

Aus der Klinik für Anästhesiologie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Onlineumfrage zur Evaluation der Volumenreagibilität bei kritisch kranken Patienten
anhand des Passive Leg Raise Test

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Tisa-Anna van Gemmern
Aus Freiburg im Breisgau

Mainz, 2025

Wissenschaftlicher Vorstand:	Univ.-Prof. Dr. med. Philipp Drees
1. Gutachter:	Prof. Dr. Marc Kriege
2. Gutachter:	Prof. Dr. med. Stefan Sebastian Heinrich
Tag der Promotion:	19.06.2026
Nachnutzungslizenz:	CC-BY-4.0

Für alle, die mich unterstützt haben

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung	1
2 Literaturdiskussion	2
2.1 Physiologische Grundlagen der Volumenreagibilität.....	2
2.2 Hämodynamisches Monitoring	3
2.2.1 Statische Vorlastparameter	4
2.2.2 Dynamische Vorlastparameter	5
2.2.3 Klinische Messung des Herzzeitvolumens mithilfe von transpulmonaler Thermodilution, Pulskonturanalyse und Pulmonalarterieller Katheter (PAK)	6
2.2.4 Klinische Messung des Herzzeitvolumens mithilfe von Echokardiografie	8
2.3 Klinische Tests zur Vorhersage der Volumenreagibilität.....	9
2.3.1 Tidal Volume-Test.....	9
2.3.2 End-Expiratory Occlusion-Test.....	10
2.3.3 Maxi-Volume-Challenge	10
2.3.4 Mini-Volume-Challenge.....	11
2.3.5 Passive Leg Raise-Test	12
2.4 Vergleich der verschiedenen Verfahren	14
3 Methoden.....	17
3.1 Fragestellung und Hypothesen.....	17
3.2 Statistisches Vorgehen.....	18
3.3 Stichprobenrekrutierung	19
3.4 Ein- und Ausschlusskriterium	20
3.5 Studienablauf	20
3.5.1 Einverständniserklärung und Online-Erhebung	20
3.5.2 Fragebogen.....	21
3.5.3 Punktevergabe und Scores	21
4 Ergebnisse	22

4.1	Deskriptive Statistik der Scores	22
4.2	Demographische Charakteristika der Teilnehmer	24
4.3	Analyse der Ergebnisse der Teilnehmer der Herzchirurgie und Anästhesiologie mithilfe eines T-Tests	26
4.4	Analyse der Ergebnisse der Teilnehmer der Herzchirurgie und Anästhesiologie mithilfe eines Chi-Quadrat-Tests	28
4.5	Subgruppenanalyse mithilfe einer ANOVA bezüglich Score 1	31
4.6	Subgruppenanalyse mithilfe einer ANOVA bezüglich Score 2	34
4.7	Subgruppenanalyse mithilfe einer ANOVA bezüglich Score 3	37
4.8	Subgruppenanalyse mithilfe eines T-Tests	42
5	Diskussion	44
5.1	Diskussion der Ergebnisse	44
5.2	Limitationen	48
6	Zusammenfassung	50
7	Literaturverzeichnis	51
8	Anhang	56
9	Danksagung	70
10	Tabellarischer Lebenslauf	71

Abkürzungsverzeichnis

AWMF	Arbeitsgemeinschaft Fachgesellschaften	der	Wissenschaftlichen	Medizinischen
EEOT	Endexpiratorischer Okklusionstest End-Expiratory Occlusion-Test			
EIO	Endinspiratorische Okklusion End-Inspiratory Occlusion			
GRV	Grund- und Regelversorgung			
HZV	Herzzeitvolumen			
KG	Körpergewicht			
KH	Krankenhaus			
LVEDP	Linksventrikulärer Enddiastolischer Druck Left-Ventricular End-Diastolic Pressure			
LVOT	Linksventrikulärer Ausflusstrakt Left-Ventricular Outflow Tract			
MAP	Mittlerer arterieller Druck Mean Arterial Pressure			
PAK	Pulmonalarterieller Katheter			
PiCCO	Pulse (i) Contour Cardiac Output			
PLR	Passive Leg Raise Test			
PPV	Pulsdruckvariation Pulse Pressure Variation			
PCWP	Pulmonalkapillärer Wedge-Druck Pulmonary Capillary/Arterial Wedge Pressure			

RVEDP	Rechtsventrikulärer enddiastolischer Druck Right-Ventricular End-Diastolic Pressure
SHT	Schädelhirntrauma
Sig.	Signifikanz
SV	Schlagvolumen
SVV	Schlagvolumenvariation Stroke Volume Variation
TTE	Transthorakale Echokardiographie
TEE	Transösophageale Echokardiographie
VTI	Velocity Time Integral
ZVD	Zentralvenöser Druck

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Durchführung des Passive Leg Raise-Test.....	14
Abbildung 2: Fließdiagramm zur Auswahl der Krankenhäuser.....	19
Abbildung 3: Fließdiagramm zur Auswahl der teilnehmenden Krankenhäuser	20
Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung von Score 1 (Allgemeine Leistungsfähigkeit).....	23
Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung von Score 2 (Korrekte PLR-Durchführung).....	23
Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung von Score 3 (Kenntnis der PLR-Limitationen).....	24
Abbildung 7: Mittelwerte der Bettenkapazitäten von Score 1	33
Abbildung 8: Mittelwerte der Versorgungsstufen von Score 1	34
Abbildung 9: Mittelwerte der Funktionen von Score 2	36
Abbildung 10: Mittelwerte der Fachrichtungen von Score 2	37
Abbildung 11: Mittelwerte der Fachrichtungen von Score 3	39
Abbildung 12: Mittelwerte der Patientenversorgung von Score 3	40
Abbildung 13: Mittelwerte der Bettenkapazitäten von Score 3	41
Abbildung 14: Mittelwerte der Versorgungsstufen von Score 3	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Häufigsten Einschränkungen beim Einsatz der PPV	6
Tabelle 2: Charakteristika der verschiedenen Testwerte und Testverfahren	16
Tabelle 3: Deskriptive Statistik der Scores.....	22
Tabelle 4: Demographische Charakteristika - Qualifikation und Position	25
Tabelle 5: Demographische Charakteristika - Arbeitsplatzcharakteristika	26
Tabelle 6: Statistik der Scores für das Fachgebiet Herzchirurgie mithilfe eines T-Tests	27
Tabelle 7: Statistik der Scores für das Fachgebiet Anästhesiologie mithilfe eines T-Tests ...	28
Tabelle 8: Angaben der Befragten zu korrekter Durchführung, Zielgröße und Effektstärke...	29
Tabelle 9: Angaben der Befragten zu Limitationen	31
Tabelle 10: Subgruppenanalyse bezüglich Score 1	31
Tabelle 11: Subgruppenanalyse bezüglich Score 2	34
Tabelle 12: Subgruppenanalyse bezüglich Score 3	38
Tabelle 13: Subgruppenanalyse bezüglich Score 1	43
Tabelle 14: Subgruppenanalyse bezüglich Score 2	43
Tabelle 15: Subgruppenanalyse bezüglich Score 3	44

1 Einleitung

Auf Intensivstationen werden durch moderne Technologien kombiniert mit hochspezialisiertem Fachwissen vital bedrohliche Erkrankungen kritisch kranker Patienten therapiert. Die Patientenbehandlung erfordert hierbei einen multidisziplinären Therapieansatz. Die Volumentherapie stellt in der klinischen Versorgung einen etablierten therapeutischen Standard dar. Die präzise Vorhersage der Volumenreagibilität ist hierbei von klinischer Relevanz.

Für die Entwicklung effektiver Monitoringverfahren des Volumenstatus wurden in den letzten Jahren verschiedene Parameter entwickelt, welche primär auf Messung kurzfristiger Veränderungen des Herzzeitvolumens bei kurzfristigen Vorlastmodifikationen basieren.

Der Passive Leg Raise-Test (PLR) ist ein wichtiges Verfahren in der Vorhersage der Volumenreagibilität bei kritisch kranken Patienten (1). Die Validität dieses Verfahrens wurde in mehreren Studien untersucht. Monnet & Teboul (2) konnten in einer systematischen Metaanalyse eine hohe diagnostische Genauigkeit des PLR-Tests für die Prädiktion der Volumenreagibilität nachweisen. Obwohl der Test methodisch simpel erscheint, erfordert seine korrekte Durchführung und Interpretation die strikte Beachtung von Voraussetzungen und Qualitätskriterien. Eine ungenaue Durchführung kann zu fehlerhaften Messergebnissen führen, welche die therapeutische Entscheidungsfindung beeinflussen kann und eine insuffiziente Volumentherapie bedingen kann. Der PLR gilt aufgrund seiner praktischen Anwendbarkeit als wichtiges Diagnostikum im klinischen Alltag (3).

Die Adhärenz deutscher Intensivmediziner zu den etablierten Empfehlungen für die korrekte PLR-Durchführung sowie die tatsächliche klinische Durchführung dieses Verfahrens wurden bislang nicht systematisch untersucht. Obwohl die aktuelle S3-Leitlinie "Intravasale Volumentherapie beim Erwachsenen" der AWMF explizite Empfehlungen formuliert (3), existieren keine Daten zur genauen Implementierung dieser Empfehlungen in der deutschen Intensivmedizin. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war die Evaluation der aktuellen klinischen Praxis und die Erfassung der leitliniengerechten PLR-Anwendung. Dabei fanden Fachgruppen mit regelmäßigem Umgang zum hämodynamischen Monitoring besondere Berücksichtigung, darunter Anästhesisten und Intensivmediziner der Herzchirurgie.

Die vorliegende Dissertation gliedert sich in fünf Abschnitte. Im Anschluss an die Einleitung erfolgt in Kapitel 2 eine Literaturdiskussion, welche die physiologischen Grundlagen der Volumenreagibilität, die verschiedenen Verfahren des hämodynamischen Monitorings sowie die etablierten klinischen Tests zur Vorhersage der Volumenreagibilität beschreibt. Das dritte Kapitel erläutert die angewandte Methodik, einschließlich der Stichprobenrekrutierung, des Versuchsablaufs und der statistischen Auswertungsverfahren der vorliegenden Studie. Die

Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung werden in Kapitel 4 aufgelistet, wobei deskriptive und vergleichende statistische Analysen zur Darstellung kommen. Abschließend erfolgt in Kapitel 5 eine Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse unter Berücksichtigung der methodischen Limitationen. Die Zusammenfassung der Erkenntnisse dieser Dissertation wird in Kapitel 6 dargelegt.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden auf die gleichzeitige Verwendung männlicher, weiblicher und diverser Sprachformen verzichtet. Alle personenbezogenen Bezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

2 Literaturdiskussion

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über den aktuellen Wissensstand zur Volumenreagibilität und deren klinischer Relevanz. Dabei werden zunächst die physiologischen Grundlagen erläutert, gefolgt von einer Darstellung der verfügbaren Monitoring-Verfahren und klinischen Tests zur Vorhersage der Volumenreagibilität.

2.1 Physiologische Grundlagen der Volumenreagibilität

Die kontinuierliche hämodynamische Überwachung des Herzzeitvolumens (HZV) ist essenziell, um rechtzeitig therapeutische Maßnahmen zur Optimierung der Hämodynamik bei kritisch kranken Patienten zu ergreifen (3). Ein wichtiger Faktor ist dabei die Volumenreagibilität. Für eine gezielte Optimierung der Flüssigkeitstherapie ist das Verständnis der zugrundeliegenden physiologischen Mechanismen maßgeblich.

Volumenreagibilität beschreibt das Vermögen des Herz-Kreislauf-Systems, auf eine Volumenzufuhr mit einer Steigerung des Herzzeitvolumens zu reagieren (4).

Die Hauptdeterminante ist das Schlagvolumen, das von der Vorlast, Nachlast und Inotropie des Herzens abhängt. Die Vorlast ist definiert als die enddiastolische Wandspannung der Ventrikel. Sie steht maßgeblich für die Dehnung der Herzmuskelfasern während der Diastole und hängt vor allem vom zentralen Venendruck (ZVD) ab. Die kardiale Nachlast entspricht der Wandspannung, die während der Systole im linken Ventrikel herrscht. Diese wird vorwiegend durch den Druck in der Aorta bestimmt. Als Inotropie wird die von der Vordehnung und der Herzfrequenz unabhängige Kontraktionsfähigkeit des Ventrikels bezeichnet, die beispielsweise durch Medikamente beeinflusst werden kann (5).

Zur genaueren Beschreibung der Volumenreagibilität dient der Frank-Starling-Mechanismus (4). Nach diesem Wirkmechanismus führt eine Zunahme der Herzkammerfüllung zu einer adaptiven Reaktion mit Erhöhung der Kontraktionskraft und damit einem vergrößerten Schlagvolumen bei der darauffolgenden Systole. Umgekehrt nimmt das Schlagvolumen bei vermindertem venösem Rückstrom und reduziertem enddiastolischem Volumen entsprechend ab. Durch negative Rückkopplung kehrt das System nach jeder vorübergehenden Änderung zur Ausgangslage zurück (6). Dieses Verständnis ermöglicht durch gezielte Volumensubstitution das Herzzeitvolumen bei volumenresponsiven Patienten effektiv zu steigern.

Der tatsächliche Nutzen der Volumensubstitution im Hinblick auf eine Erhöhung des HZV muss immer vor dem Risiko einer Volumenüberladung und Auftreten von Komplikationen abgewogen werden. Ohne Tests, die die Reaktion des Herzzeitvolumens auf die Volumenexpansion vorhersagen, zeigt nur etwa die Hälfte der Patienten eine Volumenreagibilität an (4). Im klinischen Alltag wird der Begriff „Responder“ für volumenreagible Patienten und „Non-Responder“ für Patienten, bei denen keine signifikante Steigerung des HZV auftritt, verwendet (7). Bleibt die hämodynamische Verbesserung aus, resultiert dies unvermeidlich in einer Hämodilution, erhöhten kardialen Füllungsdrücken und schließlich einer Flüssigkeitsüberlastung. Nach aktueller Studienlage können diese Komplikationen zu einer Verlängerung der Beatmungsdauer und einer erhöhten Sterblichkeit führen (8). Vor der Volumengabe sollte demnach ein Test zur Erfassung der Volumenreagibilität erfolgen, welcher idealerweise reproduzierbar, risikoarm, kosteneffektiv und zuverlässig unter unterschiedlichen Bedingungen ist.

