der Dauermedikation oder mit Substitutionstherapie bei Substanzabusus galten ebenfalls als nicht geeignet und wurden nicht eingeschlossen. Sobald die Patienten in der anästhesiologischen Sprechstunde > ASA III klassifiziert wurden, nahmen Sie ebenfalls nicht an der Studie teil. Selbstverständlich war bei beeinträchtigter Gerinnung und entsprechenden weiteren Kontraindikationen für eines der beiden rückenmarksnahen Katheterverfahren keine Studienteilnahme möglich.

3.3 Die Auswahl der Patienten

Das gesamte Patientenkollektiv dieser Studie beinhaltete 68 Patienten. Es mussten jedoch 5 Patienten wieder ausgeschlossen werden, da in einem Fall die Anlage des Katheters, am ehesten aufgrund anatomischer Besonderheiten der Wirbelsäule, frustriert verlief und in weiteren vier Fällen die Operation letztlich abgesagt wurde. Somit wurden insgesamt 63 Patienten randomisiert, und per Losentscheid wurde den Patienten entweder der thorakale Periduralkatheter zugesprochen oder der sonographisch gelegte Paravertebralkatheter. Zusammenfassend bedeutet das, dass in der Gruppe des Periduralkatheters 30 Patienten aufgenommen wurden und in der Gruppe des Paravertebralkatheters 33. Entsprechend wurden fünf Dropouts verzeichnet.

3.4 CRF-Bogen

Der CRF Bogen, die ‚Case report form‘ diente als Erhebungsbogen für diese klinische Studie. Es wurden die verschiedenen Messwerte zu unterschiedlichen Zeitpunkten beobachtet und erfasst. (siehe Anhang, Abb. 23)

3.4.1 Angaben zu den Werten

Da in dieser Doktorarbeit die Fragestellung Lungenfunktion und Herz-Kreislaufsystem behandelt wird, folgt nun die kurze Erklärung der einzelnen Werte. Die Schmerzen und Nebenwirkungen werden in einer anderen Doktorarbeit abgehandelt. Die Werte der Lungenfunktion wurden mit einem mobilen Spirometer (Schiller Medizintechnik GmbH) erhoben. Die Sollwerte der Probanden der Lungenfunktionsparameter FVC, FEV1 und PEF mit der Referenzgleichung der GLI 2012 (Global Lung Function Initiative) ermittelt (GLI Internetseite Tool zur Berechnung). Die Unterschiede ethnischer Gruppen sind darin berücksichtigt [53].

- **AF, Atemfrequenz pro Minute**, sie wurde zu jedem Zeitpunkt erfasst, außer am dritten postoperativen Tag der Nachvisite. Normalwerte: 8-16/min (in Ruhe) [58]

- **FEV1, Forciertes Expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde, in Litern**, auch dieser Wert wurde zu jedem Zeitpunkt, außer zum Zeitpunkt der Nachvisite am dritten postoperativen Tag, erfasst. Normalwerte berechnet.
- **PEFluss, Peak Expiratory Flow, in Litern pro Sekunde**, auch dieser Wert wurde zu jedem Zeitpunkt, außer am dritten postoperativen Tag der Nachvisite erfasst. Normalwerte berechnet.
- **FVC, forcierte Vitalkapazität, in Litern**, sie wurde zu jedem Zeitpunkt, außer am dritten postoperativen Tag der Nachvisite, erfasst. Normalwerte berechnet. Normalwerte berechnet.
- **pSO₂, Periphere Sauerstoffsättigung in Prozent**, auch sie wurde zu jedem Zeitpunkt der Studie erhoben, außer bei der Nachvisite am dritten postoperativen Tag. Normalwerte: 96-98% [58]
- **paCO₂, Kohlenstoffdioxidpartialdruck in mmHg**, er wurde aus der arteriellen Blutgasanalyse präoperativ und zu zwei Zeitpunkten nach Katheteranlage erfasst. Normalwert: 35-45 mmHg [58]
- **paO₂, Sauerstoffpartialdruck in mmHg**, der Wert wurde ebenfalls aus der arteriellen Blutgasanalyse präoperativ und zu zwei Punkten nach Katheteranlage erhoben. Normalwerte: 70-100mmHg [58]
- **pH-Wert**, um die respiratorische Funktion zu erfassen wurde, auch dieser Wert aus der arteriellen Blutgasanalyse präoperativ und zu zwei Zeitpunkten nach Katheteranlage erhoben. Normalwert 7,36-7,44 [58]

Es folgt eine Auflistung der Werte, die die Herz-Kreislauf-Funktion widerspiegeln.

- **HF, Herzfrequenz in bpm (beats per Minute)**, sie wurde ebenfalls durchgehend gemessen, außer am dritten postoperativen Tag der Nachvisite. Normalwerte 60-80 bpm [58]
- **MAP, Mittlerer arterieller Druck (mmHg)**, aufgrund der klinischen Relevanz wurde er aus dem systolischen Druck und diastolischen Druck errechnet. Normwerte: 80-100 mmHg [33, 35]

$$MAP = \frac{RRdia + (RRsys - RRdia)}{3}$$

3.5 Anlageverfahren der Katheter

Die Anlage der Schmerzkatheter erfolgte in beiden Fällen präoperativ vor der Narkoseeinleitung im Vorbereitungsraum. In vielen Kliniken wird der Periduralkatheter am Vorabend gelegt, dies war in dieser Studie allerdings nicht der Fall. Im Vorhinein erfolgte selbstverständlich die sorgfältige Aufklärung und Prämedikation des Patienten, sowie die Durchsicht der Akten und die Kontrolle der Laborparameter. Das Monitoring erfolgte nach den üblichen Standards mit Blutdruckmessung, Sauerstoffsättigung, ein peripherer Venenkatheter, Elektrokardiogramm und einem arteriellen Katheter.

Zunächst wurde der Patient gebeten sich aufzusetzen und die Füße auf einem bereitgestellten Tritt abzustellen und die entsprechende Haltung eines ‚Katzenbuckels‘ einzunehmen. Dabei sollten die Arme locker in den Schoß fallen. Es erfolgte die grobe Orientierung. Anschließend erfolgte die Vorbereitung mit Hilfe der Anästhesiepflege und die sterile Bekittelung des durchführenden Anästhesisten. Nach einer mehrmaligen und großflächigen Desinfektion der voraussichtlichen Punktionsstelle auf Höhe von TH 4-7, erfolgte die sterile Abdeckung und lokale Betäubung der Haut und der tieferen Bandstrukturen. Die Punktion wurde mit einer Periduralnadel (18G x 8cm Nadel B. Braun Medical Inc. mit Tuhoy-Schliff) daraufhin median mittels ‚Loss of resistance‘ Technik durchgeführt, auch Widerstandsverlustmethode genannt. Es erfolgte dann das Einführen des Periduralkatheters nach sorgfältiger Prüfung, dass Aspiration von Liquor oder Blut oder Parästhesien negativ waren. Zum Ausschluss einer intrathekalen Lage wurde eine Testdosis verabreicht, welche aus einer Mischung aus Ropivacain 0,2% und Sufentanil 0,5 µg/ml bestand. Bereits intraoperativ erfolgte daraufhin die kontinuierliche Analgesie via Schmerzkatheter mittels Ropivacain 0,2% und Sufentanil 0,5 µg/ml in Kombination.

Der Paravertebralkatheter wurde ebenfalls nach Vorbereitung und korrekter Lagerung des Patienten und nach großflächiger, mehrmaliger Desinfektion der voraussichtlichen Punktionsstelle, auf Höhe von TH4-7 ca. 2-3 cm lateral der Wirbelsäule auf der zu operierenden Seite, unter sterilen Kautelen und nach lokaler Betäubung, gelegt. Die Punktion mittels der Periduralnadel (s.o.) erfolgte unter sonographischer Kontrolle in In-Line-Technik. Zur sicheren Identifikation des Paravertebralraumes wurden 1-2 ml Kochsalzlösung injiziert. Nachfolgend wurde, wie im Falle des Periduralkatheters, der Katheter vorsichtig vorgeschoben und eine Testdosis mit Ropivacain 0,2% und Sufentanil 0,5 µg/ml verabreicht. Der Katheter wurde bereits zur intraoperativen Schmerztherapie auf 8ml/h Ropivacain mit dem Opiat Sufentanil 0,5 µg/ml als Zusatz gestartet. Die Narkose wurde in beiden Gruppen als balancierte Anästhesie geführt und Ein- und Ausleitung erfolgten nach üblichen Standards des Universitätsklinikums des Saarlandes.

3.6 Erhebung der Daten

Die Daten wurden anhand einer standardisierten CRF ‚case report form‘ (siehe Anlage, Abb.23) handschriftlich durch Befragung der Probanden, Messungen und Kurveneinsicht bei den Visiten durch die Doktoranden erhoben. An acht Zeitpunkten wurden die Daten insgesamt über 60 Stunden gesammelt. (Tab.2)

Zeitpunkt	Erklärung
T0	präoperativ
T1	15 Minuten nach Katheteranlage
T2	Operationstag abends
T3	1. postoperativer Tag morgens
T4	1. postoperativer Tag abends
T5	2. postoperativer Tag morgens
T6	2. postoperativer Tag morgens
T7	2. postoperativer Tag abends
T8	Nachvisite am 3. Postoperativen Tag

Tabelle 2 Zeitpunkte der Datenerhebung

Die demographischen Daten, wie Alter, Gewicht, Größe, Geschlecht und die Fallnummer wurden nur einmal präoperativ erhoben. Den Patienten wurden bei Unklarheiten die einzelnen Werte erklärt und sie wurden mit den verwendeten numerischen Skalen vertraut gemacht. Weiterhin wurden sie in die korrekte Durchführung der Lungenfunktion eingewiesen. Zu jeder Zeit war einer der Doktoranden anwesend, um die korrekte Abwicklung zu gewährleisten. Der Tag der Operation war definiert als der erste Tag, an dem zunächst präoperativ, dann 15 Minuten nach Anlage des Schmerzkatheters und letztlich postoperativ am Abend die Werte gemessen und die klinische Untersuchung geleistet wurden. Die späteren Visiten erfolgten in Abhängigkeit des klinischen Zustands des Patienten entweder auf der Herz-Thoraxchirurgischen Intensiv- oder Normalstation. Die postoperative Überwachung der Patienten erfolgte nach üblichen Standards und die weiteren Visiten durch die Doktoranden erfolgten morgens und abends. Weiterhin wurden die Schmerzpumpen durch den anästhesiologischen Schmerzdienst betreut, der ebenfalls regelmäßig die Patienten visitierte. Schmerzen wurden mittels einer Skala angegeben (NRS, numerische rating Skala 0-10, 0= kein Schmerz, 10= maximaler Schmerz). Um einen besseren Eindruck davon zu bekommen, wie stark die Schmerzen sind, wurde ebenfalls der Piritramid Verbrauch im Rescue über eine PCA (patient controlled

analgesia) notiert. Darüber hinaus wurden die Patienten zu Nebenwirkungen befragt wie Juckreiz, Übelkeit, Erbrechen und der Grad der Sedierung wurde bestimmt. Die Restharnbildung wurde mittels Ultraschalluntersuchung bestimmt, wenn kein Dauerkatheter gelegt wurde. Der Grad der Mobilisierung wurde ebenfalls erfragt bzw. mit dem Pflegepersonal auf Station besprochen.

Die Lungenfunktion wurde mittels eines mobilen Spirometers (Schiller Medizintechnik GmbH) erhoben. Präoperativ erfolgte zur Risikoabschätzung meist seitens der Herz-Thorax-Chirurgen ohnehin eine Lungenfunktionsuntersuchung. Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können, wurde nichtsdestotrotz mit dem mobilen Spirometer eine weitere Testung vor der Operation durchgeführt. Die ermittelten Werte waren das FVC (forcierte Vitalkapazität), das FEV₁ (forcierte Einsekundenkapazität) und der PEF (Peak Expiratory Flow). Es wurden drei Messungen vorgenommen und die jeweils Beste notiert. Zusätzlich wurden die Patienten gebeten den Atemtrainer Triflo zu benutzen und die Höhe der schwebenden Bälle wurde gemessen. Weiterhin wurde die periphere Sauerstoffsättigung erhoben. Um den Gasaustausch besser beurteilen zu können und damit unterstützende Werte zur Lungenfunktion zu erhalten, wurde eine Blutgasanalyse hinzugezogen, von jener der pH- Wert, der Sauerstoffpartialdruck, der Kohlendioxidpartialdruck und die Sauerstoffsättigung in die CRF notiert wurden.