In den folgenden Abschnitten werden die verschiedenen Verfahren erläutert, die zur Einschätzung der Volumenreagibilität eingesetzt werden.

2.2 Hämodynamisches Monitoring

Die Überwachung von kritisch kranken Patienten auf Intensivstationen erfordert ein hämodynamisches Monitoring, welches die Steuerung der Therapie sowie die Überwachung der Herz-Kreislauf-Funktionen ermöglicht. Das Monitoring erfolgt klinisch und apparativ je nach Patient entsprechend angepasst an kardiovaskulären Begleiterkrankungen und hämodynamischen Zustand. Bei Patienten ohne aktuelle Beeinträchtigungen der Herz-Kreislauf-Funktion kann ein nicht-invasives Basismonitoring ausreichend sein, welches aus Elektrokardiogramm, intermittierender nicht-invasiver Messung des systemischen Blutdrucks und pulsoxymetrischer Bestimmung der Sauerstoffsättigung des Blutes besteht. Für ein

erweitertes invasives Monitoring bei hämodynamisch instabilen Patienten ist die Platzierung invasiver Katheter erforderlich, beispielsweise arteriell, zentralvenös oder pulmonalarteriell (9).

2.2.1 Statische Vorlastparameter

Statische Vorlastparameter sind traditionelle Parameter, die zu einem Zeitpunkt den Zustand der Herzkammern ohne Berücksichtigung der dynamischen Änderungen während des Herzaktion erfassen.

In der klinischen Praxis werden der zentralvenöse Druck (ZVD) als Näherungswert für den rechtsventrikulären enddiastolischen Drucks (RVEDP) und der pulmonalkapilläre Verschlussdruck (PCWP) als Näherungswert für den linksventrikulären enddiastolischen Druck (LVEDP) verwendet (10). Die ZVD-Messung erfolgt durch Platzierung eines Katheters in der oberen Hohlvene auf Höhe des rechten Vorhofs und die Messung des PCWP durch Katheterisierung einer Pulmonalarterie und temporären Verschluss eines ihrer Äste (9).

Bei Verwendung des ZVD als auch des PCWP müssen wichtige Limitationen beachtet werden. ZVD und PCWP sind etablierte Parameter zur Messung der kardialen Vorlast (9). Diese Parameter erweisen sich jedoch als unzureichende Prädiktoren der Volumenreagibilität, da beispielsweise die Änderung des ZVD lediglich bei weitgehend ungestörter rechtsventrikulärer Funktion zuverlässig Veränderungen des RVEDP und damit indirekt der Vorlast widerspiegelt (11, 12). Zudem ist zu berücksichtigen, dass der linke Ventrikel eine geringere Compliance als der rechte aufweist. Dadurch sind höhere Füllungsdrücke erforderlich (11). Kardiale Pathologien können zudem die Compliance erheblich verändern (9). Die Druck-Volumen-Beziehung der Ventrikel ist darüber hinaus nicht linear und zeigt große individuelle Unterschiede (4). Die Zufuhr von Katecholaminen und erhöhter abdomineller Druck kann auch zu Veränderungen des ZVDs und PCWPs führen, die nicht automatisch zu einer Zunahme der Vorlast führen (11). Für die Steuerung des Volumenmanagement sollte nach aktueller S3-Leitlinie der ZVD nicht mehr verwendet werden (3).

Trotz der wissenschaftlich belegten Limitationen zeigen Studien, dass diese Parameter in der klinischen Routine weiterhin häufig genutzt werden (13). In einer Umfrage zur hämodynamischen Überwachung von Patienten während Hochrisikoperationen machten 73 % der amerikanischen und 84 % der europäischen Anästhesisten die Angabe, dass sie den ZVD für das Flüssigkeitsmanagement verwenden (14). Obwohl die Eignung dieser Parameter als Prognose- und Steuerungsinstrument der Volumenreagibilität begrenzt sind, kann die Messung von statischen Parametern dennoch von Nutzen sein. Dies ist insbesondere bei der Ermittlung des systemischen Perfusionsdrucks der Fall (15).

Im Vergleich dazu liefert der PLR als klinischer Test eine funktionelle Einschätzung der Volumenreagibilität. Dieser bewirkt eine reversible Volumenverschiebung, deren tatsächliche hämodynamische Effekte unmittelbar messbar sind (16).

2.2.2 Dynamische Vorlastparameter

Im Gegensatz zu statischen Parametern ermöglichen dynamische Parameter bei der hämodynamischen Überwachung eine funktionelle Beurteilung durch Messung von „Stroke Volume Variation“ (SVV) und „Pulse Pressure Variation“ (PPV) (16).

Die physiologische Grundlage hinter der SVV-Messung beruht auf dem Konzept der kardiopulmonalen Interaktion während der Überdruckbeatmung: Die zugrunde liegende Theorie basiert auf der Annahme, dass bei der Beatmung durch die Ausdehnung der Lunge die Vorlast des rechten Ventrikels durch Kompression der Vena cava superior bei erniedrigtem venösem Rückfluss verringert wird. Übertragen auf die linke Seite des Herzens führt dies zu einer Verringerung der Vorlast des linken Ventrikels. Änderungen des linksventrikulären Schlagvolumens als Reaktion auf eine zyklische Überdruckbeatmung deuten darauf hin, dass beide Ventrikel vorlastabhängig sind. Die Amplitude der linksventrikulären Schlagvolumenänderungen in Abhängigkeit von der zyklischen Beatmung reflektiert die Position beider Ventrikel auf der Frank-Starling-Kurve und ermöglicht somit eine funktionelle Vorlastbeurteilung. Bei Lokalisation des linken Ventrikels im steilen Kurvenbereich zeigen sich ausgeprägte Schlagvolumenvariationen, während eine Position im flachen Kurvenabschnitt minimale Variationen zur Folge hat. Die beatmungsinduzierte Schlagvolumenvariation manifestiert sich aufgrund des konstanten systemischen Gefäßwiderstands gleichsinnig als Pulsdruckvariation (PPV) (15). Die Kalkulation von PPV und SVV erfolgt mittels Algorithmus basierter Software, wobei beide Parameter eine hohe Genauigkeit bei der Vorhersage von Volumenreagibilität aufweisen (9).

Die klinische Anwendbarkeit der PPV unterliegt spezifischen physiologischen und technischen Limitationen, deren Missachtung zu fehlerhaften Befundinterpretationen führen kann (8). Die häufigsten Einschränkungen der Verwendung der PPV sind in dargestellt und können durch das Akronym „LIMITS“ beschrieben werden. Dieses setzt sich aus einem niedrigen Verhältnis von Herz- und Atemfrequenz (L = Low heart rate/respiratory rate), unregelmäßiger Herzfrequenz (I = Irregular heart beats), mechanischer Beatmung mit niedrigem Tidalvolumen (M = Mechanical ventilation with low tidal volume), erhöhtem abdominellem Druck (I = Increased abdominal pressure, pneumoperitoneum), offenem Brustkorb (T = Thorax open) und Spontanatmung (S = Spontaneous breathing) zusammen (17).

Tabelle 1: Häufigsten Einschränkungen beim Einsatz der PPV

Akronym	Einschränkung	Falsch Positive	Falsch Negative
L	niedriges Verhältnis von Herz- und Atemfrequenz		x
I	unregelmäßiger Herzfrequenz (I)	x	
M	mechanische Beatmung mit niedrigem Tidalvolumen		x
I	erhöhter abdomineller Druck	x	
T	offener Brustkorb		x
S	Spontanatmung	x	x

Anmerkung: Dargestellt sind die häufigsten physiologischen Einschränkungen beim Einsatz von PPV zusammengefasst als „LIMITS“ adaptiert nach (17).

Die Definition therapeutisch relevanter Schwellenwerte für die Volumenreagibilität erweist sich als methodisch anspruchsvoll. In Metaanalysen wurde ein optimaler PPV-Schwellenwert zwischen 8-15% identifiziert, wobei diese Variabilität als diagnostische Grauzone bezeichnet wird (18). Während PPV-Werte >10-12% einen hohen prädiktiven Wert für Volumenreagibilität aufweisen, erlauben niedrigere Werte (<10%) keine eindeutige Beurteilung des Volumenstatus (19). Ein bewährtes Verfahren zur Verbesserung der diagnostischen Genauigkeit bei niedrigen Werten ist die ergänzende Beurteilung durch Kombination mit alternativen Tests, wie dem PLR oder dem end-expiratorischen Okklusionstest (EEOT) (19).

Trotz der beschriebenen Limitationen und der diagnostischen Grauzone ist die Nutzung von PPV weit verbreitet. Dieser Sachverhalt lässt sich durch die Tatsache erklären, dass PPV als Parameter für Volumenreagibilität mit der derzeit höchsten Evidenzstärke gilt und dessen Nutzung mit einem verbesserten Patientenoutcome assoziiert ist (3).

2.2.3 Klinische Messung des Herzzeitvolumens mithilfe von transpulmonaler Thermodilution, Pulskonturanalyse und Pulmonalarterieller Katheter (PAK)

Es existieren zahlreiche Methoden zur klinischen Messung des HZV, die sich bezüglich ihrer Validität, ihres Aufwandes und ihrer Invasivität unterscheiden. Die kontinuierliche Messung des HZV kann mit hoher Präzision durch automatisierte Hämodynamik-Monitoring-Systeme, wie zum Beispiel PiCCO® (Pulsion Medical Systems, München, Deutschland), erfolgen, welches das Prinzip der Pulskonturanalyse mit einer transpulmonalen Thermodilution kombiniert (9).

Das Verfahren der arteriellen Pulskonturanalyse gründet auf der physiologischen Grundlage, dass die arteriell registrierte Druckkurve in direkter Korrelation zum kardialen Schlagvolumen

steht (3). Während der Systole erzeugt das Herz eine Kraft, die in allen anderen nachfolgenden Gefäßabschnitten die Änderung des Drucks und Flusses bewirkt. Die gemessene Druckkurve wird dabei durch Reflexion der Druckwellen abhängig von den unterschiedlichen vaskulären Impedanzen, je nach Blutdruck, Alter der Patienten, Gefäßtonus und Herzfrequenz, verändert (20). Unter der Annahme des direkten Zusammenhangs zwischen dem arteriellen Blutdruckverlauf in den zentralen Arterien und dem arteriellen Blutfluss kann eine Berechnung des Schlagvolumens in Echtzeit erfolgen (3). Bei der Durchführung ist ein ZVK und ein arterieller Katheter, beispielsweise in der Arteria femoralis mit einem Thermistor an der Spitze, erforderlich (21). Die Bestimmung des HZV erfolgt gemäß dem Prinzip der Indikatorverdünnungsmethode. Zu diesem Zweck wird ein Bolus kalter (4 Grad Celsius), isotonischer Kochsalzlösung über einen zentralvenösen Zugang injiziert. Die Temperaturveränderungen weiter stromabwärts werden über einen Thermistor an der Spitze des arteriellen Katheters gemessen. Mittels einer Gleichung kann das HZV aus dem Integral der transpulmonalen Thermodilutionskurve berechnet werden (9). Um die Streuung der Werte zu vermeiden, wird das HZV über mehrere Atemzyklen während der Passage des Bolus gemittelt. Der hierbei ermittelte Faktor wird für die Kalibrierung der Pulskonturanalyse verwendet (3). Nach erfolgter Kalibrierung können kontinuierlich Schlagvolumen, HZV sowie die dynamischen Parameter SVV und PPV gemessen werden. Zusätzlich ermöglicht das System die Berechnung von Vorlastparametern wie den globalen enddiastolischen Volumenindizes und des extravaskulären Lungenwassers (21).

Eine Alternative dazu stellt die Messung der enddiastolischen Volumenindizes durch einen Pulmonalarteriellen Katheter (PAK) mittels pulmoarterieller Thermodilution dar. Dieser wurde in den letzten Jahren kontrovers diskutiert und dessen Nutzen in zahlreichen Studien untersucht (10, 22, 23). Der PAK wird mit aufgeblasenem Ballon über das Einführen in eine zentrale Vene durch den rechten Vorhof und Ventrikel bis in die Pulmonalarterie positioniert, wo der pulmonalkapilläre Verschlussdruck (PCWP) abgeleitet wird (10). Die Mittelung mehrerer Messwerte reduziert zwar das Signalrauschen, bedingte jedoch früher eine Zeitverzögerung von bis zu mehreren Minuten bis zur Ausgabe aktueller Werte. Besonders bei dynamischen Tests mit schneller Änderung der Hämodynamik, wie dem PLR, ist das relevant, da eine kontinuierliche Messung notwendig ist. Modernste PAK sind heutzutage so weiterentwickelt, dass sie in Echtzeit in 20 Sekunden-Intervallen das HZV bestimmen können (23).

Nachteile beider Systeme sind die Erforderlichkeit von invasiven Kathetern und das damit verbundene Risiko iatrogener Komplikationen wie Herzrhythmusstörungen, Lungenembolien, Blutungen und Katheter assoziierte Sepsis (10). Bei dem Einsatz des PAK ist die oftmals anspruchsvolle Interpretation ebenfalls zu berücksichtigen (21). Diese Systeme sind kostenintensiv und zeitaufwändig und schließen den präklinischen und normalstationären

Einsatz aus. Aus diesen Gründen besteht die Notwendigkeit einer genauen Risiko-Nutzen-Abwägung vor der klinischen Anwendung (24).

2.2.4 Klinische Messung des Herzzeitvolumens mithilfe von Echokardiografie

Die transthorakale Echokardiographie (TTE) hat sich als wichtiges nicht-invasives diagnostisches Verfahren zur HZV-Bestimmung bei kritisch kranken Patienten etabliert (25). Das Verfahren ermöglicht die direkte Visualisierung sämtlicher determinierender Faktoren des Schlagvolumens, einschließlich kardialer Pumpfunktion, Wandbewegungsstörungen und Klappenfunktion. Die Echokardiographie ist ein geeignetes Verfahren zur Untersuchung der Hämodynamik, da bereits geringe Abweichungen der einzelnen Werte durch eine präzise Analyse erfasst werden können (10). Bei eingeschränkter Bildqualität durch Adipositas, Lungenemphysem, invasiver Beatmung oder nach thoraxchirurgischen Eingriffen kann die semi-invasive transösophageale Echokardiografie (TEE) überlegen sein. Dies ist auf die anatomische Nähe zwischen Ösophagus und Herz zurückzuführen, die auch Aussagen über kardiale Thromben, Klappenvegetation, Herzklappenfunktion, Volumenstatus und Kontraktilität erlaubt (26).