3.7 Zielsetzung der Studie

Diese Studie soll einen Vergleich ziehen zwischen einem thorakalen Periduralkatheter und einem sonographisch angelegten Paravertebralkatheter in thoraxchirurgischen Eingriffen mit Hauptaugenmerk auf der Veränderung der Lungenfunktion der Patienten. Obwohl die thorakale epidurale Analgesie allgemein als „Goldstandard“ für die postoperative Schmerzbehandlung nach Thorakotomie angesehen wird, kann diese Technik aus verschiedenen Gründen fehlschlagen, kontraindiziert oder einfach nicht möglich sein [25]. Es gibt Hinweise darauf, dass die paravertebrale Blockade ebenfalls eine wirksame Technik für die Analgesie und damit auch eine bessere Lungenfunktion bei der Thorakotomie gezeigt werden kann [7, 74]. Eine Metaanalyse aus 10 randomisierten Studien konnte die analgetische Gleichwertigkeit eines Paravertebralkatheters gegenüber eines Periduralkatheters zeigen [7]. Daten dieser Metaanalyse berücksichtigten fast ausschließlich Studien, bei denen der Paravertebralkatheter erst intraoperativ gelegt wurde. Mit Techniken wie der Sonographie sollte das sichere Legen eines Katheters präoperativ möglich sein [44].

Die Lungenfunktion wurde hauptsächlich mittels Spirometrie ermittelt und diese Ergebnisse wurden gestützt durch die arterielle Blutgasanalyse. Die zweite wichtige Fragestellung ist der

Vergleich der hämodynamischen Parameter der Patienten, welche durch Feststellung des mittleren arteriellen Druckes und dem systolischen und diastolischen Blutdruck und der Herzfrequenz untersucht wurden. Es gibt ebenfalls Hinweise darauf, dass eine einseitige Paravertebralblockade den Vorteil haben könnte, dass auch die Sympathikusblockade nur einseitig auftritt und somit die damit verbundenen unerwünschten Wirkungen, wie Abfall des Blutdrucks, verringert werden im Gegensatz zum Periduralkatheter [39]. Die Daten bezüglich eines Vergleiches der Schmerzen und Nebenwirkungen sowie Sedierung, Pruritus und Übelkeit sowie die Mobilisierung, werden in einer anderen Doktorarbeit ausgewertet [48].

3.8 Angaben zur Statistischen Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm SAS 9.4 für Windows (© 2020 SAS Institute Inc.) und die Grafiken wurden mit der Software für Statistik STATA (© 1996-2021 StataCorp LLC) erstellt.

Zur Deskription der metrischen Variablen wurden folgende Größen verwendet:

Anzahl, Mittelwert, Standardabweichung, Quartil, Extrema (Minimum und Maximum) und Median. Die Verteilung kategorialer Daten wurde mittels absoluter und relativer Häufigkeiten beschrieben. Zum Vergleich der Lage der Verteilung einer metrischen Variablen von unabhängigen Gruppen wurde zunächst mit dem Shapiro-Wilk Test überprüft, ob die Daten normalverteilt waren. Wurde die Normalverteilungsannahme nicht abgelehnt ($p\text{-Wert} \geq 0,1$), so wurde der Vergleich von zwei Gruppen mit dem t-Test durchgeführt.

Im Falle der Ablehnung der Normalverteilungsannahme kam bei zwei Gruppen der Mann-Whitney-U-Test zur Anwendung. Zum Vergleich der Häufigkeitsverteilungen einer kategorialen Variablen, von unabhängigen Gruppen, wurde der Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test) verwendet.

Beim Vergleich der beiden Studiengruppen (PDK und PVB) bzgl. der Parameter, die an mehreren Zeitpunkten gemessen wurden, wurden die p-Werte, wegen des vorliegenden multiplen Testproblems, zur Einhaltung des globalen Signifikanzniveaus mit der Sidakstep-down Procedure korrigiert. Die Ergebnisse wurden mit Box-Plots dargestellt.

Die statistische Auswertung der Studie erfolgte in Kooperation mit Frau Dr. rer. medic. Silke Lange (Dipl. Statistikerin).

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

Es wurden 68 Patienten in die Studie eingeschlossen. Der Zeitraum der Datenerhebung erstreckte sich von April 2010 bis April 2013. Es gab 5 Patienten, die für die Studie nicht von Bedeutung waren. In 4 Fällen wurde die Operation abgesagt und in einem Fall war kein Periduralkatheter möglich. Die Randomisierung erfolgte vorher per Losentscheid. 31 Patienten wurden dem PDK zugeordnet und 33 dem Paravertebralkatheter. Da es bei einem Patienten nicht möglich war, einen PDK zu legen, waren es nur 30 Patienten, die einen Periduralkatheter bekamen und 33 einen Paravertebralkatheter. Zusammenfassend spielten 63 Patienten für die Datenanalyse eine Rolle.

Am Zeitpunkt T0 wurden die demographischen Daten, wie Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht des Patientenkollektivs erhoben. Aus der Größe und dem Gewicht konnte der Body Mass Index (BMI) ermittelt werden. Die Daten wurden in Häufigkeiten in % und als Mittelwerte mit jeweiliger Standardabweichung dargestellt. Für die p-Werte wurde der Chi-Quadrat Test angewandt. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

In der PDK Gruppe befanden sich 30 der 63 Patienten (47.6 %), in der PVB Gruppe 33 Patienten (52.4 %). Die PDK Gruppe setzte sich aus 22 Männern (73.3 %) und 8 Frauen zusammen (26.7 %). Die PVB Gruppe setzte sich aus 24 Männern (72.7 %) und 9 Frauen zusammen (27.3 %). Der Altersdurchschnitt der PDK Gruppe betrug $62,2 \pm 11,9$ Jahre und der in der PVB Gruppe $63,7 \pm 13$ Jahre. Die Durchschnittsgröße der Patienten wurde in der PDK Gruppe mit $173,6 \pm 9,1$ cm angegeben, bei der PVB Gruppe mit $173,0 \pm 8,0$ cm. Das Durchschnittsgewicht betrug in der PDK -Gruppe $79,9 \pm 18,6$ und in der PVA Gruppe $81,7 \pm 17,1$ kg. Das Verhältnis von Gewicht zu Körpergröße im Quadrat wird als Body-Mass-Index (BMI) bezeichnet: $BMI [kg/m^2] = \text{Körpergewicht [kg]} / (\text{Körpergröße [m]})^2$ [28]. Auch bei den durchschnittlichen BMI Werten, die bei der PDK Gruppe im Mittel $26,3 \pm 4,5$ und bei der PVB Gruppe $27,2 \pm 5,2$ betragen, zeigte sich ein homogenes Bild. Zusammengefasst gab es in beiden Gruppen bezüglich der demographischen Daten keine Unterschiede. (Tab.3)

	PVB (33 Pat.)	PDK (30 Pat.)	P
Geschlecht ♂/♀	24 (73%) /9 (27,3%)	22 (73,3%)/8(26,7%)	0,603
Alter (in Jahren)	63,7±13	62,2±11,9	0,679
Gewicht (kg)	81,7±17,1	79,9±18,6	0,478
Größe (cm)	173,0±8,0	173,6±9,1	0,761
BMI kg/m ²	27,2±5,2	26,3±4,5	0,394

Tabelle 3 Patientenkollektiv, Demographische Daten

4.2 Spirometrie

4.2.1 Einsekundenkapazität FEV1

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 4) enthält die deskriptiven Kenngrößen von FEV1, getrennt für die beiden Gruppen, sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Hierfür wurde der prozentuale Anteil der gemessenen FEV1 am individuellen Sollwert des Patienten berechnet. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert, für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %- Perz.	Me- dian	75 %- Perz.	Max	p ^{roh}	p ^{Sidak}
0	PVB	33	71.27	21.43	31.1	51.3	73.6	88.1	110.0	0.483**	0.963
	PDK	30	74.93	19.57	19.5	61.5	78.8	86.2	109.5		
1	PVB	33	71.70	20.23	31.9	59.3	75.7	87.5	108.8	0.734**	0.983
	PDK	29	73.38	18.42	21.7	60.8	77.2	83.5	109.2		
2	PVB	28	27.12	11.13	12.0	17.1	26.6	34.4	52.7	0.312**	0.894
	PDK	28	30.41	12.92	10.3	20.4	28.5	41.1	56.3		
3	PVB	33	30.45	12.77	7.3	23.1	29.2	41.6	55.0	0.146**	0.667
	PDK	29	35.62	14.84	10.8	23.3	33.0	46.1	67.2		
4	PVB	32	34.15	12.90	16.5	22.9	31.9	42.3	64.6	0.730	0.983
	PDK	30	32.91	11.86	17.1	24.9	29.1	37.9	65.6		
5	PVB	32	37.17	14.82	17.2	27.0	34.7	46.0	81.7	0.639	0.983
	PDK	29	35.70	14.45	18.6	24.6	33.9	41.8	77.6		
6	PVB	32	39.76	16.89	17.9	27.1	35.7	47.9	96.3	0.795	0.983
	PDK	28	37.26	11.99	19.7	27.6	35.2	44.6	67.0		

Tabelle 4 FEV1 vom Sollwert in % , T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t-Tests

Vom Zeitpunkt 15 min Postblock bis zur Messung am Abend der Operation, gibt es einen deutlichen Abfall der Werte in beiden Gruppen. Danach steigen die Werte über die Zeit wieder leicht an, ohne das Ausgangsniveau zu erreichen. Es konnten für keinen Zeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Die nachfolgende Grafik zeigt den dazugehörigen Box-Plot. (Abb.12)

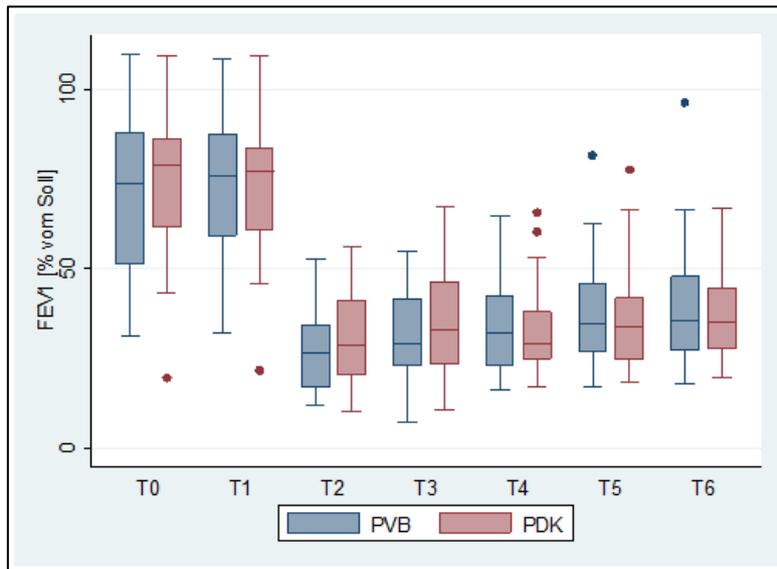


Abbildung 12 FEV1 (%) vom Sollwert

Postoperativ nahm die FEV1 im median um 48,7% in der PDK Gruppe und um 49,1% in der Paravertebralgruppe ab. In beiden Gruppen hielt sich die FEV1 auf einem niedrigen Niveau postoperativ ohne einen statistisch signifikanten Unterschied.

4.2.2 Forcierte Vitalkapazität

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 5) enthält die deskriptiven Kenngrößen von der FVC, getrennt für die beiden Gruppen (PDK und PVB), sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Hierfür wurde der prozentuale Anteil der gemessenen FVC am individuellen Sollwert der Patienten berechnet. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p ^{roh}	p ^{Sidak}
0	PVB	33	79.46	19.38	37.7	65.0	84.9	90.6	115.6	0.746**	0.987
	PDK	30	81.05	19.51	31.7	69.6	81.0	95.8	122.3		
1	PVB	33	80.48	18.28	36.5	68.5	83.8	91.4	118.1	0.621**	0.987
	PDK	29	78.28	16.32	32.3	69.3	77.3	91.5	107.5		
2	PVB	28	28.33	11.54	10.8	19.0	27.1	35.6	51.2	0.321	0.902
	PDK	28	32.32	13.41	12.2	22.2	27.9	40.7	59.1		
3	PVB	33	29.97	13.00	9.0	21.7	27.0	37.6	70.0	0.095	0.501
	PDK	30	35.95	13.75	11.1	24.9	32.2	47.0	61.6		
4	PVB	30	34.24	13.51	13.0	26.6	30.7	46.4	68.6	0.762	0.987
	PDK	30	34.93	12.13	17.1	26.1	33.1	38.4	67.8		
5	PVB	30	38.37	14.17	13.5	28.2	36.2	47.5	69.7	0.838	0.987
	PDK	29	37.12	12.04	20.7	27.8	37.1	43.0	67.0		
6	PVB	30	41.52	15.90	18.9	29.4	39.4	51.3	89.8	0.581	0.987
	PDK	28	38.71	12.40	23.9	27.8	36.2	44.9	67.7		

Tabelle 5 FVC vom Sollwert in % , T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Auch hier konnte von 15 min Postblock bis zum Zeitpunkt T2 am Abend der Operation ein deutlicher Abfall der Werte in beiden Gruppen verzeichnet werden. Danach steigen die Werte über die Zeit wieder leicht an, ohne das Ausgangsniveau zu erreichen. Es konnten für keinen Zeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Die nachfolgende Grafik zeigt den dazugehörigen Box-Plot. (Abb. 13)

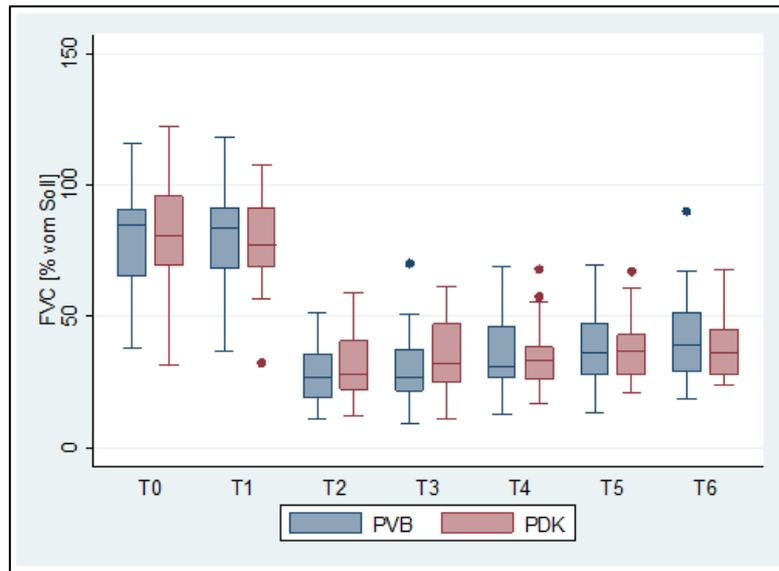


Abbildung 13 FVC (%) vom Sollwert

Im Median nahm die FVC um 49,4% in der PDK Gruppe und um 56,7% in der Paravertebralgruppe ab. In beiden Gruppen hielt sich die FVC auf einem niedrigen Niveau postoperativ ohne einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der PDK und der Paravertebralgruppe.

4.2.3 Tiffeneau- Index

Da der Tiffeneau-Index einen hohen diagnostischen Stellenwert einnimmt zur Aussage über die Lungenfunktion, wurde auch dieser Wert errechnet und in die Ergebnisse mit einbezogen. Die nachfolgende Tabelle (Tab.6) enthält die deskriptiven Kenngrößen von dem Tiffeneau-Index, getrennt für die beiden Gruppen (PDK und PVB) sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Er wurde folgendermaßen berechnet. $\text{Tiffeneau-Index} = 100 \times (\text{FEV1}/\text{FVC})$. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p ^{roh}	p ^{Sidak}
0	PVB	33	70.71	12.23	48.2	63.3	71.5	80.6	89.2	0.346	0.922
	PDK	30	73.67	9.86	48.6	69.2	76.5	80.9	85.9		
1	PVB	33	70.38	12.61	46.8	64.8	71.9	77.4	101.4	0.172	0.732
	PDK	29	74.34	9.44	53.2	67.6	76.8	80.4	89.8		
2	PVB	28	80.27	27.67	26.0	59.7	80.0	92.9	161.8	0.513	0.922
	PDK	28	76.23	16.78	33.6	65.6	77.1	88.7	117.9		
3	PVB	33	81.81	19.79	39.3	68.8	86.0	93.9	123.6	0.417	0.922
	PDK	29	78.23	13.71	49.2	67.6	81.0	87.4	100.0		
4	PVB	30	82.61	21.21	51.0	73.4	80.8	90.9	158.6	0.363	0.922
	PDK	30	76.57	15.11	49.4	64.7	77.9	89.2	102.9		
5	PVB	30	77.48	18.55	40.0	72.6	80.1	87.8	122.5	0.444	0.922
	PDK	29	76.74	16.58	47.1	66.7	73.2	85.5	130.5		
6	PVB	30	75.42	15.92	40.0	70.7	77.5	83.5	106.5	0.895	0.922
	PDK	28	78.04	15.32	52.1	67.8	77.0	88.6	114.7		

Tabelle 6 Tiffeneau Index , T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Es konnten für keinen Zeitpunkt Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Nahfolgend der dazugehörige Boxplot (Abb. 14)

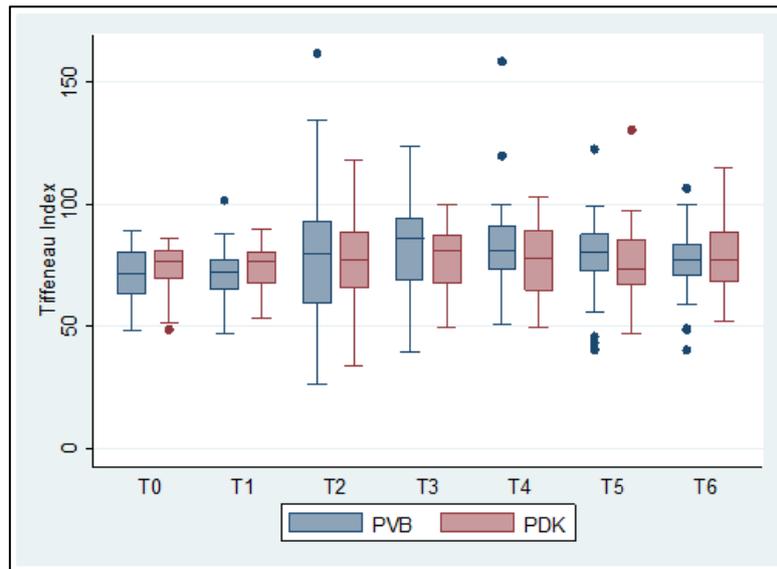


Abbildung 14 Tiffeneau Index

In beiden Gruppen hielt sich der Tiffeneau-Index auf einem niedrigen Niveau postoperativ, ohne einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der PDK und der Paravertebralguppe.

4.2.4 Peak Expiratory Flow (PEF)

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 7) enthält die deskriptiven Kenngrößen vom PEF getrennt für die beiden Gruppen (PDK und PVB) sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Hierfür wurde der prozentuale Anteil der gemessenen PEF am individuellen Sollwert der Patienten berechnet. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p*roh	pSidak
0	PVB	33	65.92	27.16	19.9	37.7	66.7	89.1	112.7	0.373**	0.860
	PDK	30	71.77	24.40	19.0	53.4	72.3	88.6	120.9		
1	PVB	33	63.47	26.69	9.2	41.2	65.6	85.5	115.0	0.325**	0.860
	PDK	29	69.89	23.94	19.5	50.9	67.0	86.0	115.9		
2	PVB	28	21.79	10.96	5.7	12.6	19.0	27.1	49.2	0.078	0.386
	PDK	28	26.84	11.60	12.9	15.5	25.7	32.2	55.9		
3	PVB	33	25.28	13.01	3.7	15.0	21.9	35.2	52.1	0.050**	0.300
	PDK	30	31.81	12.86	12.6	21.4	30.8	43.6	58.1		
4	PVB	30	29.86	13.64	12.8	17.5	27.4	38.2	66.4	0.830	0.860
	PDK	30	30.17	12.43	14.4	20.2	27.2	34.8	60.2		
5	PVB	30	31.41	14.84	9.4	19.5	32.1	36.6	72.6	0.549	0.860
	PDK	29	33.95	14.65	10.1	24.0	32.2	37.9	72.3		
6	PVB	30	32.82	16.93	9.1	19.8	32.3	39.2	87.3	0.388	0.860
	PDK	28	34.65	11.81	14.6	26.9	34.0	39.6	56.2		

Tabelle 7 PEF vom Sollwert in % , T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Auch in der Peak Flow Messung gab es von 15 Minuten Postblock bis zum OP Tag abends einen deutlichen Abfall der Werte in beiden Gruppen (PDK und PVB). Danach steigen die Werte über die Zeit wieder leicht an, ohne das Ausgangsniveau zu erreichen. Es konnten für keinen Zeitpunkt Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Nachfolgend der dazugehörige Boxplot (Abb. 15)

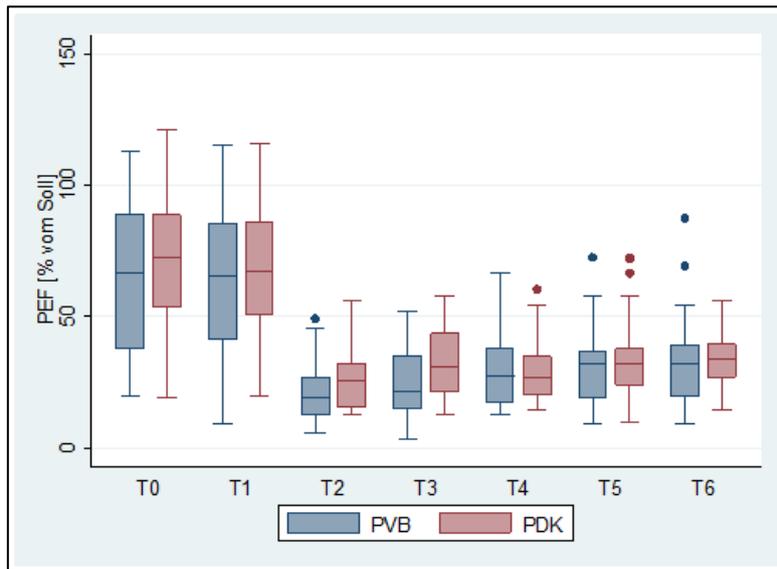


Abbildung 15 PEF (%) vom Sollwert

Postoperativ nahm der PEF um 41,3 % Prozent in der PDK Gruppe und um 46,6 % in der Paravertebralgruppe ab. In beiden Gruppen hielt sich der PEF auf einem niedrigen Niveau postoperativ ohne einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der PDK und der Paravertebralgruppe.

4.3 Atemfrequenz

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 8) enthält die deskriptiven Kenngrößen der Atemfrequenz getrennt für die beiden Gruppen sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak-step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p*roh	pSidak
0	PVB	26	14.6	2.7	12	12	14	15	22	0.606	0.979
	PDK	24	14.6	3.3	11	12	14	16	24		
1	PVB	26	14.9	3.0	10	13	14	16	24	0.609	0.979
	PDK	24	14.5	3.0	11	12	14	16	24		
2	PVB	25	15.8	3.6	10	13	16	18	22	0.345**	0.948
	PDK	24	16.9	4.3	10	14	17	19	25		
3	PVB	26	15.4	3.0	12	13	15	18	22	0.791	0.979
	PDK	24	16.0	4.3	10	12	16	18	25		
4	PVB	25	15.4	3.7	10	13	14	16	24	0.701	0.979
	PDK	24	16.0	4.3	11	12	16	20	24		
5	PVB	25	14.6	2.5	10	13	14	16	21	0.538	0.979
	PDK	24	16.0	4.6	10	12	16	21	24		
6	PVB	25	14.4	3.0	10	12	14	16	23	0.387	0.948
	PDK	24	15.8	3.9	11	12	15	20	24		

Tabelle 8 Atemfrequenz (Atemzüge/Minute), T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Eine relevante Tachypnoe postoperativ konnte für beide Gruppen nicht nachgewiesen werden. Die nachfolgende Graphik zeigt den dazugehörigen Box-Plot. (Abb.16)

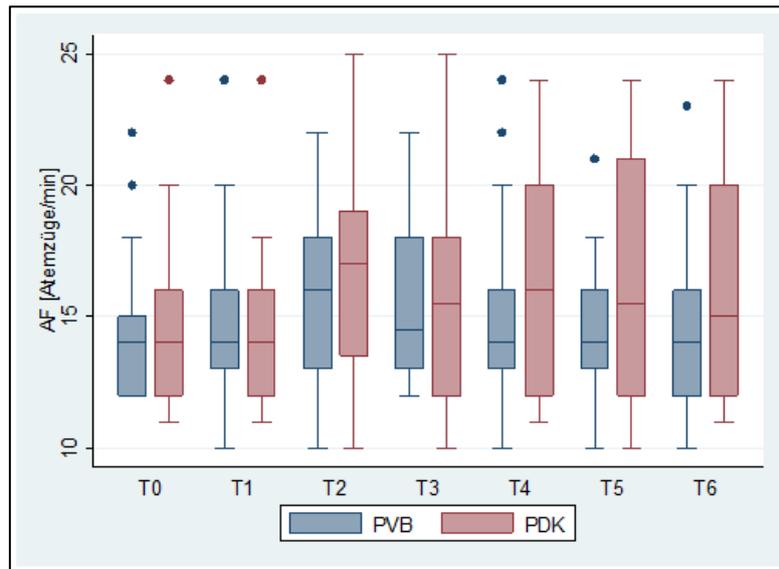


Abbildung 16 Atemfrequenz (Atemzüge/Minute)

Die Werte der PDK Gruppe tendieren zu einer höheren Streuung als die der PVB Gruppe. Es konnten zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden.