Echokardiographische Schlagvolumenberechnungen nutzen das Prinzip der Flussmessung durch einen kreisförmigen Querschnitt. Um die Volumenstärke eines pulsatilen Flusssignals zu errechnen, erfolgt eine kontinuierliche Messung des Produkts aus Flussgeschwindigkeit und Querschnittsfläche durch mathematische Integration der Geschwindigkeitswerte über das Messintervall. Es entsteht eine Kurve, die das Geschwindigkeits-Zeit-Integral („Velocity Time Integral“, VTI), zeigt. Zur Bestimmung des Schlagvolumens wird daher das Integral eines Fluss-Signals im linksventrikulären Ausflusstrakt (LVOT) während der Austreibungsphase in einem apikalen Fünf-Kammer-Blick durch Multiplikation mit der dazugehörigen Kreisfläche ermittelt (27).

Vorteilhaft ist, dass die Echokardiographie vielseitig einsetzbar, schnell durchführbar und preiswert ist. Insbesondere bei der TTE bestehen zusätzlich kaum Kontraindikationen bei der Durchführung (26).

Die Anwendung der VTI-Messung zur Beurteilung der Flüssigkeitsreagibilität unterliegt jedoch methodischen Limitationen. Zum einen hängt die Messgenauigkeit der echokardiographischen Untersuchungen stets von der Erfahrung des Anwenders ab (26). Zum anderen wird die VTI-Messung in der Ausbildung jedoch nur unzureichend gelehrt, sodass sie in der klinischen Praxis nicht genügend Anwendung findet (10, 28). Zudem kann eine Sedierung bei unruhigem Patienten notwendig sein, welche die Hämodynamik verändern kann (20).

Trotz dieser methodischen Einschränkungen bleibt die Echokardiographie aufgrund ihrer Verfügbarkeit und diagnostischen Vielseitigkeit ein unverzichtbares Instrument im hämodynamischen Monitoring.

Die vorangegangenen Monitoring-Verfahren ermöglichen eine präzise Bestimmung kardialer Parameter, jedoch liefern die statischen Messungen keine verlässliche Vorhersage der individuellen Volumenreagibilität. Es ist erforderlich spezifische funktionelle Tests durchzuführen.

2.3 Klinische Tests zur Vorhersage der Volumenreagibilität

2.3.1 Tidal Volume-Test

In den letzten Jahren entwickelten sich vor allem Tests auf Grundlage des Konzepts der Messung von hämodynamischen Parametern nach der Gabe eines Flüssigkeitsbolus oder dynamischer Messverfahren, die mit hoher Präzision eine Volumenreagibilität vorhersagen können. Die dynamischen Tests basierend auf der kardiopulmonalen Interaktion umfassen den „Tidal-Volume-Test“ und den „End-Expiratory-Occlusion-Test“ (2, 29). Zu den Tests, die eine Flüssigkeitsgabe beinhalten, gehören „Maxi-Fluid-Challenge“, „Mini-Fluid-Challenge“ und „PLR“ (2).

Die häufigste Einschränkung beim Einsatz von PPV für die Vorhersage von Volumenreagibilität stellt die Beatmung mit reduzierten Tidalvolumina dar(17). Der Tidalvolumen-Test löst diese Problematik durch eine gezielte Modifikation der Ventilationsparameter, indem das Tidalvolumen vorübergehend von 6 auf 8 Milliliter pro Kilogramm angenommenem Körpergewicht beziehungsweise angehoben wird (30). Während dieser Beatmungsadaptation erfolgt die kontinuierliche Überwachung der resultierenden PPV-Veränderungen. Eine signifikante Zunahme der absoluten PPV-Werte um mehr als 1-3,5% indiziert das Vorliegen einer Volumenreagibilität (2). Im Vergleich zu dem PLR wurde der Tidalvolumen-Test in weniger Studien validiert, obwohl seine Zuverlässigkeit kürzlich gezeigt werden konnte (31). Vorteilhaft ist, wie aktuelle Studien gezeigt haben, die Möglichkeit des Einsatzes in Situationen, in denen der PLR nicht eingesetzt werden kann, wie beispielsweise bei neurochirurgischen Operationen oder bei Operationen in Bauchlage (2). Gründe dafür sind die Kontraindikation bei erhöhtem intrakraniellen Druck (8) und die Limitation bei intraabdominellen Druck (2).

2.3.2 End-Expiratory Occlusion-Test

Der End-Expiratory Occlusion-Test (EEOT) stellt eine validierte Methode zur Prädiktion der Volumenreagibilität bei invasiv beatmeten Patienten dar. Die methodischen Grundlagen des EEOT wurden erstmals von Monnet et al. systematisch beschrieben: Das Verfahren basiert auf einer kontrollierten, 15-30 Sekunden dauernden Unterbrechung der invasiven Beatmung während der Expirationsphase. Die expiratorische Okklusion führt zu einer kurzfristigen Reduktion des intrathorakalen Drucks, wodurch eine Steigerung des venösen Rückflusses mit Erhöhung der kardialen Vorlast resultiert (2). Bei Patienten mit Volumenreagibilität bewirkt diese Vorlasterhöhung in einem messbaren, zeitlich limitierten Anstieg des HZV (29).

Mehrere Studien bestätigten die Validität des EEOT und etablierten einen HZV-Anstieg von $\geq 5\%$ als diagnostischen Schwellenwert für das Vorliegen einer Volumenreagibilität (32, 33). Die erfolgreiche Durchführung des EEOT erfordert ein kontinuierliches Hämodynamik Monitoring mit hoher zeitlicher Auflösung, da die hämodynamischen Veränderungen nur von kurzer Dauer sind (2). Als besonders geeignet erweist sich beispielsweise die Pulskonturanalyse, welche Veränderungen von 1-2% von Herzindex und Schlagvolumenindex in Echtzeit detektieren kann (15). Im Vergleich dazu ist die Echokardiographie weniger präzise, da sich gezeigt hat, dass die kleinste zu detektierenden Änderung der VTI bei 10% liegt (25). Um dies zu lösen wird der 15-Sekunden-EEOT mit einem 15-Sekunden-endinspiratorischen Okklusion (EIO) kombiniert und die addierten VTI-Änderungen ermöglichen mit einem Schwellenwert von 13% und guter diagnostischer Zuverlässigkeit Volumenreagibilität vorherzusagen (2).

Eine Mindestdauer von 15 Sekunden ist erforderlich, um eine vollständige Passage der induzierten Vorlaständerung durch den pulmonalen Kreislauf zu gewährleisten (15) und da die maximale Änderung erst in den letzten Sekunden auftritt (32).

Der EEOT zeichnet sich durch seine einfache Durchführbarkeit aus und zeigt eine Zuverlässigkeit unabhängig von Herzrhythmusstörungen, appliziertem Tidalvolumen oder pulmonaler Compliance, wobei als wesentliche Limitation zu beachten ist, dass eine Spontanatmung des Patienten die Testvalidität beeinträchtigen kann (2). Zudem kann der Test bei nicht-intubierten Patienten nicht verwendet werden.

2.3.3 Maxi-Volume-Challenge

Im Rahmen der Volumentherapie wird zwischen einer konventionellen Flüssigkeitsgabe und einer Volume-Challenge unterschieden. Die Volume-Challenge stellt eine spezifische hämodynamische Intervention dar, die primär bei kreislaufinstabilen Patienten zur Anwendung kommt und mehrere klinische Vorteile bietet. Die Volumenreagibilität lässt sich während der

Volumeninfusion unmittelbar direkt über die Messung des HZV quantifizieren. Bestehende Flüssigkeitsdefizite können zeitnah ausgeglichen werden, während das Risiko einer Volumenüberladung im Vergleich zur konventionellen „reinen“ Flüssigkeitsgabe verhältnismäßig kontrollierbar bleibt (15).

Die Therapieentscheidung für eine verwendete Lösung sollte anhand der zugrundeliegenden Pathologie, der Art des Flüssigkeitsverlustes, des Schweregrades der Kreislaufinsuffizienz, der Serumalbumin-Konzentration sowie des individuellen Blutungsrisikos erfolgen. Eindeutige Daten für die generelle Präferenz einer Lösung gibt es aktuell nicht (34).

Die Maxi-Volume-Challenge weist eine bedeutsame klinische Limitation auf. Es handelt sich hierbei nicht ausschließlich um einen diagnostischen Test, sondern um eine eigenständige therapeutische Maßnahme. Zur Gewährleistung valider Testergebnisse werden häufig wiederholte Applikationen binnen kurzer Zeitintervalle erforderlich, was zwangsläufig zu einer erheblichen kumulativen Flüssigkeitszufuhr führt (15). Die Standardisierung der Volumengabe erfordert präzise Protokolle hinsichtlich der applizierten Flüssigkeitsmenge und des Infusionszeitintervalls. Üblicherweise werden circa 500 ml über einen Zeitraum von 10-30 Minuten verabreicht (34). Das Risiko der Flüssigkeitsüberladung besteht bei kritisch kranken Patienten, da täglich vier bis fünf hypotensive Episoden auftreten, was bei konsequenter Durchführung einer Maxi-Volume-Challenge zu einer kumulativen Flüssigkeitszufuhr von bis zu 2500 ml führen würde (15). Ein wichtiger Aspekt der Volume-Challenge ist neben der Indikationsstellung für die Volumentherapie auch die rechtzeitige Deeskalation der Flüssigkeitszufuhr systematisch zu berücksichtigen (15, 35).

Zusammenfassend kann man sagen, dass bei der klinischen Anwendung der Maxi-Volume-Challenge der diagnostische Nutzen zur Vorhersage der Volumenreagibilität gegen das Risiko einer iatrogenen Volumenüberladung bei wiederholter Anwendung individuell abgewogen werden muss.

2.3.4 Mini-Volume-Challenge

Aufgrund der Limitationen der Maxi-Volume-Challenge hinsichtlich des Risikos einer Volumenüberladung wurde das Prinzip der Mini-Volume-Challenge mit einem verhältnismäßig geringen Flüssigkeitsvolumen entwickelt: Hierbei werden 100 ml einer Lösung über einen Zeitraum von 60-120 Sekunden infundiert und die hämodynamische Reaktion des HZV unmittelbar gemessen. Diese initiale Reaktion ermöglicht die Vorhersage der Auswirkungen eines zusätzlichen Flüssigkeitsbolus von 400 ml auf das HZV (2).

Aktuelle Studien haben gezeigt, dass die prädiktive Genauigkeit der Mini-Volume-Challenge sehr zuverlässig ist. Da der diagnostische Schwellenwert für die Mini-Volume-Challenge mit

durchschnittlich 5% relativ niedrig liegt und die induzierten HZV-Änderungen entsprechend gering ausfallen, ist eine präzise Messmethodik erforderlich (36). Ein geeignete Monitoring-Verfahren stellt die Pulskonturanalyse dar, wobei die Echokardiographie bei dem niedrigen Schwellenwert unpräzise sein kann (2).

Vorteilhaft ist, dass selbst bei wiederholter Anwendung das Risiko einer Volumenüberladung im Vergleich zur Maxi-Volume-Challenge wesentlich geringer ausfällt. Dennoch handelt es sich bei der Mini-Volume-Challenge um eine therapeutische Intervention, deren hämodynamische Auswirkungen nicht unmittelbar reversibel sind (15). Folglich erfordert auch diese Methode eine sorgfältige Indikationsstellung.

2.3.5 Passive Leg Raise-Test

Nach der Darstellung statischer und dynamischer Vorlastparameter sowie verschiedener funktioneller Tests zur Vorhersage der Volumenreagibilität bildet der Passive Leg Raise-Test (PLR) den Abschluss dieser Literaturdiskussion.

Der PLR geht auf das ubiquitär verwendete Manöver der Beinhochlagerung bei einem Kreislaufkollaps zurück (15). Zu unterscheiden ist er vom Trendelenburg-Manöver, welches durch eine kopftiefe Lagerung des gesamten Körpers charakterisiert ist (37).

Nach den Empfehlungen von Monnet et al. sind bei der korrekten Durchführung, klinischen Anwendung und Interpretation des PLR fünf fundamentale Regeln zu beachten (1).

Erste Regel - Standardisierte Lagerungstechnik:

Entsprechend der Darstellung in Abbildung 1 wird der Patient aus einer halbsitzenden Position von 45° in eine Position überführt, in der der Rumpf horizontal gelagert wird. Die unteren Extremitäten sind dabei in einem Winkel von 30-45° angehoben (1). Diese Positionierung bewirkt eine Mobilisation des Blutvolumens aus dem Splanchnicus-Gefäßbett und den unteren Extremitäten, was zu einer Erhöhung der kardialen Vorlast führt und eine Beurteilung der Volumenreagibilität der Ventrikel ermöglicht (2). Das Manöver induziert eine Autotransfusion mit einer Mobilisation von bis zu 300 ml Blutvolumen (38).

Zweite Regel - Zeitkritisches Monitoring:

Monnet et al. empfehlen die Erfassung des hämodynamischen Effekts innerhalb von 30-90 Sekunden nach Durchführung des Manövers (39). Diese zeitliche Begrenzung begründet sich in der kurzen Wirkdauer des PLR-induzierten Anstiegs des HZV, dessen Maximum bereits in der ersten Minute erreicht wird und anschließend unabhängig von der Aufrechterhaltung der

Beinhochlagerung wieder abklingt(2). Diese kurze Zeitspanne erfordert eine direkte, präzise und kontinuierliche Messung des HZV (2). Die alleinige in- oder non-invasive Messung des Blutdrucks erweist sich als unzureichend, da sie die hämodynamischen Auswirkungen nicht adäquat erfasst (1, 40, 41).

Dritte Regel - Geeignetes Monitoringverfahren:

Es empfiehlt sich der Einsatz von Techniken wie der Echokardiographie oder der Pulskonturanalyse mit der Fähigkeit, Veränderungen von $\geq 10\%$ des HZV in Echtzeit zu detektieren. Die Pulskonturanalyse erweist sich als besonders vorteilhaft aufgrund ihrer einfachen und zuverlässigen Anwendbarkeit (2). Echokardiographische Parameter wie das VTI können ebenfalls zur Erfassung der hämodynamischen Änderungen auf den PLR eingesetzt werden (42). Bei der kardialen Echokardiographie ist für die Messgenauigkeit die konstante Positionierung der Sonde und die unveränderte Ausrichtung des Ultraschallstrahls im linksventrikulären Ausflusstrakt von kritischer Bedeutung (2). Eine schiefe Anlotung kann zu einer ungenauen Bestimmung der Parameter führen (3).