4.4 Sauerstoffsättigung

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 9) enthält die deskriptiven Kenngrößen der Sauerstoffsättigung getrennt für die beiden Gruppen sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p*roh	pSidak
0	PVB	26	96.9	2.2	89	96	98	98	99	0.171	0.636
	PDK	24	96.3	2.0	91	95	97	98	99		
1	PVB	26	97.3	2.2	90	96	98	99	100	0.155	0.636
	PDK	24	96.6	2.2	91	95	96	98	100		
2	PVB	26	98.2	1.8	94	97	98	100	100	0.405	0.817
	PDK	24	97.5	2.5	91	96	99	100	100		
3	PVB	26	96.3	2.6	89	95	96	98	100	0.346	0.817
	PDK	24	97.0	2.2	92	96	98	99	100		
4	PVB	25	96.1	2.2	92	95	96	98	100	0.395	0.817
	PDK	24	96.5	2.2	91	96	97	98	100		
5	PVB	24	94.6	4.9	80	94	97	98	100	0.967	0.967
	PDK	24	95.4	3.3	87	94	96	98	100		
6	PVB	24	93.5	3.9	83	92	94	96	99	0.133**	0.633
	PDK	24	95.1	3.4	88	93	96	98	100		

Tabelle 9 Sauerstoffsättigung (%), T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Es konnten für keinen Zeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Die nachfolgende Graphik zeigt den dazugehörigen Box-Plot. (Abb. 17)

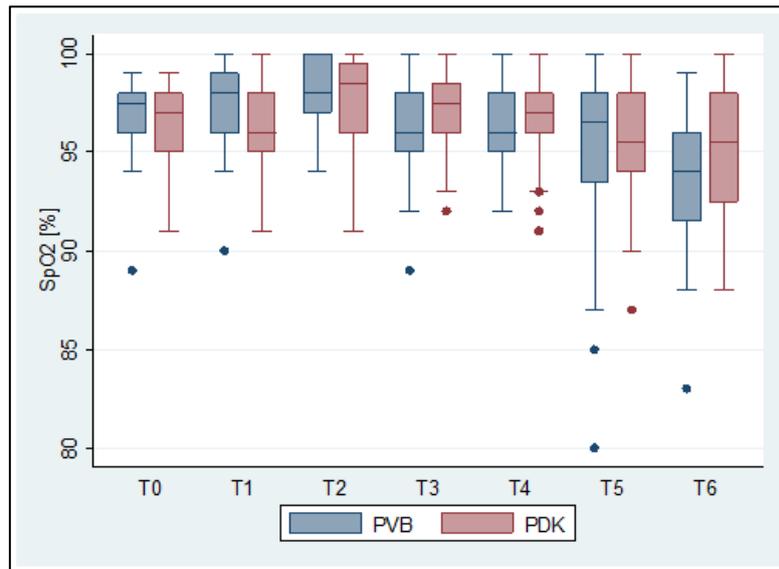


Abbildung 17 Sauerstoffsättigung (%)

Im Gegensatz zu den Lungenfunktionsparametern in der Spirometrie, konnte hier kein Abfall von T1 auf T2 beobachtet werden.

4.5 Arterielle Blutgasanalyse

4.5.1 pH-Wert

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 10) enthält die deskriptiven Kenngrößen des pH-Wertes getrennt für die beiden Gruppen (PDK und PVB) sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p*roh	pSidak
0	PVB	13	7.409	0.055	7.26	7.39	7.41	7.46	7.47	0.766	0.766
	PDK	23	7.409	0.073	7.26	7.35	7.43	7.46	7.51		
1	PVB	4	7.478	0.051	7.42	7.44	7.48	7.52	7.53		
	PDK	0									
2	PVB	26	7.348	0.064	7.24	7.31	7.34	7.39	7.49	0.070**	0.196
	PDK	23	7.382	0.063	7.30	7.33	7.37	7.42	7.55		
3	PVB	24	7.388	0.076	7.13	7.36	7.39	7.43	7.50	0.240	0.422
	PDK	23	7.411	0.037	7.35	7.38	7.40	7.45	7.48		

Tabelle 10 pH-Wert , T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Es konnten für keinen Zeitpunkt Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Ebenso wenig einen Abfall von 15 min Postblock zu T1. Hierbei gilt es zu bedenken, dass der pH-Wert nur am ersten postoperativen Tag erhoben wurde (T2&T3), danach nicht mehr. Die nachfolgende Graphik zeigt den dazugehörigen Box-Plot. (Abb. 18)

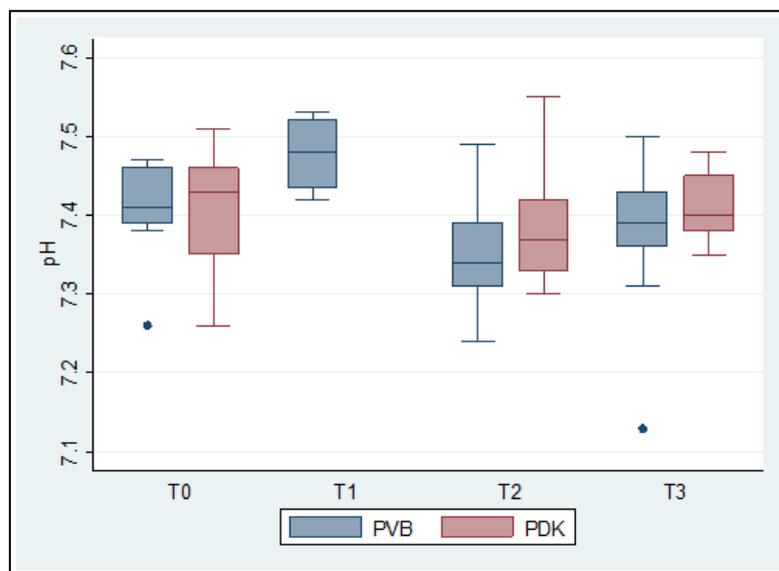


Abbildung 18 pH-Wert

4.5.2 Sauerstoffpartialdruck

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 11) enthält die deskriptiven Kenngrößen des Sauerstoffpartialdrucks_getrennt für die beiden Gruppen (PDK und PVB), sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p*roh	pSidak
0	PVB	9	76.6	11.4	59	71	74	81	99	0.109	0.294
	PDK	23	82.4	8.0	68	75	84	87	99		
1	PVB	4	73.3	3.9	70	71	72	76	79		
	PDK										
2	PVB	18	91.7	13.0	72	80	95	105	108	0.176	0.320
	PDK	23	85.7	11.1	56	82	89	92	99		
3	PVB	19	87.5	14.7	45	78	89	97	110	0.879	0.879
	PDK	23	87.7	8.7	68	82	92	94	99		

Tabelle 11 Sauerstoffpartialdruck (mmHg) , T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Es konnten für keinen Zeitpunkt Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Nachfolgend der dazugehörige Box-Plot (Abb. 19).

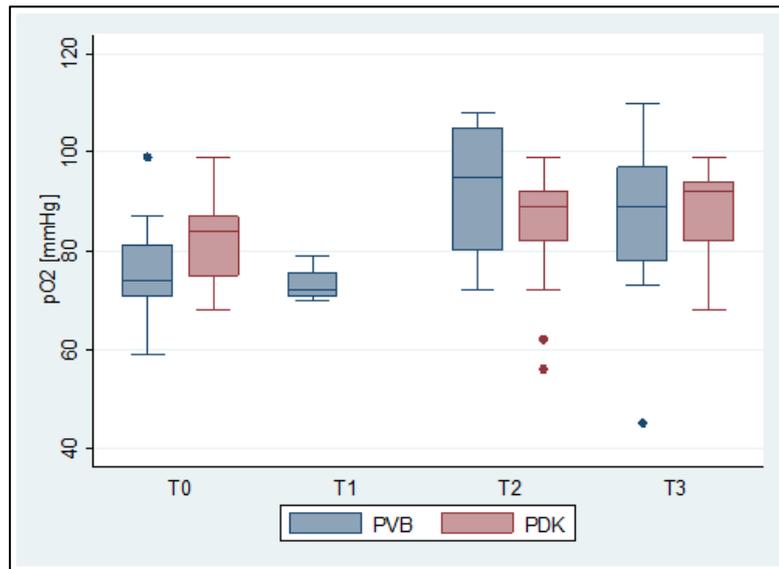


Abbildung 19 Sauerstoffpartialdruck (mmHg)

4.5.3 Kohlenstoffdioxidpartialdruck

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 12) enthält die deskriptiven Kenngrößen des Kohlenstoffdioxidpartialdrucks getrennt für die beiden Gruppen und die Zeitpunkte, sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p*roh	pSidak
0	PVB	13	40.8	7.0	31	37	40	43	56	0.960	0.960
	PDK	23	40.7	6.8	31	36	40	46	60		
1	PVB	4	36.0	8.0	27	30	36	42	46		
	PDK	0									
2	PVB	26	44.3	6.7	31	41	44	48	61	0.476**	0.731
	PDK	23	43.1	4.3	36	40	43	46	53		
3	PVB	23	44.8	10.4	32	38	42	48	84	0.355	0.731
	PDK	23	41.2	2.7	37	39	41	43	48		

Tabelle 12 Kohlenstoffdioxidpartialdruck (mmHg) , T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Es konnten für keinen Zeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Nachfolgende Graphik zeigt den dazugehörigen Boxplot. (Abb. 20)

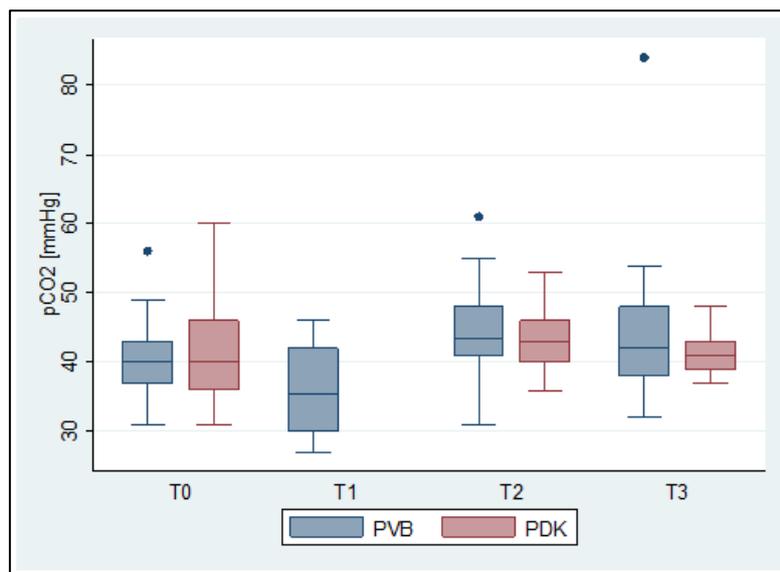


Abbildung 20 Kohlenstoffdioxidpartialdruck (mmHg)

4.6 Hämodynamik

4.6.1 Mittlerer arterieller Druck

Die nachfolgende Tabelle (Tab.13) enthält die deskriptiven Kenngrößen des mittleren arteriellen Drucks (MAP) getrennt für die beiden Gruppen, sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p*roh	pSidak
0	PVB	26	96.0	13.4	77	88	95	103	140	0.183	0.703
	PDK	24	99.7	9.9	83	95	98	105	122		
1	PVB	26	95.8	15.5	75	88	95	101	155	0.634	0.961
	PDK	24	94.7	11.5	65	85	95	104	110		
2	PVB	26	79.1	11.8	60	69	81	89	97	0.056	0.331
	PDK	24	87.4	13.4	69	76	86	98	121		
3	PVB	25	86.0	11.5	65	77	83	93	111	0.555**	0.961
	PDK	24	87.8	8.4	74	81	87	94	104		
4	PVB	24	87.3	11.1	67	81	87	92	112	0.679**	0.961
	PDK	24	88.8	13.7	67	81	87	96	123		
5	PVB	23	88.8	11.2	71	83	87	93	117	0.411	0.929
	PDK	24	90.3	9.6	77	83	90	97	112		
6	PVB	22	90.3	11.7	68	83	88	97	123	0.783**	0.961
	PDK	24	89.4	10.7	67	84	90	96	113		

Tabelle 13 MAP Mittlerer arterieller Druck (mmHg) , T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t Tests

Hier kann man sehen, dass ein Abfall des mittleren arteriellen Blutdrucks über den Beobachtungszeitraum, insbesondere im Vergleich 15 Minuten Postblock und am Abend der OP Tages, zu erkennen ist, sich jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigte.