Vierte Regel - Korrekter Messzeitpunkt:

Die Messung des HZV erfolgt vor und während des PLR, sowie nach erneuter Positionierung des Patienten in halbsitzender Position(2).

Fünfte Regel - Ausschluss von Störfaktoren:

Potenzielle Störfaktoren wie Schmerzen oder Husten sind während der Untersuchung zu vermeiden. Die hierdurch induzierte adrenerge Stimulation kann zu fehlerhaften Messwerten führen (1).

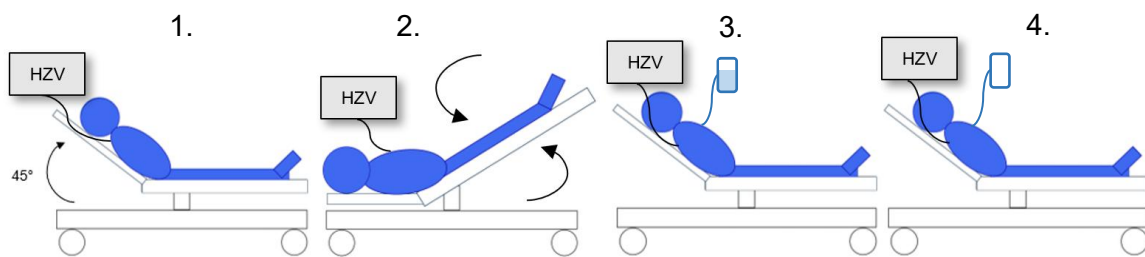
Bei der Anwendung des PLR sind verschiedene Limitationen und Kontraindikationen zu beachten: Erhöhter intraabdomineller Druck kann den venösen Rückfluss über die Vena cava inferior reduzieren und damit die Aussagekraft des Tests einschränken (43). Ebenso können Kompressionstrümpfe zu falsch negativen Resultaten führen, da sie die Menge an mobilisierbarem Blut beeinflussen (2). Kontraindiziert ist der PLR bei Patienten mit Schädelhirntrauma wegen der Gefahr einer intrakraniellen Druckerhöhung (8). Aus diesen Gründen ist der PLR zum Beispiel nicht bei neurochirurgischen Operationen oder Operationen in Bauchlage anzuwenden (2). In diesen Situationen sollte ein anderes Testverfahren eingesetzt werden.

Vorteilhaft ist, dass der PLR am Krankenbett durchführbar ist und sich zuverlässig unabhängig von verschiedenen Bedingungen wie Spontanatmung, Herzrhythmusstörungen, Tidalvolumen und Lungencompliance anwenden lässt (1). Gerade diese Unabhängigkeit macht den Test wertvoll in klinischen Situationen, in denen andere Tests mit Abhängigkeit von respiratorischen Schlagvolumenveränderungen limitiert sind.

Die Zuverlässigkeit des PLR-Tests zur Evaluation der Volumenreagibilität ist durch zahlreiche Studien gut dokumentiert. Der Test demonstriert dabei nicht nur hohe Sensitivität und Spezifität, sondern auch vorteilhafte positive und negative prädiktive Werte sowie günstige Likelihood Ratios (2).

Der PLR ist ein validiertes Verfahren zur Beurteilung der Volumenreagibilität bei kritisch kranken Patienten. Seine methodische Einfachheit und hohe diagnostische Aussagekraft machen ihn zu einem wichtigen Instrument im intensivmedizinischen Monitoring.

Abbildung 1: Durchführung des Passive Leg Raise-Test



Anmerkung: Dargestellt ist die Durchführung des Passive Leg Raise-Test adaptiert nach (2). Unter Punkt 1. wird die Liege auf 45° Neigung eingestellt. Es wird ein Monitoringverfahren in Echtzeit verwendet. Unter 2. wird der Oberkörper des Patienten flach gelagert und vermieden den Patienten anzufassen, um Schmerz oder Aufwachen zu verhindern. Unter 3. wird das HZV erneut bewertet, welches zum Ausgangswert zurückkehren sollte. Es erfolgt die Flüssigkeitsgabe. Beim 4. Punkt wird nach der Flüssigkeitsgabe der wirkliche HZV-Anstieg erfasst.

2.4 Vergleich der verschiedenen Verfahren

Im folgenden Kapitel werden die verschiedenen Testverfahren verglichen. Jeder Test zeichnet sich durch individuelle Vorteile und Nachteile aus, welche in Tabelle 2 dargestellt sind. Die Angaben zu Sensitivität und Spezifität unterscheiden sich oft je nach Studienlage.

Die Messgenauigkeit variiert zwischen den Testverfahren erheblich. Statische Parameter haben nur eine eingeschränkte Aussagekraft über die Volumenreagibilität, da diese die Vorlast nur indirekt widerspiegeln, jedoch kann keine zuverlässige Aussage über die Position auf der Frank-Starling-Kurve getätigt werden (11, 24). Dynamische Parameter wie PPV und SVV haben eine deutlich höhere Aussagekraft und sind sehr gut validiert (17, 19, 44-46). Der PLR-

Test und der EEOT erreichen sehr gute Sensitivitäts- und Spezifitätswerte (2, 24, 29, 33, 47). Die Minifluid-Challenge zeigt sich ebenfalls zuverlässig (15, 48, 49). Der Trend im klinischen Setting geht hin zu einfacheren, weniger invasiven und kostengünstigeren Alternativen (2). Für zukünftige Forschung ist der Tidal Volume-Test besonders im Fokus, welcher in weniger Studien validiert wurde, aber gute Ergebnisse verspricht (31, 50).

Neben der Messgenauigkeit ist auch die praktische Anwendbarkeit bei der Auswahl eines Tests relevant. Die Praktikabilität unterscheidet sich dabei in Bezug auf technischen Aufwand, personelle Ressourcen und erforderliche Infrastruktur. Invasive Verfahren wie beispielsweise der PAK erfordern Fachpersonal in spezialisierten Zentren (51). Der PLR benötigt eine verlässliche HZV-Messmethode wie beispielsweise Echokardiographie oder Pulskonturanalyse (2, 42). Der EEOT und die Vt-Challenge sind einfacher umzusetzen, jedoch auf die Anwendung bei der Beatmung eingeschränkt (2). PPV und SVV können ebenfalls nur während der Beatmung eingesetzt werden, können automatisch bestimmt werden und benötigen kein weiteres Manöver (9).

Mit der unterschiedlichen Komplexität der Testverfahren gehen auch unterschiedliche Anforderungen an die Interpretation einher. PPV und SVV erfordern beispielsweise minimale Interpretationsfähigkeit, da es sich um automatisierte Parameter handelt (9). Die korrekte Beurteilung der Echokardiographie setzt eine Ausbildung und kontinuierliche Praxis voraus (52). Der PLR und die EEOT erfordern eine moderate Lernkurve, da der Messzeitpunkt eine Rolle spielt und mögliche Störfaktoren berücksichtigt werden müssen (2).

Bei der Anwendung der unterschiedlichen Testverfahren spielt das Wissen über die spezifischen Einschränkungen eine große Rolle, um korrekte diagnostische Entscheidungen zu treffen. Eine mögliche Beeinflussung durch erhöhten intraabdominellen Druck ist einer der häufigsten limitierenden Faktoren (siehe Tabelle 2).

Wie Monnet et al. feststellen, ist die Volumenreagibilität physiologisch eine kontinuierliche Variable, welche jedoch zur Bestimmung von Sensitivität und Spezifität dichotom in Responder und Non-Responder eingeteilt wird. Testwerte nahe der diagnostischen Schwelle können einen mittleren Grad der Volumenreagibilität anzeigen und nicht zwingend eine diagnostische Ungenauigkeit des verwendeten Tests darstellen. Diese müssen daher nicht immer unweigerlich zu einer Volumengabe führen (2). Im Vergleich der verschiedenen Testverfahren ist schlussendlich festzuhalten, dass es keinen perfekten Test zur Vorhersage der Volumenreagibilität gibt und die Auswahl sich nach Patient, Anwender und der jeweiligen Situation, in der der Test angewendet wird, richten sollte.

Tabelle 2: Charakteristika der verschiedenen Testwerte und Testverfahren

Test	Vorteile	Nachteile	Parameter	Schwellenwert	Sens. / Spezi.
ZVD	Geringerer technischer Aufwand	Einschränkung bei Beatmung und erhöhten intraabdominellen Druck Eingeschränkte Beurteilbarkeit der Volumenreagibilität	Absoluter eigener Wert	-	-
PCWP	Möglichkeit der genauen Beurteilung der linksventrikulären Funktion	Großer technischer Aufwand Kontraindiziert bei rechtsseitiger Endokarditis, Herztumoren Zeitverzögerung aufgrund von Signalrauschen während Manövern Eingeschränkte Beurteilbarkeit der Volumenreagibilität	Absoluter eigener Wert	-	-
PPV	Automatische Messung Benötigt nur eine arterielle Druckkurve Braucht kein Manöver Sehr gute Validität	Einschränkung bei niedrigem Verhältnis von Herz- und Atemfrequenz, unregelmäßiger Herzfrequenz, mechanischer Beatmung mit niedrigem Tidalvolumen, erhöhtem abdominellem Druck, offenem Brustkorb und Spontanatmung	Absoluter eigener Wert	$\geq 15\%$	88%/ 89%
SVV	Automatische Messung Benötigt nur eine arterielle Druckkurve Braucht kein Manöver Gute Validität	Einschränkungen wie bei PPV	Absoluter eigener Wert	$\geq 15\%$	82%-94%/80%-88%
Vt-Challenge	Benötigt nur eine arterielle Druckkurve Durchführbarkeit in Bauchlage Durchführbarkeit bei Spontanatmung	Benötigt Beatmung Unterschiedliche Schwellenwerte Benötigt mehr zukünftige Validation	PPV	$\geq 1-3,5\%$	92%/ 86%
EEOT	Einfache Durchführbarkeit Unabhängigkeit von Atmung, Herzrhythmus,	Benötigt direktes Messverfahren Benötigt Beatmung Nicht zu verwerfen bei Unterbrechungen	HZV VTI (EEOT+EIO)	$\geq 5\%$ $\geq 13\%$	87%/ 100% 87/ 93%

	Tidalvolumen, Lungencompliance				
	Gute Validität				
Mini- Fluid- Challenge	Einfache Durchführbarkeit	Benötigt direktes und präzises Messverfahren	HZV	≥ 5%	93%/ 85%
	Unabhängigkeit von Atmung, Herzrhythmus, Tidalvolumen, Lungencompliance, intraabdominellem Druck	Nicht reversibel	VTI	≥ 10%	95%/ 78%
PLR	Reversibilität	Benötigt direktes Messverfahren	HZV	≥ 10%	85%-90%/ 91%-92%
	Unabhängigkeit von Atmung, Herzrhythmus, Tidalvolumen, Lungencompliance	Mögliche Einschränkungen bei Einsatz von Kompressionsstümpfen und intraabdominaler Hypertension	VTI	≥ 10%	77%- 100%/ 88%-99%
	Hervorragende Validität	Kontraindiziert bei erhöhtem intrakranialem Druck			

Anmerkungen: Dargestellt sich die Charakteristika der einzelnen Parameter und Testverfahren bezüglich der Vorhersage der Volumenreagibilität adaptiert nach (2, 11, 22). Sens. / Spez.= Sensitivität / Spezifität, ZVD= zentral venöser Druck, PCWP= pulmonal-venöser Verschlussdruck, PPV= Pulse Pressure Variation, SVV= Stroke Volume Variation, HZV= Herzzeitvolumen, VTI= Velocity Time Integral, EEOT= End-Expiratory Occlusion-Test, EIO= End-Inspiratory Occlusion

3 Methoden

Im folgenden Abschnitt werden die verwendeten Methoden der vorliegenden Studie zusammengefasst. Hierbei werden die Fragestellung und Hypothesen der vorliegenden Studie erläutert und das umgesetzte statistische Vorgehen, sowie der Studienablauf mittels Stichprobenrekrutierung, Ein- und Ausschlusskriterien und Online-Umfrage detailliert dargestellt.

3.1 Fragestellung und Hypothesen

Das primäre Ziel dieser Untersuchung bestand in der systematischen Erfassung und Bewertung der Umsetzung definierter Qualitätskriterien sowie der aktuellen klinischen Praxis bei der Durchführung des PLR durch deutsche Intensivmediziner. Der Fokus lag dabei auf der Analyse möglicher Unterschiede in der Anwendungspraxis und dem fachspezifischen Erfahrungsstand zwischen verschiedenen medizinischen Fachdisziplinen, mit besonderer Berücksichtigung der Fachdisziplinen Anästhesiologie und Herzchirurgie.

Zur systematischen Untersuchung dieser Fragestellung wurden folgende drei Arbeitshypothesen formuliert:

Hypothese 1 (H1): Es besteht ein signifikanter Unterschied in den mittleren Ergebnissen zwischen den Teilnehmenden der Herzchirurgie (H1a) und der Anästhesiologie (H1b) im Vergleich zu allen anderen Fachdisziplinen.

Hypothese 2 (H2): Das Antwortverhalten der Teilnehmenden bezüglich der PLR-Anwendung unterscheidet sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Fachdisziplin signifikant.

Hypothese 3 (H3): Innerhalb der Subgruppen der erhobenen Variablen bestehen signifikante Unterschiede hinsichtlich der korrekten Durchführung des PLR-Tests.

3.2 Statistisches Vorgehen

Das statistische Vorgehen der vorliegenden Arbeit bestand aus deskriptiven und vergleichenden statistischen Analysen. Die Auswertung erfolgte mittels IBM SPSS Statistics 20.

Die deskriptive Statistik umfasste die Darstellung aller erhobenen demografischen Variablen sowie der Antworten zu Wissen und aktueller Praxis bezüglich des PLR-Tests. Normalverteilte Variablen wurden als Mittelwert mit Standardabweichung angegeben.

Zur weiteren vergleichenden Analyse wurde ein ungepaarter T-Test durchgeführt zur Prüfung der ersten beiden Hypothesen (H1a und H1b). Die Nullhypothese lautete, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gibt. Zur Quantifizierung der Effektstärke bei den beobachteten Mittelwertsdifferenzen wurde zusätzlich der Cohen's d berechnet.

Für die Überprüfung der Hypothese H2 wurden Teilnehmende aus Herzchirurgie und Anästhesiologie mit allen übrigen Teilnehmenden verglichen und mittels Chi-Quadrat-Test für Unabhängigkeit und Phi-Koeffizient (Effektstärke) analysiert. Die Nullhypothese lautete, dass das Antwortverhalten unabhängig von der Fachbereichszugehörigkeit ist.

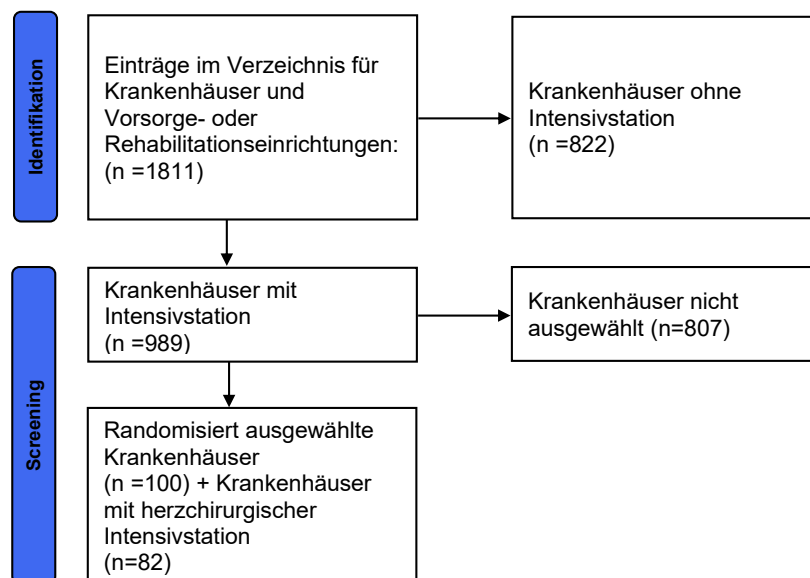
Die Prüfung der dritten Hypothese (H3) erfolgte mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) oder Welch-ANOVA. Die Nullhypothese lautete, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Subgruppen gibt. Die Effektstärke wurde über das Epsilon-Quadrat (ϵ^2) bestimmt. Zur Identifikation der spezifischen Gruppenunterschiede wurde anschließend der Post-hoc-Test nach Games-Howell angewendet.

Die Normalverteilung der Variablen wurde mittels Shapiro-Wilk-Test überprüft. Kontingenztabellen wurden erstellt und mit den entsprechenden statistischen Tests auf Signifikanz geprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt.

3.3 Stichprobenrekrutierung

Die systematische Auswahl der Krankenhäuser erfolgte nach dem in Abbildung 2 dargestellten Verfahren. Basierend auf dem „Systematischen Verzeichnis für Krankenhäuser und Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen“ (53) wurden alle Krankenhäuser mit Intensivstationen identifiziert und einer von 1 bis 989 nummeriert.

Abbildung 2: Fließdiagramm zur Auswahl der Krankenhäuser



Anmerkung: In der Abbildung sind die zwei Phasen der Auswahl der passenden Krankenhäuser dargestellt. In der ersten Phase wurden alle Krankenhäuser (KH) identifiziert. In der zweiten Phase wurden die KH mit Intensivstation herausgefiltert und schließlich 100 KH randomisiert ausgewählt.

Mittels computergestütztem Zufallsgenerator (54) wurden 100 randomisierte Nummern generiert. Diese ermöglichten die zufällige Auswahl aus den nummerierten Krankenhäusern, welche zu den 82 bestehenden Einrichtungen mit herzchirurgischer Intensivstation addiert wurden. Die vollständige Auflistung ist in den Anhängen 4 und 5 dokumentiert.

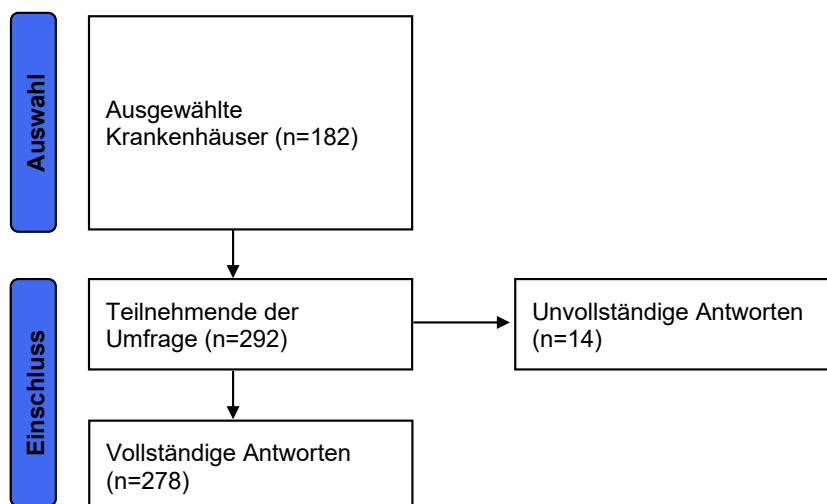
Die ärztlichen Leiter der 182 Krankenhäuser mit Intensivstationen wurden per E-Mail über die Online-Erhebung informiert und um die Weiterleitung an ihre ärztlichen Mitarbeiter gebeten. Der Erhebungszeitraum erstreckte sich vom 21.12.2021 bis zum 01.02.2022. Nach Abschluss der Datensammlung erfolgte die elektronische Zusammenführung in tabellarischer Form sowie die Pseudonymisierung der Datensätze. Von den 182 kontaktierten Krankenhäusern beteiligten sich insgesamt 292 Personen an der Umfrage, was einer Rücklaufquote von 1,60

Teilnehmenden pro Krankenhaus entspricht und als ausreichend für die statistische Auswertung erachtet wurde.

3.4 Ein- und Ausschlusskriterium

Nach Abschluss der Datenerhebung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik die statistische Aufbereitung und Analyse der erhobenen Daten. Von insgesamt 292 rekrutierten Studienteilnehmern konnten 278 in die finale Auswertung eingeschlossen werden, da diese den Fragebogen vollständig bearbeitet hatten. 14 Teilnehmer mussten aufgrund unvollständiger Datensätze von der Analyse ausgeschlossen werden. Das Flussdiagramm zur Darstellung des Selektionsprozesses ist in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Fließdiagramm zur Auswahl der teilnehmenden Krankenhäuser



Anmerkung: In der Abbildung sind die zwei Phasen der Auswahl der Teilnehmenden dargestellt. In der ersten Phase wurden die passenden Krankenhäuser ausgewählt. In der zweiten Phase wurden die Teilnehmenden je nach vollständigen und unvollständigen Antworten in die Auswertung ein- oder ausgeschlossen.

3.5 Studienablauf

3.5.1 Einverständniserklärung und Online-Erhebung

Die Studienteilnehmenden erhielten initial eine standardisierte Studieninformation, welche das Studienziel, den methodischen Ablauf, die voraussichtliche Bearbeitungsdauer sowie die Teilnahmebedingungen der Verlosung erläuterte. Zusätzlich wurden explizit die Freiwilligkeit der Teilnahme, die Wahrung der Anonymität sowie die geltenden Datenschutzbestimmungen

kommuniziert. Die Einwilligung zur Datenverwendung wurde vor Studienbeginn eingeholt. Die detaillierten Studieninformationen sind in Anhang 1 aufgeführt.

3.5.2 Fragebogen

Die Datenerhebung erfolgte mittels eines web-basierten Fragebogens über die Plattform LimeSurvey (Lime Survey®, Vers. 5.3.19, Hamburg, Germany). Die Umfrage umfasste insgesamt 11 Variablen zur systematischen Erfassung des Wissensstandes zum PLR.

Die ersten vier Fragen befassten sich mit spezifischen Aspekten der PLR-Testung: korrekte Durchführung, primäre Zielgrößen, zu erwartende Effektstärke und bekannte Limitationen des Verfahrens. Exemplarisch lautete Frage 1: „Sie möchten die Volumenreagibilität ihres Patienten/ihrer Patientin mittels Passive Leg Raise-Test (PLR) testen. Wie gehen Sie vor?“ Die Fragen 1-3 wurden im Single-Choice-Format konzipiert, wobei jeweils eine korrekte Antwortmöglichkeit existierte. Die Distraktoren umfassten vier falsche Optionen bei Frage 1, sechs bei Frage 2 und acht bei Frage 3. Frage 4 wurde im Multiple-Choice-Format gestaltet und beinhaltete drei korrekte sowie fünf inkorrekte Antwortoptionen.

Die nachfolgenden sieben Fragen erfassten systematisch demographische Parameter: berufliche Qualifikation, Funktionsebene, Fachgebietszugehörigkeit, Zusatzqualifikationen, Bettenkapazität des Einsatzbereiches, behandeltes Patientenkollektiv sowie die Versorgungsstufe der jeweiligen Einrichtung. Die Fragen 5 und 8 wurden dichotom formuliert. Frage 6 umfasste fünf Antwortoptionen, Frage 7 acht, Frage 9 neun, Frage 10 zehn und Frage 11 drei Auswahlmöglichkeiten im Single-Choice-Format.

Zur methodischen Qualitätssicherung wurden sämtliche Antworten mit Zeitstempel versehen sowie Referrer-URLs und Bearbeitungszeiten systematisch dokumentiert. Der vollständige Fragebogen ist in Anhang 2 dargestellt.

3.5.3 Punktevergabe und Scores

Zur Bewertung des Antwortverhaltens wurde ein mehrstufiges Scoring-System entwickelt. Die erreichbare Gesamtpunktzahl variierte zwischen 0 (Minimum) und 6 Punkten (Maximum). Für die Fragen 1-3 konnte jeweils ein Punkt vergeben werden. Aufgrund der Multiple-Choice-Struktur von Frage 4 waren hier maximal 3 Punkte erreichbar. Die detaillierte Punktevergabe ist in Anhang 2 als Score 1 spezifiziert.

Für die statistische Analyse wurden zwei weitere Scores definiert: Score 2 und Score 3. Diese differenzierten zwischen den Fragen 1-3 (0-3 Punkten), welche die praktische Durchführung

und klinische Interpretation des PLR bewerteten, und Frage 4 (0-3 Punkten), die das Wissen über Kontraindikationen und Limitationen des PLR-Verfahrens erfasste.

4 Ergebnisse

Das nächste Kapitel stellt die Auswertung der Ergebnisse der vorliegenden Studie im Detail von deskriptiver Statistik (Antwortverhalten und demographische Charakteristika der Teilnehmer) über vergleichende Analysen (T-Test, Chi-Quadrat-Test, ANOVA) dar.

4.1 Deskriptive Statistik der Scores

Die deskriptive Analyse der erhobenen Daten zeigt die Punkteverteilung der Studienteilnehmer bezüglich der drei definierten Bewertungskategorien. Score 1 stellt die allgemeine Leistungsfähigkeit der Teilnehmenden in der Online-Befragung dar, Score 2 die korrekte Durchführung des PLR-Tests und Score 3 das Verständnis für die methodischen Limitationen und Kontraindikationen des PLR.

Die Analyse ergab folgende Mittelwerte: Score 1 2,5 von maximal 6 erreichbaren Punkten, Score 2 1,3 von 3 Punkten und Score 3 1,2 von 3 Punkten. Die Mittelwerte einschließlich der Standardabweichungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

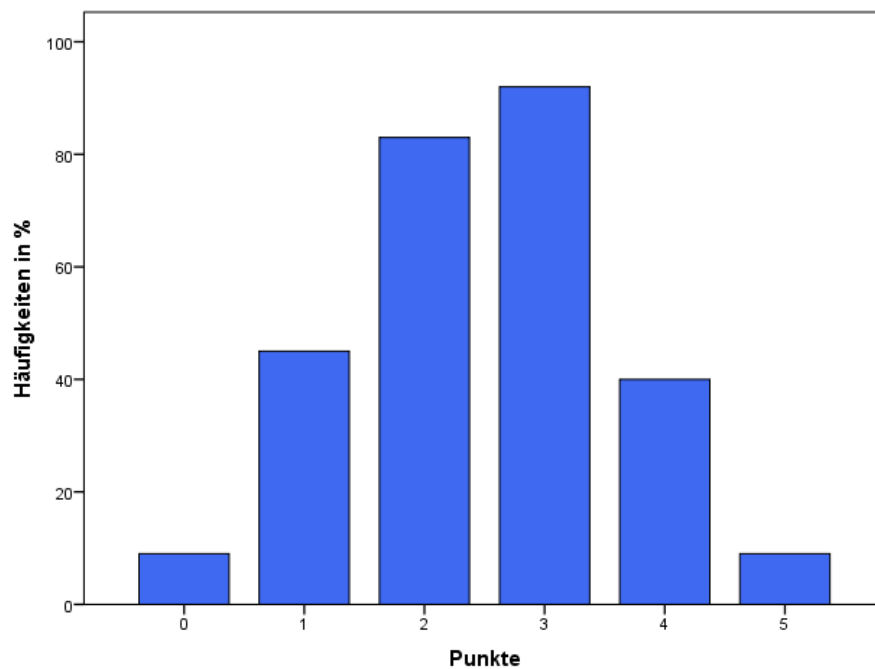
Tabelle 3: Deskriptive Statistik der Scores

Deskriptive Werte	Score 1	Score 2	Score 3
Mittelwert	2,5	1,3	1,2
SD	1,1	0,8	0,9

Anmerkung: SD=Standardabweichung, Score 1 (0-6 Punkte), Score 2 (0-3 Punkte), Score 3 (0-3 Punkte)

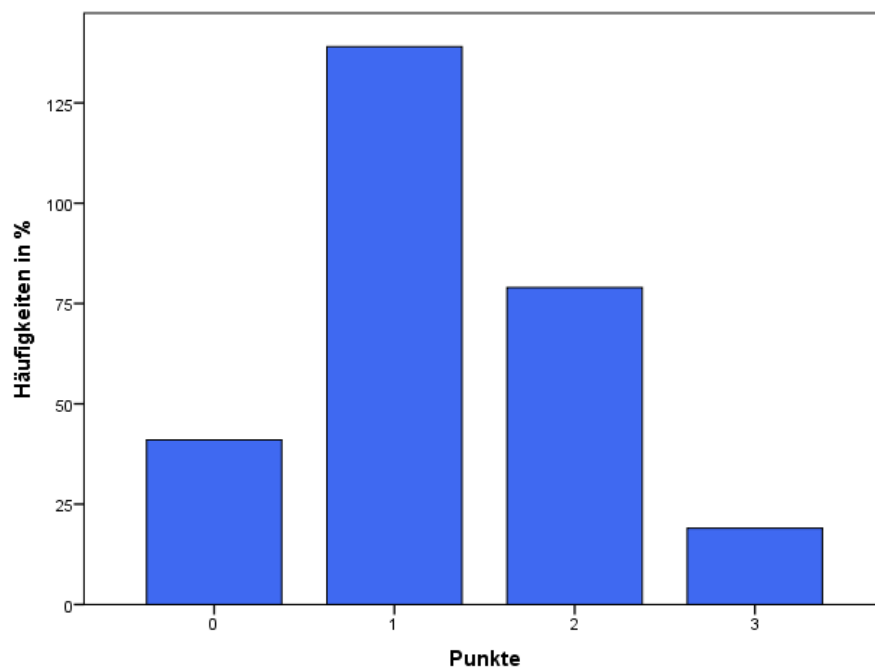
Die graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilungen erfolgte in den Abbildungen 4 bis 6. In Score 1 erreichte keiner der Teilnehmender die maximale Punktzahl von 6 Punkten. Die meisten Punkte wurden hier von 9 Teilnehmern erzielt (5 Punkte). In Score 2 erreichten 19/278 Teilnehmer (7%) volle 3 Punkte. Bei Score 3 erzielten 24/278 Teilnehmer (9%) die maximale Punktzahl von 3 Punkten.

Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung von Score 1 (Allgemeine Leistungsfähigkeit)



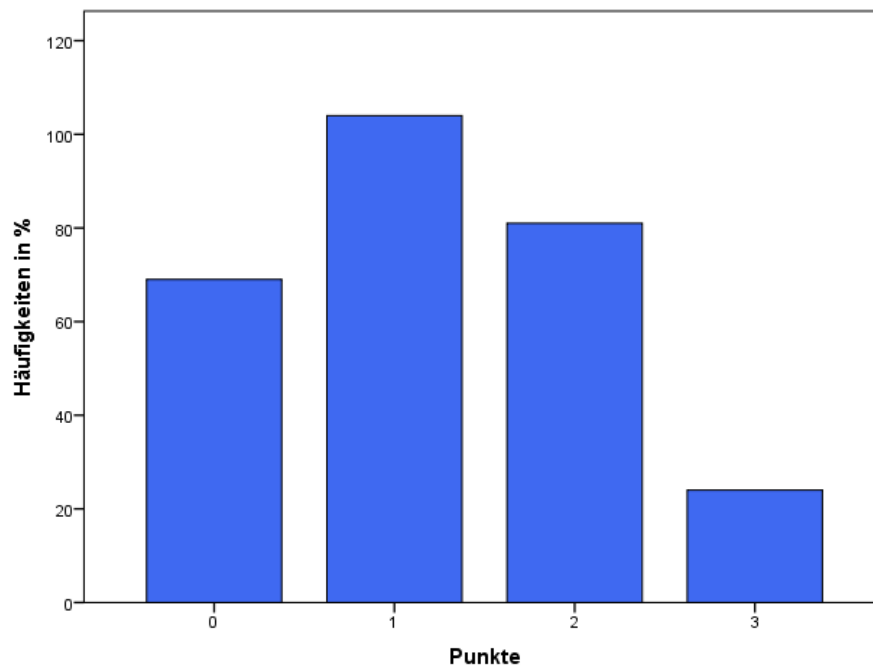
Anmerkung: Die Verteilung zeigt, wie häufig die Ergebnisse in Score 1 unter den Teilnehmern (n=278) vorkommen.
0 Punkte: n=9, 1 Punkt: n=45, 2 Punkte: n=83, 3 Punkte: n=92, 4 Punkte n=40, 5 Punkte: N=9, 6 Punkte: n=0

Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung von Score 2 (Korrekte PLR-Durchführung)



Anmerkung: Die Verteilung zeigt, wie häufig die Ergebnisse in Score 2 unter den Teilnehmern (n=278) vorkommen.
0 Punkte: n=41, 1 Punkt: n=139, 2 Punkte: n=79, 3 Punkte: n=19

Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung von Score 3 (Kenntnis der PLR-Limitationen)



Anmerkung: Die Verteilung zeigte wie häufig die Ergebnisse in Score 3 unter den Teilnehmenden (n=278) vorkommen. 0 Punkte: n=69, 1 Punkt: n=104, 2 Punkte: n=81, 3 Punkte: n=24

4.2 Demographische Charakteristika der Teilnehmer

Die Analyse der Studienteilnehmenden (n=278) ergab eine differenzierte Verteilung der Demographie bezüglich Qualifikationsstand, beruflicher Position, Fachdisziplin, Bettenkapazität des Einsatzortes und Krankenhauswahl, welche in Tabelle 4 dargestellt ist.

Zum Zeitpunkt der Erhebung befanden sich 148/278 Teilnehmer (53%) in der fachärztlichen Weiterbildung, während 130 /278 Teilnehmer (47%) bereits über die Facharztqualifikation verfügten.

153/278 Teilnehmer (55%) waren als Assistenzärzte tätig, gefolgt von 47/278 Funktionsoberärzten (17%), 51/278 Oberärzten (18%), 10/278 leitenden Oberärzten (4%) und 17/278 Chefärzten (6%).

Hinsichtlich der fachlichen Zuordnung dominierte die Anästhesiologie mit 153/278 Teilnehmern (55%), gefolgt von der Herzchirurgie mit 51 Personen (18%). Die weiteren Fachdisziplinen verteilten sich auf Innere Medizin (n=35, 13%), Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie (n=14; 5%), Neurochirurgie (n=14, 5%) sowie sonstige Disziplinen (n=11, 4%). Die Zusatzbezeichnung "Spezielle Intensivmedizin" lag bei 90/278 Teilnehmern vor (32%).

Tabelle 4: Demographische Charakteristika - Qualifikation und Position

Parameter	Häufigkeit	Prozent
Qualifikation		
Ärzte in Weiterbildung	148/278	53
Fachärzte	130/278	47
Funktion		
Assistenzärzte	153/278	55
Funktionsoberärzte/ Stellv. Oberärzte	47/278	17
Oberärzte	51/278	18
Leitende Oberärzte	10/278	4
Chefärzte	17/278	6
Fachrichtung		
Anästhesiologie	153/278	55
Herzchirurgie	51/278	18
Innere Medizin	35/278	13
Allgemein-, Viszeral-, Transplantationsmedizin	14/278	5
Neurochirurgie	14/278	5
Andere Fachbereiche	11/278	4
Zusatzbezeichnung		
Zusatzbezeichnung nicht vorhanden	188/278	68
Zusatzbezeichnung vorhanden	90/278	32

Anmerkung: Die Werte werden als absolute Zahlen und relative Anteile (%) angegeben.

Die arbeitsplatzspezifische Analyse (Tabelle 5) verdeutlichte, dass der Großteil der Teilnehmer (n=146/278, 53%) auf Intensivstationen mittlerer Größe (11-15 Betten) tätig war. Weitere 53/278 Personen (19%) auf größeren Intensivstationen (16-30 Betten) arbeiteten, während 48/278 Teilnehmer (17%) kleinere Einheiten (1-10 Betten) betreuten. Intensivstationen mit mehr als 30 Betten wurden von 15/278 Personen (6%) angegeben, währenddessen 4/278 Teilnehmer (1%) auf Intermediate Care Stationen (IMC) und 12/278 Personen (4%) in anderen Bereichen beschäftigt waren.

Das betreute Patientenkollektiv wies eine heterogene Verteilung auf. 94/278 Teilnehmer (34%) versorgten primär postoperative Patienten verschiedener Fachdisziplinen, gefolgt von 84/278 Personen (30%) mit herzchirurgischem Schwerpunkt. In eine Interdisziplinäre Patientenbetreuung waren 43/278 Teilnehmer (15%) involviert, während 35/278 Personen

(13%) ausschließlich internistische Patienten behandelten. Neurochirurgische und andere Fachrichtungen wurden von 13 (5%) und 9/278 Teilnehmern (3%) betreut.

Die Versorgungsstufenverteilung zeigte, dass 119/278 Teilnehmer (43%) an Universitätskliniken tätig waren, 113/278 Personen (40%) an Häusern der Maximalversorgung und 46/278 Teilnehmer (17%) an Krankenhäusern der Grund- und Regelversorgung.

Tabelle 5: Demographische Charakteristika - Arbeitsplatzcharakteristika

Parameter	Häufigkeit	Prozent
Intensivstation nach Bettenkapazität		
1-10 Betten	48/278	17
11-15 Betten	146/278	53
16-30 Betten	53/278	19
>30 Betten	15/278	6
Intermediate Care (IMC)	4/278	1
Anderer Bettenkapazität	12/278	4
Patientenkollektiv		
postoperative Patienten (gemischtes Kollektiv)	94/278	34
Herzchirurgie	84/278	30
Interdisziplinär	43/278	15
Innere Medizin	35/278	13
Neurochirurgie	13/278	5
Andere Fachrichtung	9/278	3
Versorgungsstufe		
Grund- und Regelversorgung	46/278	17
Maximalversorgung	113/278	40
Universitätsklinikum	119/278	43

Anmerkung: Die Werte werden als absolute Zahlen und relative Anteile (%) angegeben.

4.3 Analyse der Ergebnisse der Teilnehmer der Herzchirurgie und Anästhesiologie mithilfe eines T-Tests

Um die PLR-Kenntnisse zwischen verschiedenen medizinischen Fachbereichen zu vergleichen, wurden die Ergebnisse der Herzchirurgie und Anästhesiologie gesondert

analysiert. Ein unabhängiger T-Test ermittelte Mittelwertsunterschiede zwischen den Fachbereichen, wobei alle statistischen Voraussetzungen erfüllt waren.

Die Analyse ergab statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Herzchirurgie und allen anderen Fachbereichen in Score 1 und Score 2, wie Tabelle 6 zeigt. In Score 3 ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p=0,31$). Die Herzchirurgie erreichte in Score 1 einen Mittelwert von 2,06 Punkten, die anderen Fachbereiche 2,59 Punkte. Die mittlere Differenz betrug -0,53 Punkte ($p=0,002$). Die Effektstärke nach Cohen's d ergab einen kleinen Effekt ($d=-0,3$). In Score 2 erzielte die Herzchirurgie 0,96 Punkte, die anderen Fachbereiche 1,34 Punkte. Die mittlere Differenz betrug -0,38 Punkte ($p=0,001$), wobei sich ein mittlerer Effekt nach Cohen's d ergab ($d=-0,5$).

Tabelle 6: Statistik der Scores für das Fachgebiet Herzchirurgie mithilfe eines T-Tests

Score	Fachbereich	N	Mittelwert (±SD)	Mittlere Differenz	95% CI der Differenz	Sig.	Effektstärke
Score 1	Herzchirurgie	51	2,06 (±1,14)	-0,53	[-0,86, -0,19]	$p=0,002$	$d=-0,3$
	Alle anderen Fachbereiche	227	2,59 (±1,10)				
Score 2	Herzchirurgie	51	0,96 (±0,66)	-0,38	[-0,62, -0,14]	$p=0,001$	$d=-0,5$
	Alle anderen Fachbereiche	227	1,34 (±0,81)				
Score 3	Herzchirurgie	51	1,10 (±0,92)	-0,14	[-0,42, 0,14]	$p=0,31$ (n.s.)	.
	Alle anderen Fachbereiche	227	1,24 (±0,90)				

Anmerkung: Score 1 (0-6 Punkte), Score 2 (0-3 Punkte), Score 3 (0-3 Punkte). N = Häufigkeit. SD = Standardabweichung. CI = Konfidenzintervall. Sig. = Signifikanz. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). d = Cohen's d (Effektstärke).

Für die Anästhesiologie zeigte sich in Score 2 ein statistisch signifikanter Unterschied zu allen anderen Fachbereichen. Tabelle 7 dokumentiert die entsprechenden Werte. Für Score 1 und Score 3 ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p=0,054$, $p=0,065$). Die Anästhesiologie erreichte in Score 2 einen Mittelwert von 1,48 Punkten, die anderen Fachbereiche 1,02 Punkte. Die mittlere Differenz betrug 0,47 Punkte ($p<0,001$) mit einem mittleren Effekt nach Cohen's d ($d=0,61$).

Tabelle 7: Statistik der Scores für das Fachgebiet Anästhesiologie mithilfe eines T-Tests

Score	Fachbereich	N	Mittelwert (±SD)	Mittlere Differenz	95% CI der Differenz	Sig.	Effektstärke
Score 1	Anästhesiologie	153	2,61 (±1,20)	0,26	[-0,00, 0,53]	p=0,054 (n.s.)	.
	Alle anderen Fachbereiche	125	2,34 (±1,04)				
Score 2	Anästhesiologie	153	1,48 (±0,82)	0,47	[0,29, 0,65]	p<0,001	d=0,61
	Alle anderen Fachbereiche	125	1,02 (±0,68)				
Score 3	Anästhesiologie	153	1,12 (±0,82)	-0,20	[-0,01, 0,42]	p=0,065 (n.s.)	.
	Alle anderen Fachbereiche	125	1,33 (±1,01)				

Anmerkungen: Score 1 (0-6 Punkte), Score 2 (0-3 Punkte), Score 3 (0-3 Punkte). N = Häufigkeit. SD = Standardabweichung. CI = Konfidenzintervall. Sig. = Signifikanz. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). d = Cohen's d (Effektstärke).

4.4 Analyse der Ergebnisse der Teilnehmer der Herzchirurgie und Anästhesiologie mithilfe eines Chi-Quadrat-Tests

Die Chi-Quadrat-Tests nach Pearson untersuchten für jede spezifische Frage, ob eine signifikante Abhängigkeit zwischen dem Fachbereich der Teilnehmer (Herzchirurgie, Anästhesiologie) und deren Antwortverhalten besteht. Statistische Tests wurden ausschließlich für die korrekten Antworten der Befragung in Bezug auf den Fachbereich durchgeführt. Alle erforderlichen Testvoraussetzungen, einschließlich der Bedingung, dass keine erwarteten Zelhäufigkeiten kleiner als 5 waren, wurden erfüllt.