Im Median lag der MAP sowohl bei der PDK Gruppe 86 mmHg als auch bei der Paravertebralgruppe 81 mmHg am Abend des OP Tages. Keiner der beiden Werte, spricht für eine Hypotonie. Nach diesem Abfall steigen die Werte über die Zeit wieder leicht an, ohne das Ausgangsniveau zu erreichen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den dazugehörigen Box-Plot. (Abb. 21)

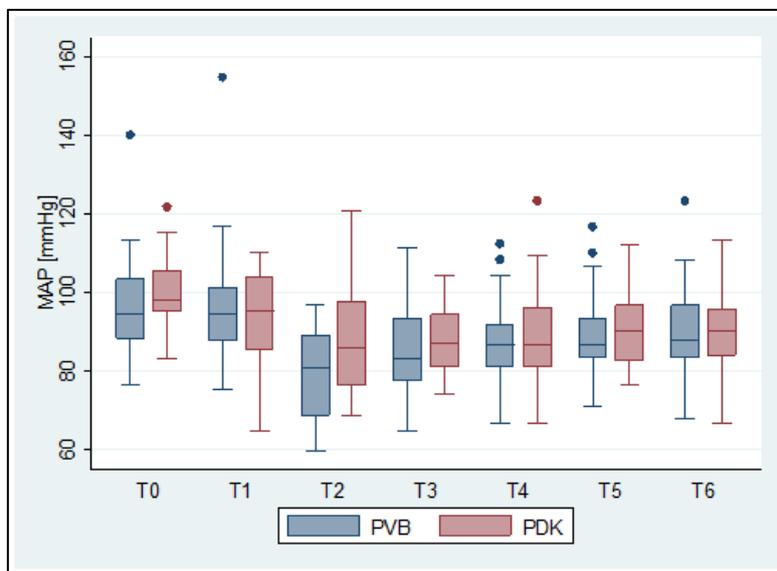


Abbildung 21 MAP, mittlerer arterieller Druck (mmHg)

4.6.2 Herzfrequenz

Die nachfolgende Tabelle (Tab.15) enthält die deskriptiven Kenngrößen der Herzfrequenz getrennt für die beiden Gruppen, sowie die p-Werte der Gruppenvergleiche. Die p-Werte werden sowohl in roher Form als auch korrigiert für das multiple Testen der sieben Zeitpunkte nach der Sidak step-down Procedure angegeben. Statistisch signifikant war ein p-Wert $\leq 0,05$.

T	Kath.	n	Mittel	SDA	Min	25 %-Perz.	Median	75 %-Perz.	Max	p*roh	pSidak
0	PVB	26	75.3	11.5	59	68	73	80	100	0.198**	0.787
	PDK	24	71.5	9.3	52	66	72	78	95		
1	PVB	26	77.6	16.4	54	67	74	83	125	0.763	0.987
	PDK	24	74.5	11.0	53	67	74	82	96		
2	PVB	26	82.3	14.0	60	73	80	89	114	0.528**	0.977
	PDK	24	79.9	13.0	56	72	76	89	110		
3	PVB	25	86.3	17.1	59	76	81	101	125	0.384	0.945
	PDK	24	80.5	11.9	59	71	80	91	100		
4	PVB	24	84.3	15.5	62	73	81	96	129	0.984	0.987
	PDK	24	83.4	12.1	67	77	80	92	110		
5	PVB	23	85.7	16.8	60	75	82	100	131	0.646	0.984
	PDK	24	82.5	10.6	67	76	80	88	110		
6	PVB	22	83.2	14.6	62	72	80	96	118	0.800	0.987
	PDK	24	83.2	12.8	70	76	80	89	130		

Tabelle 14 Herzfrequenz (beats per minute), T= Zeitpunkt, SDA= Standardabweichung, Min= Minimum, Max=Maximum, *p-Wert des Mann-Whitney-U Tests, **p-Wert des t-Tests

Postoperativ zeigte sich, dass beide Gruppen eine Tachykardie boten, was nach einem großen operativen Eingriff normal sein kann. Es konnten jedoch für keinen Zeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Nachfolgende Graphik zeigt den dazugehörigen Boxplot. (Abb.22)

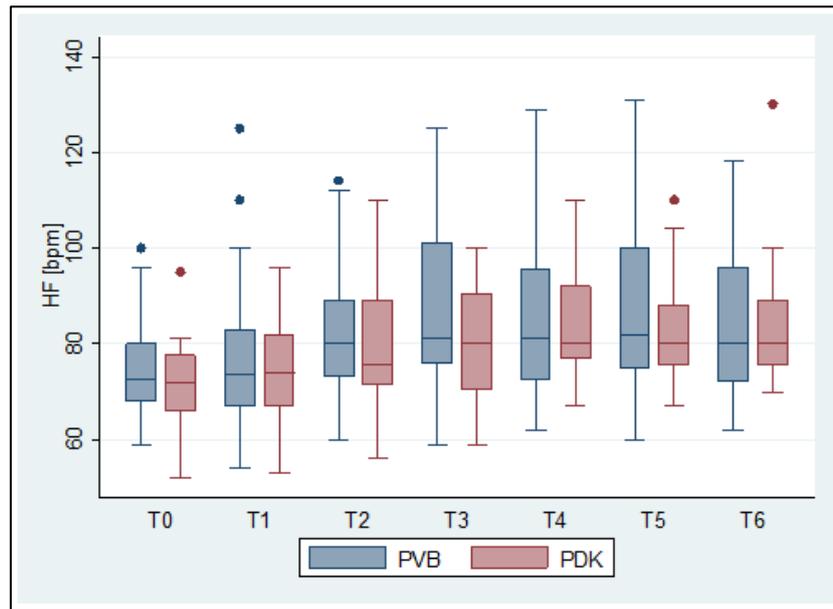


Abbildung 22 Herzfrequenz in bpm (beats per minute)

Im Median stieg die Herzfrequenz der PDK Gruppe um 2,7% Prozent postoperativ und die der PVB Gruppe um 8,1% Prozent. Es konnten für keinen Zeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden.

5 Diskussion

5.1 Ergebnisse

5.1.1 Patientenkollektiv

Die beiden Patientengruppen sind gut miteinander vergleichbar, da sie sich in den Merkmalen Geschlechterverteilung (beide Gruppen jeweils 73% Männer und 27% Frauen), Altersdurchschnitt (PDK 62,2 Jahre; PVB: 63,7 Jahre), Größe (PDK 173,6 cm; PVB 173 cm), Gewicht (PDK 79,9kg; PVB 81,7 kg) und BMI (PDK: 26,3; PVB: 27,2) nicht signifikant voneinander unterscheiden.

5.1.2 Diskussion der postoperative Lungenfunktion

Der Stichprobenumfang der Studie betrug 63 Patienten und ist damit von mittlerem bis kleinen Umfang. Männer und Frauen sind auf beide Gruppen homogen verteilt. Die Herstellung einer Strukturgleichheit war durch die Randomisierung erfüllt. Eine Einfachverblindung erfolgte aus ethischen Gründen nicht. Start- und Endpunkte wurden klar für alle Teilnehmer definiert.

Zweck dieser Studie war es, herauszufinden, ob unter Verwendung des sonographisch angelegten Paravertebralkatheters die postoperative Lungenfunktion (gemessen an FEV₁, FVC und PEF) besser war als unter Verwendung des Periduralkatheters. Dies konnten wir nicht feststellen. Diese Studie, die den Vergleich der postoperativen Lungenfunktion zwischen den beiden Katheterverfahren (PDK und PVB) untersucht hat zeigt, dass sich zu keinem Zeitpunkt ein statistisch signifikanter Unterschied der Lungenfunktionsuntersuchung, gemessen in FEV₁, FVC und PEF zeigt. Auch die Sauerstoffsättigung, die Atemfrequenz und die Werte der arteriellen Blutgasanalyse zeigten unterstützend keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Diverse Studien haben bereits den generellen positiven Effekt eines Regionalverfahrens bei Thorakotomien, auf die postoperative Lungenfunktion untersucht [16, 54]. Bereits 1998 fanden Ballentyne et al in einer Metaanalyse heraus, dass der Periduralkatheter einer Verbesserung der Zwerchfellfunktion bewirkt und die daraus resultierende verbesserte Atemmechanik, zu einer besseren Sauerstoffversorgung und einer Verringerung der respiratorischen Insuffizienz führt [3]. Auch Von Dossow hat 2001 gezeigt, dass die Sympathikolyse für Vorteile in der Thoraxchirurgie sorgt. Während der häufig praktizierten Ein-Lungen-Ventilation wirkt sich der

Periduralkatheter positiv auf das Herzzeitvolumen (HZV) aus und verringert damit den pulmonalarteriellen Druck. Dadurch kommt es zu einer besseren Sauerstoffversorgung der noch beatmeten Lunge [10]. P. Feltracco et al haben ebenfalls den perioperativen Nutzen eines neuroaxialen Verfahrens in Ösophagusresektionen (Thorako-abdomineller Eingriff) in einer epidemiologischen Überprüfung von medizinischen Datenbanken untersucht und 2018 veröffentlicht, mit dem Ergebnis, dass Patienten schneller zu mobilisieren waren und die Lungenfunktion postoperativ schneller zufriedenstellende Ergebnisse lieferte. Auch die Nachbeatmung der Patienten verkürzte sich signifikant und die Inzidenz von Atelektasen und anderen pulmonalen Komplikationen konnte verringert werden [14].

Im Allgemeinen herrscht Einigkeit über die Vorteile eines rückenmarknahen Verfahrens zur Schmerztherapie. Auch der Paravertebralkatheter zeigt ähnliche Ergebnisse. Somit gibt es einiges an Literatur zum generellen Vergleich beider Katheterverfahren, hauptsächlich bezüglich des Schmerzniveaus. 1989 veröffentlichten P.J. Matthews und V. Govenden eine kleine Studie im British Journal of Anaesthesia, die den Paravertebralkatheter mit einem extraduralen Katheter verglichen. Sie stellten fest, dass beide Techniken eine gute Analgesie lieferten, sogar Hypotonie und Urinretention beim Paravertebralblock signifikant seltener auftraten [39]. 1992 veröffentlichte O Kirvelä eine Studie, in der herausgefunden wurde, dass Paravertebralblockaden sich als zuverlässige und sichere Methode zur einseitigen Schmerzlinderung nach Thorakotomie erwiesen [29]. Wir konnten ein ähnliches Ergebnis zeigen [48]. 1998, nahmen sich Richardson und Lönnqvist der Frage an, ob es Zeit für eine ‚Wiederbelebung‘ der Paravertebralblockade wäre und kamen zu dem Konsens, dass Paravertebralblockaden leicht zu erlernen sind, wenige Kontraindikationen aufweisen und aufgrund ihres geringen Nebenwirkungsprofils zu einer beschleunigten postoperativen Mobilisierung beitragen [55]. Aktuell Dezember 2019 zeigten Chaoyang Tong et al erneut, dass ein Paravertebralkatheter, in einer thoraxchirurgischen Operation, die Inzidenz von respiratorischen Komplikationen von 25% auf 9% senken kann [71].