Die Auswertung der Ergebnisse in Tabelle 8 zeigt, dass insgesamt nur 71 von 278 Teilnehmern (26%) die Frage nach der richtigen Lagerung korrekt beantwortet haben. Dagegen würden 196 (71%) den Test mit dem Anheben beider Beine in einem Winkel von über 45 Grad beginnen, während 4 (1%) mit dem Anheben eines Beines beginnen würden. Zudem begannen 7 (3%) der Befragten mit einer flachen Position und anschließender Kopftief-Lagerung (Trendelenburg). Im Chi-Quadrat-Test waren von denjenigen, die die korrekte Lagerung des PLR gewählt hatten, 55/71 (76%) Anästhesisten ($p < 0,001$). Es zeigt sich ein kleiner Effekt ($\phi = 0,26$). Es ergab sich keine Abhängigkeit zum Fachbereich Herzchirurgie ($p = 0,08$).

Für die Frage nach der geeigneten Zielgröße (kontinuierliche HZV-Messung) zeigte sich, dass 68/278 (25%) aller Teilnehmenden korrekt antworteten. Insgesamt 23/278 (8%) der Befragten gaben an, dass sie eine Änderung mittels Echokardiographie bei der Durchführung der PLR nutzen. Die Angaben zu weiteren Zielgrößen sind in Tabelle 8 dargestellt. Im Chi-Quadrat-Test zeigte sich, dass diejenigen, die die passende Zielgröße wählten, zu 4% (3/68 Teilnehmende) zur Herzchirurgie und zu 71% (48/68 Teilnehmenden) zur Anästhesiologie

gehörten. Es wurde eine statistisch signifikante Abhängigkeit zwischen den Fachbereich und der passenden Zielgröße festgestellt ($p=0,001$ für Herzchirurgie, $p=0,003$ für Anästhesiologie). Es zeigten sich jeweils kleine Effekte ($\phi=0,21$ für Herzchirurgie, $\phi=0,18$ für Anästhesiologie). Diejenigen, die die korrekte Zielgröße gewählt hatten waren zu 48/68 (71%) Anästhesisten und zu 3/68 (4%) Herzchirurgen.

Die Auswertung ergab, dass 215 von 278 Befragten (77%) mit der korrekten Effektstärke für das erhöhte Schlagvolumen ($\geq 10\%$) vertraut waren. Hier zeigten sich keine signifikanten Abhängigkeiten zu den Fachbereichen ($p=0,114$, $p=0,583$).

Tabelle 8: Angaben der Befragten zu korrekter Durchführung, Zielgröße und Effektstärke

Merkmal	Gesamt n=278	Anästhesie n=153	Sig., Effektstärke	Herzchirurgie n=51	Sig., Effektstärke
Durchführung:					
Anheben beider Beine über 45°	196/278 (71%)	91/153 (60%)	.	41/51 (80%)	.
Anheben eines Beines über 45°	4/278 (1%)	2/153 (1%)	.	2/51 (4%)	.
Trendelenburg*	7/278 (3%)	5/153 (3%)	.	0/51 (0%)	.
Korrekte Durchführung ** n=71	71/278 (26%)	55/153 (26%) 55/71 (76%)	p<0,001, $\phi=0,26$	8/51 (16%) 8/51 (11%)	p=0,078 (n.s.)
Keiner der genannten Punkte	0/278 (0%)	0/153 (0%)	.	0/51 (0%)	.
Zielgröße:					
Anstieg des systolischen Blutdrucks	97/278 (35%)	40/153 (26%)	.	15 (29%)	.
Anstieg des mittleren arteriellen Blutdrucks (MAP)	45/278 (16%)	26/153 (17%)	.	7/51 (14%)	.
Anstieg des Pulsdrucks	4/278 (1%)	2/153 (1%)	.	1/51 (2%)	.
Anstieg CO mittels kontinuierlicher HZV-Messung (PICCO) n=68	68/278 (25%)	48/153 (31%) 48/68 (71%)	p=0,001, $\phi=0,18$	3/51 (6%) 3/68 (4%)	p=0,001, $\phi=0,21$
Anstieg CO mittels diskontinuierlicher HZV-Messung (Echokardiographie)	23/278 (8%)	22/153 (14%)	.	0/51 (0%)	.
Anstieg CO mittels diskontinuierlicher HZV-Messung (PAK)	41/278 (15%)	15/153 (10%)	.	25/51 (49%)	.
Keiner der genannten Punkte	0/278 (0%)	0/153 (0%)	.	0/51 (0%)	.

Effektstärke:					
8%	3/278 (1%)	0/153 (0%)	.	1/51 (2%)	.
9%	4/278 (1%)	2/153 (1%)	.	2/51 (4%)	.
10% n=215	215/278 (77%)	124/153 (81%) 124/215 (58%)	p=0,114 (n.s.)	38/51 (75%) 38/215 (30 %)	p=0,583 (n.s.)
11%	1/278 ($<1\%$)	0/153 (0%)	.	0/51 (0%)	.
12%	36/278 (13%)	19/153 (12%)	.	6/51 (12%)	.
13%	2/278 ($<1\%$)	0/153 (0%)	.	1/51 (2%)	.
14%	0/278 (0%)	0/153 (0%)	.	0/51 (0%)	.
15%	16/278 (6%)	7/153 (5%)	.	3/51 (6%)	.
Keiner der genannten Punkte	1/278 ($<1\%$)	1 ($<1\%$)	.	0/51 (0%)	.

Anmerkung: Werte als absolute Zahlen und relative Anteile (%) angegeben. Korrekte Antworten fett markiert. Sig. = Signifikanz. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). ϕ = Phi-Koeffizient (Effektstärke). *Trendelenburg: Zuerst Flachlagern des Patienten/der Patientin, anschließend Kopftief-Lagerung. Korrektes Manöver: Anheben des Oberkörpers auf 45° mit anschließendem Kippen des Bettes, so dass der Körperstamm flach gelagert ist und die Beine angehoben sind.

Tabelle 9 zeigt die Angaben der Befragten zu den Limitationen des PLR. Die Analyse ergab, dass von den korrekt zu identifizierenden Kontraindikationen 147 von 278 Teilnehmern (53%) erhöhten abdominellen Druck erkannten, wobei 91 Anästhesisten (60%) und 22 Herzchirurgen (43%) diese Frage richtig beantworteten. Der Chi-Quadrat-Test zeigte einen signifikanten Unterschied für die Anästhesiologie ($p = 0,016$, $\phi = 0,15$), während sich für die Herzchirurgie kein signifikanter Unterschied ergab ($p = 0,162$).

Das Tragen von Kompressionsstrümpfen nannten 52 Teilnehmer (19%) als Limitation, entsprechend 13 Anästhesisten (9%) und 9 Herzchirurgen (18%). Für diese Limitation ergab sich ein signifikanter Unterschied für die Anästhesiologie ($p < 0,001$, $\phi = -0,29$), jedoch kein signifikanter Unterschied für die Herzchirurgie ($p = 1,000$).

Schädelhirntrauma identifizierten 139 von 278 Befragten (50%) als Limitation, darunter 68 Anästhesisten (44%) und 25 Herzchirurgen (49%). Hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fachbereichen ($p = 0,054$, $p = 1,000$).

Bei den fälschlicherweise als Limitationen eingeschätzten Faktoren gaben 175 von 278 Befragten (63%) an, dass nicht erhaltener Sinusrhythmus eine Kontraindikation darstelle. Beatmete Patienten betrachteten 11 von 278 Befragten (4%) als Limitation. Spontanatmung wählten 155 Befragte (56%), zu geringe Tidalvolumina 62 Befragte (22%) und geringe Lungencompliance 32 Befragte (12%).

Tabelle 9: Angaben der Befragten zu Limitationen

Merkmal	Gesamt n=278	Anästhesi e n=153	Sig., Effektstärk e	Herzchirurgi e n=51	Sig., Effektstärk e
Limitationen:					
Erhöhter abdomineller Druck n=147	147/278(53%)	91/153 (60%) 91/147 (62%)	p=0,016, $\phi = 0,15$	22/51 (43%) 22/147 (15%)	p=0,162, (n.s.)
Kompressionsstrümpfen n=52	52/278 (19%)	13/153 (9%) 13/52 (25%)	p<0,001, $\phi = -0,29$	9/51 (18%) 9/52 (17%)	p=1,000, (n.s.)
Schädelhirntrauma n=139	139/278 (50%)	68/153 (44%) 68/139 (50%)	p=0,054, (n.s.)	25/51 (49%) 25/139 (18%)	p=1,000, (n.s.)
Beatmete Patienten	11/278 (4%)	2/153 (1%)	.	1/51 (2%)	.
Nicht erhaltener Sinusrhythmus	175/278 (63%)	98/153 (64%)	.	34/51 (67%)	.
Spontanatmung	155/278 (56%)	89/153 (58%)	.	34/51 (67%)	.
Zu geringe Tidalvolumina	62/278 (22%)	42/153 (28%)	.	11/51 (22%)	.
Geringe Lungencompliance	32/278 (12%)	28/153 (18%)	.	2/51 (4%)	.

Anmerkung: Anmerkung: Werte als absolute Zahlen und relative Anteile (%) angegeben. Korrekte Antworten fett markiert. Sig. = Signifikanz. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). ϕ = Phi-Koeffizient (Effektstärke).

4.5 Subgruppenanalyse mithilfe einer ANOVA bezüglich Score 1

Die folgende Subgruppenanalyse mittels ANOVA untersucht den Einfluss verschiedener demografischer und arbeitsplatzbezogener Faktoren auf die Performance der Teilnehmenden. Dafür wurden weiterführende Post-Hoc-Tests durchgeführt. Diese Tests zielten darauf ab, die Mittelwerte der verschiedenen Ergebnisse zu vergleichen, wobei Variablen mit mehreren Subgruppen berücksichtigt wurden.

Wenn die Voraussetzungen für eine einfaktorielle ANOVA nicht erfüllt waren (Levene-Test für Varianzhomogenität), wurde die robustere Welch-ANOVA verwendet. Die folgenden Abschnitte präsentieren die detaillierten Ergebnisse dieser Analysen.

Score 1 fasst die Ergebnisse der ersten vier Fragen der Online-Umfrage zusammen und repräsentiert die allgemeine Performance der Teilnehmenden. Da die Voraussetzung der Varianzhomogenität verletzt war, wurde eine robuste Welch-ANOVA durchgeführt.

Tabelle 10: Subgruppenanalyse bezüglich Score 1

Merkmal	Sig.	Effektstärke	Post-Hoc-Test	Mittlere Differenz	95% CI der mittleren Differenz
Funktion	p=0,197 (n.s.)	.	.	.	.

Fachrichtung	p=0,119 (n.s.)	.	.	.	.
Bettenkapazität	p=0,001	$\epsilon^2=0,10$	.	.	.
Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 1-10" versus „Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15"	.	.	p<0,0001	0,79	[0,35, 1,24]
Patientenkollektiv	p=0,073 (n.s.)	.	.	.	.
Versorgungsstufe	p<0,0001	$\epsilon^2=0,06$	.	.	.
Grund-/Regelversorgung versus Maximalversorgung	.	.	p<0,0001	0,82	[0,43, 1,20]
Grund-/Regelversorgung versus Universitätsklinikum	.	.	p<0,0001	0,67	[0,28, 1,06]

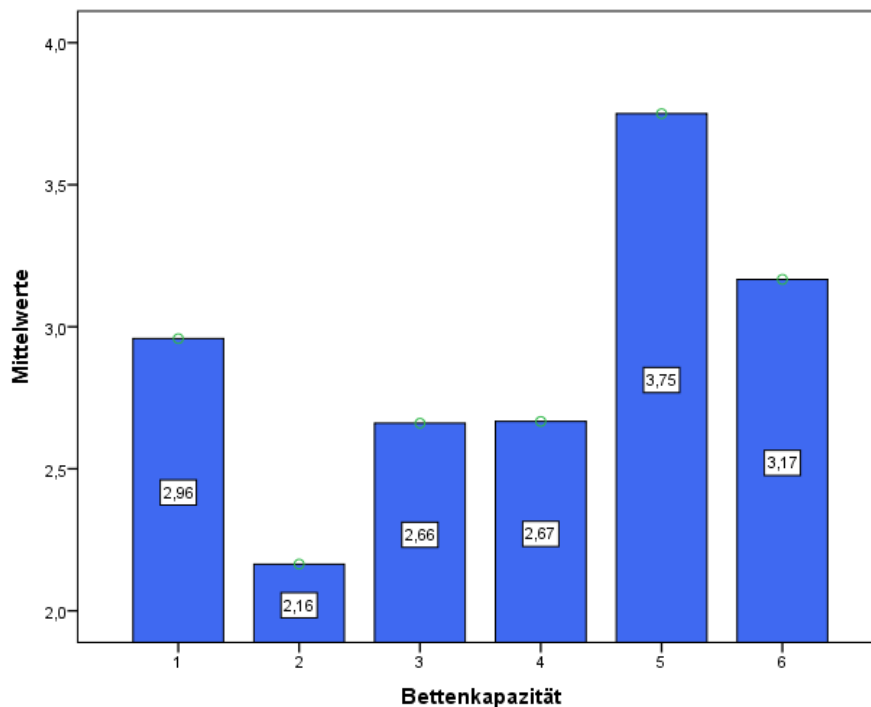
Anmerkung: Abhängige Variable=Score 1. Sig. = Signifikanz. CI=Konfidenzintervall. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). ϵ^2 =Epsilon-Quadrat-Schätzer (Effektstärke)

Die Ergebnisse der Welch-ANOVA zeigten einen statistisch signifikanten Unterschied in den Mittelwerten von Score 1 zwischen den verschiedenen Subgruppen der Bettenkapazität ($p=0,001$) und der Versorgungsstufe ($p<0,0001$). Zur Identifikation der spezifischen Subgruppen, zwischen denen diese Unterschiede bestanden, wurden wie in Tabelle 10 dargestellt, weiterführende Post-Hoc-Tests durchgeführt. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Funktion, Fachrichtung und Patientenkollektiv der Teilnehmenden ($p=0,197$, $p=0,119$, $p=0,073$).

Die Post-Hoc-Analyse zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen „Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 1-10" und „Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15" ($p<0,0001$). Teilnehmenden von Intensivstationen mit weniger Betten (1-10) schnitten um 0,79 Punkte besser ab als diejenigen von Intensivstationen mit mittlerer Bettenkapazität (11-15). Als Epsilon-Quadrat-Schätzer ergab sich ein mittlerer Effekt ($\epsilon^2=0,10$).