Es scheint, dass beide Katheter sich positiv auf die Lungenfunktion auswirken und es ist naheliegend die Verfahren, insbesondere in Hinblick auf die Lungenfunktion zu vergleichen, um eventuelle Vorteile des einen oder des anderen herauszufinden. Dazu ist es sinnvoll ein paar Vergleichsstudien zu betrachten.

Bereits vor über 40 Jahren (1979) wurde von M.J. Eason und R. Wyatt ein kurzer Artikel veröffentlicht, in dem sie an die Paravertebralblockade ‚erinnerten‘. Sie diskutierten eine Neubewertung anhand von Fallstudien, dass die Paravertebralblockade, der Interkostal- oder der Periduralblockade, überlegen sei. Der Vergleich mit einem Periduralkatheter zeigte, dass die Technik ungefährlicher und leichter zu erlernen sei, was insbesondere bei unkooperativen Patienten und schwierigen anatomischen Verhältnissen, Vorteile hätte. Durch einseitige

sympathikolyse würde insbesondere bei älteren Patienten die Hypotonie minimiert werden [12]. Ein prospektiver randomisierter Vergleich von kontinuierlichen Periduralanalgesie und paravertebralen Injektion von Bupivacain bezüglich der Schmerzen, Lungenfunktion und Stressreaktionen von Richardson et al im Jahre 1999, zeigte, dass der PEF in der Gruppe der Paravertebralen Analgesie besser erhalten blieb und eine höhere Sauerstoffsättigung zu beobachten war. Der Paravertebralkatheter wurde jedoch intraoperativ durch den Chirurgen gelegt. Weiterhin unterschied sich ebenfalls der Beobachtungszeitraum, der nur 48h betrug [56].

Im gleichen Jahr veröffentlichten Sabanathan und Richardson dann eine Reszission aus 55 Studien mit insgesamt 1762 Patienten über die Spirometrie nach Thoraxchirurgischen Eingriffen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die wirksamste Methode zur Erhaltung der spirometrischen Funktion, die paravertebrale Analgesie war [57]. Jedoch wurden die Patienten in den meisten Studien, lediglich 48 h postoperativ untersucht und nicht 60h, wie in dieser Studie. Aber auch die Observation des 3. postoperativen Tages, ergab bei uns keine neuen Erkenntnisse. Des Weiteren erfolgte die Anlage des Paravertebralkatheters erneut intraoperativ vom Chirurgen.

Die bekannte Metaanalyse von Davies et al 2006 ergab keinen Unterschied zwischen der Paravertebralanalgesie im Vergleich zur epiduralen Applikation. Jedoch war der Paravertebralkatheter mit einer Verbesserung der Atemfunktion und einer Verringerung der Rate von pulmonalen Komplikationen verbunden. Es konnte gezeigt werden, dass der Paravertebralkatheter ein geeignetes Verfahren darstellt. Jedoch muss auch hier hinzugefügt werden, dass die Methode der Anlage des Katheters in der Vielzahl der Studien, wieder hauptsächlich durch den Operateur erfolgte [7]. Diese Metaanalyse wurde 2014 von Ding et al überarbeitet mit aktuelleren und qualitativ hochwertigeren Studien und beinhaltete 777 Patienten aus 18 kontrollierten randomisierten Studien. Der Hauptunterschied zu Davies war, dass sie keine signifikanten Unterschiede der postoperativen Lungenfunktion finden konnten [9]. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem unserer Studie. Eine weitere Metaanalyse bestätigte jedoch erneut, dass die Inzidenz von pulmonalen Komplikationen bei der PVB geringer sei als beim PDK [25].

Auch in der Metaanalyse von Scarci et al von 2010, wurden über 184 Veröffentlichungen verglichen, die zusammengefasst zeigten, dass der Paravertebralkatheter die gleiche Wirksamkeit aufzeigt, wie der Periduralkatheter, aber ein günstigeres Nebenwirkungsprofil bietet. Zudem sei die Komplikationsrate respiratorischer Insuffizienz verringert und die Rückkehr zu einer normalen Lungenfunktion schneller [61].

Eine Cochrane-Analyse zeigte einen Unterschied zwischen Paravertebralanalgesie und Periduralanalgesie bei den Hauptkomplikationen und der Dauer des Krankenhausaufenthalts und der 30-Tage-Mortalität [74]. Zum Vergleich muss erwähnt werden, dass wir in unserer Studie keine Informationen über die Dauer des Krankenhausaufenthaltes hatten, über die Mortalität

oder über die Langzeitergebnisse. Die Beobachtung fand lediglich 60 h postoperativ statt. Für zukünftige Studien wären Langzeitergebnisse von Vorteil.

2015 veröffentlichte R. Maytal et al eine Studie zum Vergleich der ultraschall-kontrollierten Paravertebralblockade mit einem Interkostalblock (intraoperativ angelegt) in Video-assistierten-thorakoskopischen Operationen (VATS). Hier konnte gezeigt werden, dass im Vergleich zu Interkostalblöcken, die Paravertebralblockade die Lungenfunktion besser erhält [40]. Jedoch muss beachtet werden, dass während einer VATS der Gewebeschaden deutlich geringer ist als bei einer Thorakotomie und somit Schmerzen und die daraus resultierende respiratorische Kompromittierung, weniger ausgeprägt sein können. 2016 wurde ebenfalls eine Untersuchung durchgeführt, in der die ultraschallkontrollierte Paravertebralblockade mit der intravenösen Analgesie bei mehreren gebrochenen Rippen bezüglich der Lungenfunktion beobachtet wurde. Hierbei wurde Das FEV₁ und der Tiffenau-Index herangezogen. Sie zeigte, dass die ultraschallgesteuerte Paravertebralanalgesie die arterielle Sauerstoffversorgung verbessert und die Probanden schneller wieder das Ausgangsniveau der Lungenfunktionsparameter erreichten [18]. Ein deutlicher Abfall zwischen 15 min Postblock und postoperativer Spirometrie war in unserer Studie ebenfalls zu verzeichnen, jedoch erreichten die Probanden über den Beobachtungszeitraum nicht ihr Ausgangsniveau. Gegebenenfalls wären Langzeitergebnisse hier interessant. Jüngste Überprüfungen von D'Ercole et al haben 2018 gezeigt, dass in den letzten 2 Jahrzehnten durchgeführte Metaanalysen, beide Verfahren für thoraxchirurgische Schmerztherapie als angemessen erachten. Jedoch betonten sie auch, dass es aktuell keinen Konsens über die optimale Anlage-Technik gibt. Um die richtige Auswahl zu treffen zwischen den beiden Verfahren, sollten zum einen die Nebenwirkungen eines Periduralkatheters beachtet, bewährte Verfahren bevorzugt und die Erfahrung des Anwenders in die Entscheidung mit einbezogen werden [8].

Umfragen zeigen, dass beide Verfahren bei der Thorakotomie vernachlässigt werden. Eine nationale Umfrage in Frankreich stellte fest, dass in thoraxchirurgischen Eingriffen, die Paravertebralanalgesie in Universitätskliniken 25-mal häufiger eingesetzt wurden [11].

Schlussfolgernd wurde in unserer Studie die Gleichwertigkeit beider Verfahren bewiesen. Weiterhin konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass der Paravertebralkatheter einen Vorteil bezüglich der Lungenfunktion im Vergleich mit diversen anderen Methoden zur Analgesie bieten kann. Ähnlich zu unserer Studie, konnten auch andere Untersuchungen keine deutliche Überlegenheit des Paravertebralkatheters bezüglich der Lungenfunktion zeigen [21, 54].

5.1.3 Diskussion des Verhaltens der Hämodynamik

Ein interessanter Aspekt, den es zusätzlich zu betrachten gilt, ist die Hämodynamik. In unserer Studie konnten wir keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Hämodynamik, gemessen an Herzfrequenz und mittlerem arteriellen Blutdruck nachweisen. 1993 verglichen Szebla et al die kontinuierliche Periduralanalgesie mit der kontinuierlichen Paravertebranalgesie am 60 Patienten in Lungeneingriffen auf Opiatverbrauch und Hämodynamik. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Paravertebranalgesie eine gute Alternative zur Schmerzkontrolle sein kann und die Wirkung auf Blutdruck und Herzfrequenz minimal sei. Daher könne diese Technik für Patienten mit gleichzeitiger Kreislauferkrankung empfohlen werden [68]. Diese Studie schloss jedoch lediglich ASA I und ASA II Patienten ein. Die bereits erwähnte Metaanalyse von Davies et al 2006 zeigte ebenfalls, dass die Hypotonie bei Patienten mit Paravertebralkatheter signifikant weniger zu verzeichnen war [7]. Ding et al, die 2014 diese Metaanalyse überarbeiteten, bestätigten dies erneut [9].

2012 publizierten Gamal et al eine Studie von 60 Probanden, die ebenfalls bestätigte, dass Hypotonien signifikant seltener in der Paravertebralkathetergruppe auftraten. Hier handelte es sich allerdings um Kinder im Alter von 1- 24 Monaten, die eine Thorakotomie erhielten [13]. Baidya et al führten 2014 eine systematische Überprüfung von 12 klinischen Studien und insgesamt 541 Patienten zum Vergleich eines PDKs und eines PVBs bei lungenchirurgischen Eingriffen durch, die ebenfalls bestätigte, dass Hypotonien in der PDK Gruppe häufiger auftraten [2]. 2015 untersuchten Okajima et al 90 Patienten in 2 Gruppen mit ultraschallgesteuerter Paravertebranalgesie und Periduralanalgesie auf die Zugabe eines Opiats zum Lokalanästhetikum. Sie konnten zeigen, dass bei dem Periduralkatheter, die Hypotonie signifikant häufiger auftrat als bei dem Paravertebralkatheter [46]. Hier wurden jedoch nur Video-assistierte Thorakoskopien beobachtet und nicht wie in unserer Studie, Thorakotomien, die ein wesentlich höheres Schmerzniveau aufweisen. Jüngste Erkenntnisse zeigten 2019 jedoch erneut, dass der Paravertebralkatheter keinen Vorteil bezüglich der Hämodynamik bietet [73]. Es zeichnet sich ein inhomogenes Bild ab. Insgesamt überwiegt in der Literatur dennoch der Konsens, dass bei dem Paravertebralkatheter weniger Nebenwirkungen, insbesondere Hypotonie, beobachtet werden konnten. Dies konnten wir nicht feststellen. In unserer Studie konnte zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Hämodynamik, festgestellt werden.

5.2 Komplikationen und Limitationen

5.2.1 Komplikationen

In dieser Studie kam es dazu, dass zwei Paravertebralkatheter intrapleural lagen, trotz sonographischer Kontrolle. Intraoperativ konnten diese vom Chirurgen korrigiert werden. Andere Komplikationen traten nicht auf. Mehrere Studien haben untersucht, wie häufig die Komplikationen, die Pleurale Punktion oder die Inzidenz eines Pneumothorax ist. Kelly et al veröffentlichte 2018 ein Review mit über 1000 Fällen in der Mamma Chirurgie. Es konnte gezeigt werden, dass sowohl bei unilateralen als auch bei bilateralen Paravertebralblockaden oder bei ultraschallgesteuerten Blockaden, kein statistisch signifikanter Unterschied in der Häufigkeit der Komplikationen nachgewiesen werden konnte [27]. Bei einer Bilateralen Technik stieg die Wahrscheinlichkeit einer versehentlichen Pleurapunktion und damit die des Pneumothorax um das Achtfache gegenüber der unilateralen Punktion, laut einer Studie von Naja et al 2001 [42].

5.2.2 Limitationen und Begrenzungen der Untersuchung

Es gilt zu bedenken, dass bei dieser Studie Limitierungen und Begrenzungen nicht zu vernachlässigen sind. Sie könnten Auswirkungen auf die erhobenen Daten und deren Ergebnis haben. Dies kann die Aussagekraft beeinträchtigen. Die Studie ist mit 63 Patienten von mittlerem bis kleinen Umfang. Beide Verfahren sind Standardverfahren, die zur Bekämpfung postoperativer Schmerzen nach Thorakotomien eingesetzt werden können. Wie bereits erwähnt, zeigen Umfragen, dass beide Verfahren bei der Thorakotomie vernachlässigt werden. Eine nationale Umfrage in Frankreich stellte fest, dass in thoraxchirurgischen Eingriffen, die Paravertebralanalgesie in Universitätskliniken 25-mal häufiger eingesetzt wurden [11]. Dies könnte ein Ansatz zur Verbesserung sein. Aus ethischen Gründen wurde diese Studie unverblindet durchgeführt und es wurde Wert auf hohe Transparenz dem Patienten gegenüber gelegt. Die Periduralanästhesie ist durch ihren Einsatz in der Geburtshilfe auch unter Nicht-Medizinern weit verbreitet. Das ist der Paravertebralkatheter nicht. Etwas ‚Neues‘ stößt oft auf Skepsis. Er wurde von den Patienten als dieser ‚andere‘ bzw. ‚neue‘ Schmerzkatheter wahrgenommen. Ein Patient benutzte scherzhaft das Wort ‚Versuchskaninchen‘. Die Einfachverblindung, könnte in zukünftigen Studien gegebenenfalls das Ergebnis verbessern. Zumindest was das Schmerzniveau betrifft.

Da nicht immer gewährleistet sein konnte, dass die Patienten an erster Stelle operiert wurden, hatte Uhrzeit der Operation, Einfluss auf die Werte, die am OP-Tag abends erhoben wurden. In vielen Fällen waren die Patienten schon wieder gut erholt auf Normalstation. Jedoch gab es ebenfalls diejenigen, die sich noch auf Intensivstation befanden und sich zu schwach für die Lungenfunktionsuntersuchung fühlten. Des Weiteren mussten einige Patienten auch noch bis zum nächsten Tag nachbeatmet werden, sodass unter maschineller Beatmung die Blutgasanalyse hinsichtlich der spontanen Lungenfunktion nicht ausgewertet werden konnte. Auch eine Spirometrie konnte nicht durchgeführt werden. Diese Datenlücken könnten zukünftig durch bessere Strukturierung der Abläufe zu schließen sein.

Weiterhin wurden beide Verfahren von erfahrenen und unerfahrenen Anästhesisten ausgeübt, sodass man von unterschiedlicher Qualität des Schmerzkatheters ausgehen kann. Auch die Daten wurden von zwei Doktoranden erhoben. Das wiederum könnte sich sowohl auf erhobene Parameter wie ‚Grad der Sedierung‘ auswirken, als auch auf die Spirometrie, bei der man den Patienten verbal motivieren sollte mitzuarbeiten.

Die wichtigste Limitation jedoch war, dass der Beobachtungszeitraum nur 60 Stunden betrug. Wir haben keinerlei Information zur Dauer des Gesamtaufenthaltes im Krankenhaus, Langzeitergebnissen oder Mortalität der Patienten. Weiterhin beinhaltete unser Patientenkollektiv nur Thoraxchirurgische Patienten. Ein Vergleich mit Gynäkologischen, Viszeralchirurgischen oder Herz-Thoraxchirurgischen Patienten wäre zukünftig interessant.

5.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Ultraschall gesteuerte Nervenblockaden sind aus der modernen Anästhesie nicht mehr wegzudenken. Fortschrittliche Technik und hochauflösende Bilder ermöglichen die genaue Darstellung von Zielstrukturen und der Punktionsnadel. Damit erhöht sich die Sicherheit für den Anästhesisten und für den Patienten. In Vergleich des Periduralkatheters und des Paravertebralkatheters in vorangegangenen Studien, wurde der Paravertebralkatheter meist intraoperativ von den Operateuren plaziert. Es herrscht noch keine Einigkeit darüber, welche Methode am effektivsten ist [8]. In dieser Studie wurde erstmals der sonografisch kontrolliert gelegte Paravertebralkatheter mit dem ‚Goldstandard‘ Periduralkatheter verglichen. Wir konnten zeigen, dass der sonographisch angelegte Paravertebralkatheter und der Periduralkatheter gleichwertig sind.

Als Fazit konnten wir feststellen, dass die Lungenfunktion bei beiden Katheterverfahren keine signifikanten Unterschiede zeigte. Die Fragen der Studie, ob es durch den

Paravertebralkatheter im Vergleich zum Periduralkatheter zu besseren Ergebnissen in der Lungenfunktion kommt, konnte beantwortet werden. Wir konnten herausfinden, dass beide Katheterverfahren gleich gut geeignet sind. Die postoperative Beeinträchtigung der Lungenfunktion unterschied sich nicht signifikant voneinander. Ebenso wenig wie die Sauerstoffsättigung, Atemfrequenz oder Werte der Blutgasanalyse. Auch bezüglich Herzfrequenz und arterieller Mitteldruck gab es keine Unterschiede zwischen den beiden Verfahren. Somit kann der ultraschallgesteuerte Paravertebralkatheter im Vergleich zum Periduralkatheter in Thorakotomien als gleichwertig angesehen werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Am Schulte Esch J, Bause H, Bein BH (2011) Anästhesie. Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie, 4. Aufl. Duale Reihe. Thieme, Stuttgart
2. Baidya DK, Khanna P, Maitra S (2014) Analgesic efficacy and safety of thoracic paravertebral and epidural analgesia for thoracic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 18(5):626–635. doi:10.1093/icvts/ivt551
3. Ballantyne JC, Carr DB, deFerranti S, Suarez T, Lau J, Chalmers TC, Angelillo IF, Mosteller F (1998) The Comparative Effects of Postoperative Analgesic Therapies on Pulmonary Outcome. *Anesthesia & Analgesia* 86(3):598–612. doi:10.1213/00000539-199803000-00032
4. Birnbaum J, Albrecht R (Hrsg) (2013) Ultraschallgestützte Regionalanästhesie. Nachvollziehbar, systematisch, praxisnah, 2. Aufl. Springer, Berlin
5. Byhahn C, Meininger D (2009) Thorakale Paravertebralblockade. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*:530–542. doi:10.1055/s-0029-1237108
6. C.-P. Criée et.al (2015 (aktuell in Überarbeitung)) S2k-Leitlinie der Deutschen Atemwegsliga, der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin und der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin zur Spirometrie
7. Davies RG, Myles PS, Graham JM (2006) A comparison of the analgesic efficacy and side-effects of paravertebral vs epidural blockade for thoracotomy--a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Br J Anaesth*:418–426. doi:10.1093/bja/ael020
8. D'Ercole F, Arora H, Kumar PA (2018) Paravertebral Block for Thoracic Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 32(2):915–927. doi:10.1053/j.jvca.2017.10.003
9. Ding X, Jin S, Niu X, Ren H, Fu S, Li Q (2014) A comparison of the analgesia efficacy and side effects of paravertebral compared with epidural blockade for thoracotomy: an updated meta-analysis. *PLoS One* 9(5):e96233. doi:10.1371/journal.pone.0096233
10. Dossow V von, Welte M, Zaune U, Martin E, Walter M, Rückert J, Kox WJ, Spies CD (2001) Thoracic epidural anesthesia combined with general anesthesia: the preferred anesthetic technique for thoracic surgery. *Anesthesia & Analgesia* 92(4):848–854. doi:10.1097/00000539-200104000-00010
11. Dualé C, Gayraud G, Taheri H, Bastien O, Schoeffler P (2015) A French Nationwide Survey on Anesthesiologist-Perceived Barriers to the Use of Epidural and Paravertebral Block in Thoracic Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 29(4):942–949. doi:10.1053/j.jvca.2014.11.006
12. Eason MJ, Wyatt R (1979) Paravertebral thoracic block-a reappraisal. *Anaesthesia* 34(7):638–642. doi:10.1111/j.1365-2044.1979.tb06363.x
13. El-Morsy GZ, El-Deeb A, El-Desouky T, Elsharkawy AA, Elgamal MAF (2012) Can thoracic paravertebral block replace thoracic epidural block in pediatric cardiac surgery? A

- randomized blinded study. *Ann Card Anaesth* 15(4):259–263. doi:10.4103/0971-9784.101848
14. Feltracco P, Bortolato A, Barbieri S, Michieletto E, Serra E, Ruol A, Merigliano S, Ori C (2018) Perioperative benefit and outcome of thoracic epidural in esophageal surgery: a clinical review. *Dis Esophagus* 31(5). doi:10.1093/dote/dox135
 15. Fibla JJ, Molins L, Mier JM, Hernandez J, Sierra A (2015) A randomized prospective study of analgesic quality after thoracotomy: paravertebral block with bolus versus continuous infusion with an elastomeric pump. *Eur J Cardiothorac Surg* 47(4):631–635. doi:10.1093/ejcts/ezu246
 16. Freise H, van Aken HK (2011) Risks and benefits of thoracic epidural anaesthesia. *Br J Anaesth* 107(6):859–868. doi:10.1093/bja/aer339
 17. Ganong WF (1972) Regulation der Atmung. In: Ganong WF, Auerswald W (Hrsg) *Medizinische Physiologie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 631–641
 18. Ge YY, Wang XZ, Yuan N, Yuan LY, Ma WH, Hu Y (2016) Effect of ultrasound guided patient-controlled paravertebral block on pulmonary function in patients with multiple fractured ribs. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 54(12):924–928. doi:10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2016.12.010
 19. Giebler RM, Scherer RU, Peters J (1997) Incidence of neurologic complications related to thoracic epidural catheterization. *Anesthesiology* 86(1):55–63. doi:10.1097/0000542-199701000-00009
 20. Gnädinger M, Curschellas M, Natterer N, Thurnherr R (2014) *Praxis-Spirometrie*. EMH Swiss Medical Publishers
 21. Gulbahar G, Kocer B, Muratli SN, Yildirim E, Gulbahar O, Dural K, Sakinci U (2010) A comparison of epidural and paravertebral catheterisation techniques in post-thoracotomy pain management. *Eur J Cardiothorac Surg* 37(2):467–472. doi:10.1016/j.ejcts.2009.05.057
 22. Guyton AC, Hall JE (2006) *Textbook of medical physiology*. Online access + interactive extras: studentconsult.com, 11. Aufl. Elsevier Saunders, Philadelphia, Pa.
 23. Haber P (2013) *Lungenfunktion und Spiroergometrie. Interpretation und Befunderstellung unter Einschluss der arteriellen Blutgasanalyse*, 3. Aufl. Springer, Vienna
 24. Heck M, Fresenius M, Busch C (Hrsg) (2017) *Repetitorium Anästhesiologie. Für die Facharztprüfung und das Europäische Diplom*, 8. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg
 25. Joshi GP, Bonnet F, Shah R, Wilkinson RC, Camu F, Fischer B, Neugebauer EAM, Rawal N, Schug SA, Simanski C, Kehlet H (2008) A systematic review of randomized trials evaluating regional techniques for postthoracotomy analgesia. *Anesth Analg* 107(3):1026–1040. doi:10.1213/01.ane.0000333274.63501.ff

26. Karmakar MK (2001) Thoracic paravertebral block. *Anesthesiology* 95(3):771–780. doi:10.1097/00000542-200109000-00033
27. Kelly ME, Mc Nicholas D, Killen J, Coyne J, Sweeney KJ, McDonnell J (2018) Thoracic paravertebral blockade in breast surgery: Is pneumothorax an appreciable concern? A review of over 1000 cases. *Breast J* 24(1):23–27. doi:10.1111/tbj.12831
28. Keys A, Fidanza F, Karvonen MJ, Kimura N, Taylor HL (1972) Indices of relative weight and obesity. *Journal of Chronic Diseases* 25(6-7):329–343. doi:10.1016/0021-9681(72)90027-6
29. Kirvelä O, Antila H (1992) Thoracic paravertebral block in chronic postoperative pain. *Reg Anesth* 17(6):348–350
30. Kochs E, Adams HA, Spies C (Hrsg) (2009) *Anästhesiologie*. 21.3. Rückenmarksnahe Anästhesieverfahren. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
31. Krediet AC, Moayeri N, van Geffen G-J, Bruhn J, Renes S, Bigeleisen PE, Groen GJ (2015) Different Approaches to Ultrasound-guided Thoracic Paravertebral Block: An Illustrated Review. *Anesthesiology* 123(2):459–474. doi:10.1097/ALN.0000000000000747
32. Kroegel C, Bonella F (Hrsg) (2014) *Klinische Pneumologie*. Das Referenzwerk für Klinik und Praxis, 1. Aufl. Thieme, Stuttgart
33. Larsen R (2013) *Anästhesie*, 10. Aufl. Urban & Fischer in Elsevier, München
34. Lebowitz MD (Hrsg) (1997) Peak expiratory flow. *European respiratory journal Supplement*, Bd 24. Munksgaard, Copenhagen
35. Leuwer M, Marx G, Trappe H-J, Zuzan O (2014) *Checkliste Intensivmedizin*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
36. Lüllmann H, Mohr K, Hein L, Kuschinsky G (2010) *Pharmakologie und Toxikologie*. Arzneimittelwirkungen verstehen - Medikamente gezielt einsetzen ; ein Lehrbuch für Studierende der Medizin, der Pharmazie und der Biowissenschaften, eine Informationsquelle für Ärzte, Apotheker und Gesundheitspolitiker, 17. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
37. Luppä PB (2008) Allgemeine analytische Prinzipien. In: Luppä PB, Schlebusch H (Hrsg) *POCT — Patientennahe Labordiagnostik*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 31–41
38. Luppä PB, Schlebusch H (Hrsg) (2008) *POCT — Patientennahe Labordiagnostik*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
39. Matthews PJ, Govenden V (1989) Comparison of continuous paravertebral and extradural infusions of bupivacaine for pain relief after thoracotomy. *Br J Anaesth* 62(2):204–205. doi:10.1093/bja/62.2.204
40. Matyal R, Montealegre-Gallegos M, Shnider M, Owais K, Sakamuri S, Shakil O, Shah V, Pawlowski J, Gangadharan S, Hess P (2015) Preemptive ultrasound-guided

- paravertebral block and immediate postoperative lung function. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 63(1):43–48. doi:10.1007/s11748-014-0442-6
41. Moen V, Dahlgren N, Irestedt L (2004) Severe neurological complications after central neuraxial blockades in Sweden 1990-1999. *Anesthesiology* 101(4):950–959. doi:10.1097/00000542-200410000-00021
 42. Naja Z, Lönnqvist PA (2001) Somatic paravertebral nerve blockade. Incidence of failed block and complications. *Anaesthesia* 56(12):1184–1188. doi:10.1046/j.1365-2044.2001.02084-2.x
 43. Niiyama Y, Kawamata T, Shimizu H, Omote K, Namiki A (2005) The addition of epidural morphine to ropivacaine improves epidural analgesia after lower abdominal surgery. *Can J Anaesth* 52(2):181–185. doi:10.1007/BF03027726
 44. O Riain SC, Donnell BO, Cuffe T, Harmon DC, Fraher JP, Shorten G (2010) Thoracic paravertebral block using real-time ultrasound guidance. *Anesth Analg* 110(1):248–251. doi:10.1213/ANE.0b013e3181c35906
 45. Oczenski W (2012) Präoperative pulmonale Risikoeinschätzung. In: Oczenski W (Hrsg) *Atmen – Atemhilfen*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
 46. Okajima H, Tanaka O, Ushio M, Higuchi Y, Nagai Y, Iijima K, Horikawa Y, Ijichi K (2015) Ultrasound-guided continuous thoracic paravertebral block provides comparable analgesia and fewer episodes of hypotension than continuous epidural block after lung surgery. *J Anesth*:373–378. doi:10.1007/s00540-014-1947-y
 47. Pawa A, Wojcikiewicz T, Barron A, El-Boghdady K (2019) Paravertebral Blocks: Anatomical, Practical, and Future Concepts. *Curr Anesthesiol Rep* 9(3):263–270. doi:10.1007/s40140-019-00328-x
 48. Pfeifer C-S (2017) Thorakale epidurale oder paravertebrale Analgesie : ein Vergleich der Schmerzen und Nebenwirkungen nach thoraxchirurgischen Eingriffen. Universität des Saarlandes
 49. Pogatzki-Zahn EM, Becker M (2008) Postoperative Schmerztherapie. Pathophysiologie, Pharmakologie und Therapie ; 99 Tabellen. Thieme, Stuttgart
 50. Pöpping DM, Elia N, Marret E, Remy C, Tramèr MR (2008) Protective effects of epidural analgesia on pulmonary complications after abdominal and thoracic surgery: a meta-analysis. *Arch Surg* 143(10):990-9; discussion 1000. doi:10.1001/archsurg.143.10.990
 51. Pöpping DM, Elia N, van Aken HK, Marret E, Schug SA, Kranke P, Wenk M, Tramèr MR (2014) Impact of epidural analgesia on mortality and morbidity after surgery: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Ann Surg* 259(6):1056–1067. doi:10.1097/SLA.0000000000000237

52. Quackenboss JJ, Lebowitz MD, Krzyzanowski M (1991) The normal range of diurnal changes in peak expiratory flow rates. Relationship to symptoms and respiratory disease. *Am Rev Respir Dis* 143(2):323–330. doi:10.1164/ajrccm/143.2.323
53. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, Enright PL, Hankinson JL, Ip MSM, Zheng J, Stocks J (2012) Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J* 40(6):1324–1343. doi:10.1183/09031936.00080312
54. Raveglia F, Rizzi A, Leporati A, Di Mauro P, Cioffi U, Baisi A (2014) Analgesia in patients undergoing thoracotomy: epidural versus paravertebral technique. A randomized, double-blind, prospective study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 147(1):469–473. doi:10.1016/j.jtcvs.2013.09.024
55. Richardson J, Lönnqvist PA (1998) Thoracic paravertebral block. *Br J Anaesth* 81(2):230–238. doi:10.1093/bja/81.2.230
56. Richardson J, Sabanathan S, Jones J, Shah RD, Cheema S, Mearns AJ (1999) A prospective, randomized comparison of preoperative and continuous balanced epidural or paravertebral bupivacaine on post-thoracotomy pain, pulmonary function and stress responses. *Br J Anaesth* 83(3):387–392. doi:10.1093/bja/83.3.387
57. Richardson J, Sabanathan S, Shah R (1999) Post-thoracotomy spirometric lung function: the effect of analgesia. A review. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 40(3):445–456
58. Roewer NR, Thiel H, Wirth J (2013) Taschenatlas Anästhesie, 5. Aufl. Thieme, Stuttgart
59. Rothe T (2012) Lungenfunktion leicht gemacht. Mit zusätzlichen Kapiteln für die FeNO-Messung, Blutgasanalyse, Diagnostik und Therapie der Schlafapnoe und Ergospirometrie ; Script zur nicht-invasiven pneumologischen Diagnostik für Studenten, Klinik und Praxis, 7. Aufl. Jungjohann, Neckarsulm
60. Ruppen W, Derry S, McQuay H, Moore RA (2006) Incidence of epidural hematoma, infection, and neurologic injury in obstetric patients with epidural analgesia/anesthesia. *Anesthesiology* 105(2):394–399. doi:10.1097/00000542-200608000-00023
61. Scarci M, Joshi A, Attia R (2010) In patients undergoing thoracic surgery is paravertebral block as effective as epidural analgesia for pain management? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 10(1):92–96. doi:10.1510/icvts.2009.221127
62. Schmidt RF, Lang F (Hrsg) (2007) Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie ; [+ IMPP-Fragen Physiologie online, 30. Aufl. Springer-Lehrbuch. Springer Medizin, Heidelberg
63. Singhal S, Bala M, Kaur K (2014) Identification of epidural space using loss of resistance syringe, infusion drip, and balloon technique: A comparative study. *Saudi J Anaesth* 8(Suppl 1):S41-5. doi:10.4103/1658-354X.144070

64. Sprigge JS, Harper SJ (2008) Accidental dural puncture and post dural puncture headache in obstetric anaesthesia: presentation and management: a 23-year survey in a district general hospital. *Anaesthesia* 63(1):36–43. doi:10.1111/j.1365-2044.2007.05285.x
65. Standl T, Am Schulte Esch J, Treede R-D, Schäfer M, Bardenheuer HJ (Hrsg) (2010) Schmerztherapie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
66. STENSETH R, BJELLA L, BERG E, GISVOLD S, CHRISTENSEN O, LEVANG O (1996) Effects of thoracic epidural analgesia on pulmonary function after coronary artery bypass surgery. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 10(10):859–865. doi:10.1016/s1010-7940(96)80311-3
67. Striebel HW (Hrsg) (2019) Die Anästhesie. Grundlagen, Formen der Allgemeinanästhesie, Lokal- und Regionalanästhesie, Besonderheiten, Narkoseprobleme, 4. Aufl, Bd 1. Thieme, Stuttgart
68. Szebla R, Machała W (2008) Porównanie skuteczności ciągłego znieczulenia zewnątrzoponowego i przykręgowego podczas operacji płucnych, In Englisch: Continuous epidural anaesthesia vs paravertebral block for lung surgery--a comparative study. *Anestezjol Intens Ter* 40(3):152–155
69. Teschler H, van Gestel A (2009) Physiotherapie bei chronischen Atemwegs- und Lungenerkrankungen. Evidenzbasierte Praxis, 1. Aufl. Springer-Verlag, s.l.
70. Thiel H, Roewer N (2021) Anästhesiologische Pharmakotherapie. Von den Grundlagen der Pharmakologie zur Medikamentenpraxis, 4. Aufl. Thieme, Stuttgart
71. Tong C, Zhu H, Li B, Wu J, Xu M (2019) Impact of paravertebral blockade use in geriatric patients undergoing thoracic surgery on postoperative adverse outcomes. *J Thorac Dis* 11(12):5169–5176. doi:10.21037/jtd.2019.12.13
72. Trautmann A, Kleine-Tebbe J (2018) 12 Asthma. In: Trautmann A, Kleine-Tebbe J (Hrsg) *Allergologie in Klinik und Praxis*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
73. Wojtyś ME, Wąsikowski J, Wójcik N, Wójcik J, Wasilewski P, Lisowski P, Grodzki T (2019) Assessment of postoperative pain management and comparison of effectiveness of pain relief treatment involving paravertebral block and thoracic epidural analgesia in patients undergoing posterolateral thoracotomy. *J Cardiothorac Surg* 14(1):78. doi:10.1186/s13019-019-0901-3
74. Yeung JHY, Gates S, Naidu BV, Wilson MJA, Gao Smith F (2016) Paravertebral block versus thoracic epidural for patients undergoing thoracotomy. *Cochrane Database Syst Rev* 2:CD009121. doi:10.1002/14651858.CD009121.pub2

7 Danksagung

Mein Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.med. Thomas Volk, für die Hilfe bei der Durchführung meiner Promotion. Ein besonderer Dank gilt ebenfalls meinem Betreuer Priv.-Doz. Dr. med. Sven Oliver Schneider, der mir zu jeder Zeit geholfen hat.

Ein weiterer Dank gilt meinen Eltern, sowie Freunden und der Familie für die Unterstützung.

8 Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

9 Anhang

CRF TEA-PVA version 2.0		präoperativ	postblock						
	item\time	d0 (__. __. __)	15min	d0ab (__: __)	d1mo (__: __)	d1ab (__: __)	d2mo (__: __)	d2ab (__: __)	d3nachvis (__)
Pat	FallNr								
	Gewicht (kg)								
	Größe (cm)								
	Geschlecht 8m/w)								
Blutdruck	RRsys								
	RRdiast								
Herzfrequenz	HF ruhe								
Schmerz	Analgetika-einnahme: (rückblickend)								
	NRS ruhe (0-10)								
	NRS hust (0-10)								
	NRS max (rückbl.)								
Katheteranlage	Höhe								
	Anlageprozesszeit								
	Komplikationen:								
Mobilisierung	Pat. Kann: Bettkante/Stehen/ein geschränkt gehen/ uneingeschränkt gehen								
	Sens Niveau li (cran./caud.)								
	Sens Niveau re (cran./caud.)								
Rö Thx	Pneumonie/Atelektase j/n								wenn vorh.
Lunge	Atemfrequenz								
	FeV1								
	PEFluss								
	FVC								
Triflo	Höhe erster Ball (cm)								
	Höhe zweiter Ball (cm)								
	Höhe dritter Ball (cm)								
Sättigung	pSO2								
BGA	paCO2								
	paO2								
	pH								
Nebenwirkungen	Sedierung (1-5)								
	Pruritus (1-3)								
	Übelkeit (1-3)								
	Erbrechen (Anzahl)								
	Harndrang (j/n)								
	Harnvolumen (ggf)								
Opioidverbrauch	B-Kath-anlage notw. j/n/liegt								
	im Rescue								

Abbildung 23 Case Report Form (CRF)