Abbildung 7 zeigt die unterschiedlichen Mittelwerte von Score 1 nach Bettenkapazität. Die Darstellung zeigt, dass vor allem die Gruppe „Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15" weniger Punkte erzielten.

Abbildung 7: Mittelwerte der Bettenkapazitäten von Score 1

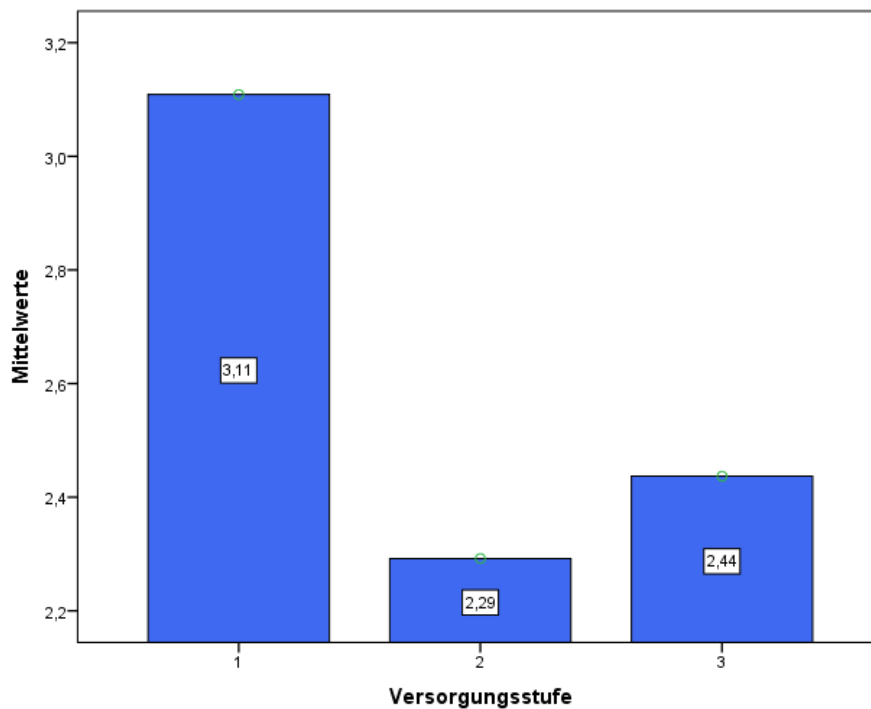


Anmerkung: In der Abbildung zeigte sich die Verteilung der Bettenkapazität der Einsatzorte der Teilnehmenden. x-Achse: Bettenkapazität (1= Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 1-10, 2= Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15, 3= Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 16-30, 4=Intensivstation mit einer Bettenkapazität von mehr als 30 Betten, 5= IMC, 6= Andere Bettenkapazität), y-Achse= Mittelwerte von Score 1 (0-6 Punkte), n=278

Für die Versorgungsstufe zeigte sich, dass es signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe der Grund- und Regelversorgung und den Gruppen der Maximalversorgung ($p < 0,0001$) sowie der Universitätskliniken ($p < 0,0001$) gab. Zum Abschätzen des Effektes ergab sich als Epsilon-Quadrat-Schätzer ein kleiner Effekt ($\epsilon^2 = 0,06$).

Im Balkendiagramm in Abbildung 8 wird deutlich, dass die Krankenhäuser der Grund- und Regelversorgung in Score 1 um 0,82 Punkte besser abschnitten als die Kliniken der Maximalversorgung und um 0,67 Punkte besser als die Universitätskliniken. Die Ergebnisse legen einen Einfluss der Versorgungsstufe eines Krankenhauses auf die Performance der Teilnehmenden bei der Durchführung des PLR nahe. Insbesondere erzielten die Krankenhäuser der Grund- und Regelversorgung überwiegend mehr Punkte als die größeren Einrichtungen der Maximalversorgung und Universitätskliniken.

Abbildung 8: Mittelwerte der Versorgungsstufen von Score 1



Anmerkung: In der Abbildung zeigt sich die Zunahme der Mittelwerte von Score 1 mit steigendem Versorgungsgrad der KH. X-Achse= Versorgungsstufe (1= Grund- und Regelversorgung, 2=Maximalversorgung, 3= Universitätsklinikum), Y-Achse= Mittelwerte von Score 1(0-6 Punkte), n=278

4.6 Subgruppenanalyse mithilfe einer ANOVA bezüglich Score 2

Score 2 umfasst die Ergebnisse der ersten drei Fragen der Umfrage und misst somit die spezifische Performance der Teilnehmenden in den Bereichen Lagerung, Monitoring und Interpretation des PLR. Ziel dieses Kapitels ist es, Unterschiede in der Performance zwischen verschiedenen Subgruppen zu untersuchen. Bei mangelnden Varianzhomogenität (Levene-Test) wurden robustere Welch-ANOVA durchgeführt.

Tabelle 11: Subgruppenanalyse bezüglich Score 2

Merkmal	Sig.	Effektstärke	Post-Hoc-Test	Mittlere Differenz	95% CI der mittleren Differenz
Funktion	p=0,034	$\epsilon^2=0,03$	.	.	.
Assistenzärzte versus Funktionsoberärzte/ Stellv. Oberärzte	.	.	p=0,032	-0,40	[-0,77, -0,02]
Fachrichtung	p<0,0001	$\epsilon^2=0,08$	.	.	.
Anästhesiologie versus Herzchirurgie	.	.	p<0,0001	0,52	[0,19, 0,85]

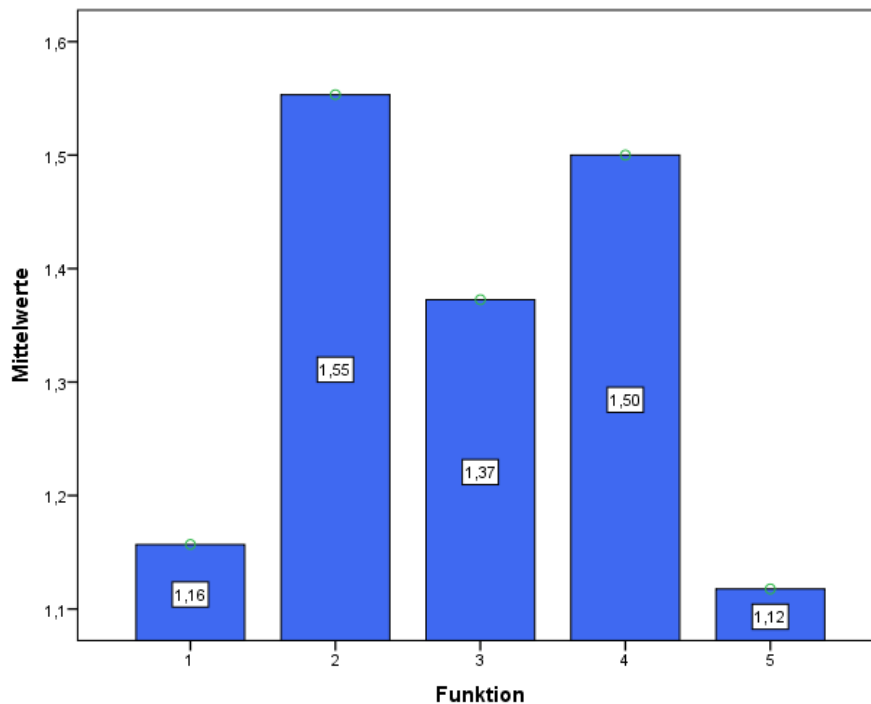
Anästhesiologie versus AVTC	.	.	p=0,027	0,70	[0,06, 1,33]
Bettenkapazität	p=0,164 (n.s.)	.	.	.	.
Patientenkollektiv	p=0,592 (n.s.)	.	.	.	.
Versorgungsstufe	p=0,154 (n.s.)	.	.	.	.

Anmerkung: Abhängige Variable=Score 2. Sig. = Signifikanz CI=Konfidenzintervall. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$).
 ϵ^2 =Epsilon-Quadrat-Schätzer (Effektstärke)

Die Mittelwerte von Score 2 unterschieden sich statistisch signifikant für die verschiedenen Subgruppen der Funktionen der Teilnehmenden im Welch-Test ($p=0,034$). Es war ein kleiner Effekt festzustellen ($\epsilon^2=0,03$). Um herauszufinden in welchen Untergruppen der Unterschied lag, wurde anschließend der Post-Hoc-Test durchgeführt. Wie in Tabelle 11 dargestellt zeigte sich bei Score 2 ein signifikanter Unterschied in den Mittelwerten zwischen den Gruppen Assistenzärzte zu Funktionsoberärzte ($p=0,032$). Funktionsoberärzte schnitten 0,40 Punkte besser als Assistenzärzte ab.

Die grafische Darstellung der Verteilung von M in Abbildung 9 illustriert die Ergebnisse. Es konnte festgestellt werden, dass insbesondere Teilnehmende mit einer niedrigeren Funktion im Krankenhaus schlechtere Ergebnisse erzielten. Mit zunehmender Erfahrung verbesserten sich jedoch die Testergebnisse. Teilnehmende mit sehr hohen Funktionen zeigen zudem tendenziell schlechtere Leistungen.

Abbildung 9: Mittelwerte der Funktionen von Score 2



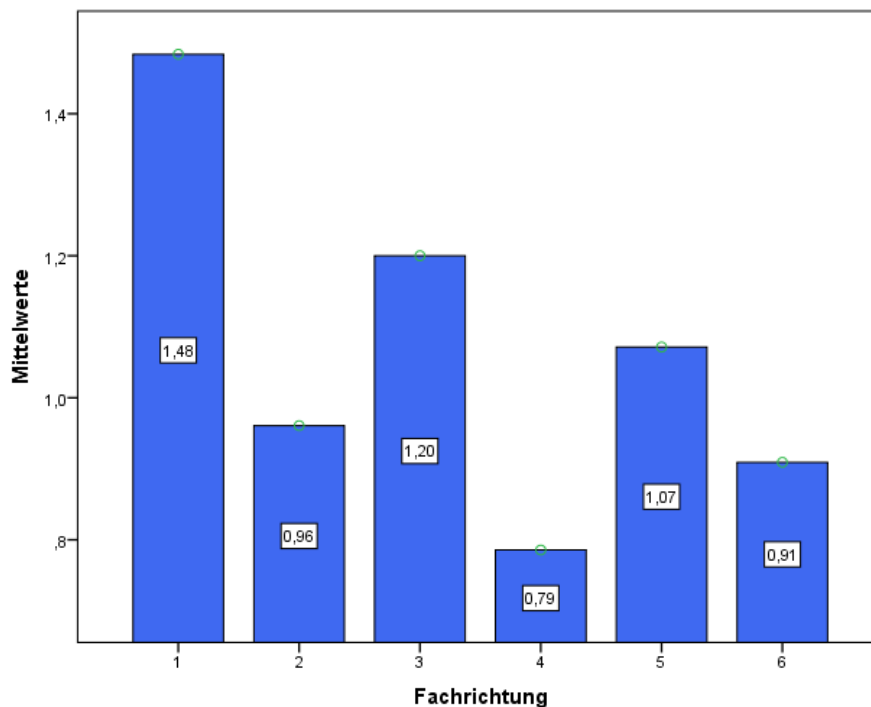
Anmerkung: Die Abbildung zeigt die Mittelwerte des Score 2 verteilt über die jeweiligen Funktionen der Teilnehmenden. x-Achse= Funktion (1=Assistenzärzte, 2= Funktionsoberärzte/ stellvertret. Oberärzte, 3=Oberärzte, 4=leitender Oberärzte, 5= Chefärzte), y-Achse= Mittelwerte (n=278)

Die Mittelwerte von Score 2 unterschieden sich im Welch-Test statistisch signifikant zwischen den verschiedenen Subgruppen der Fachrichtungen ($p < 0,0001$). Der Effekt gemessen nach dem Epsilon-Quadrat-Schätzer war mittel ($\epsilon^2 = 0,08$). Der Post-Hoc-Test in Tabelle 11 identifizierte signifikante Unterschiede in den Mittelwerten von Score 2 zwischen den Gruppen Anästhesiologie und Herzchirurgie sowie zwischen Anästhesiologie und AVTC, jeweils bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$. Anästhesisten erzielten dabei um 0,52 Punkte bessere Ergebnisse als Herzchirurgen und um 0,70 Punkte bessere Ergebnisse als Teilnehmende aus den AVTC.

In Abbildung 10 sind die durchschnittlichen Mittelwerte von Score 2 graphisch dargestellt. Es wird deutlich, dass Anästhesisten bei der Beantwortung der Fragen zur Umsetzung der PLR in der Tendenz besser abschnitten als die anderen Fachbereiche.

Es ergaben sich keine Signifikanzen bezüglich Patientenkollektiv, Versorgungsstufe und Bettenkapazität ($p = 0,164$, $p = 0,592$, $p = 0,154$).

Abbildung 10: Mittelwerte der Fachrichtungen von Score 2



Anmerkung: Die Abbildung zeigt die Mittelwerte des Score 2 verteilt über die jeweiligen Fachrichtungen der Teilnehmenden. x-Achse=Fachrichtung (1= Anästhesiologie, 2= Herzchirurgie, 3= Innere Medizin, 4= Allgemein-, Viszeral-, Transplantationschirurgie, 5=Neurochirurgie, 6=andere Fachbereiche), y-Achse= Mittelwerte (n=278)

4.7 Subgruppenanalyse mithilfe einer ANOVA bezüglich Score 3

Score 3 umfasst die Ergebnisse der Teilnehmenden zur vierten Frage, die sich mit den Kontraindikationen und Limitationen des PLR beschäftigt. Bei mangelnden Varianzhomogenität (Levene-Test) wurden robuste Welch-ANOVA durchgeführt, um genauere Ergebnisse zu erzielen. Die Analyse ergab mehrere signifikante Unterschiede in den Mittelwerten der Variablen Fachrichtung, Patientenversorgung, Bettenkapazität und Versorgungsstufe. Es konnte kein signifikanter Unterschied der Subgruppen der verschiedenen Funktionen bezüglich Score 3 festgestellt werden ($p=0,097$).

Tabelle 12: Subgruppenanalyse bezüglich Score 3

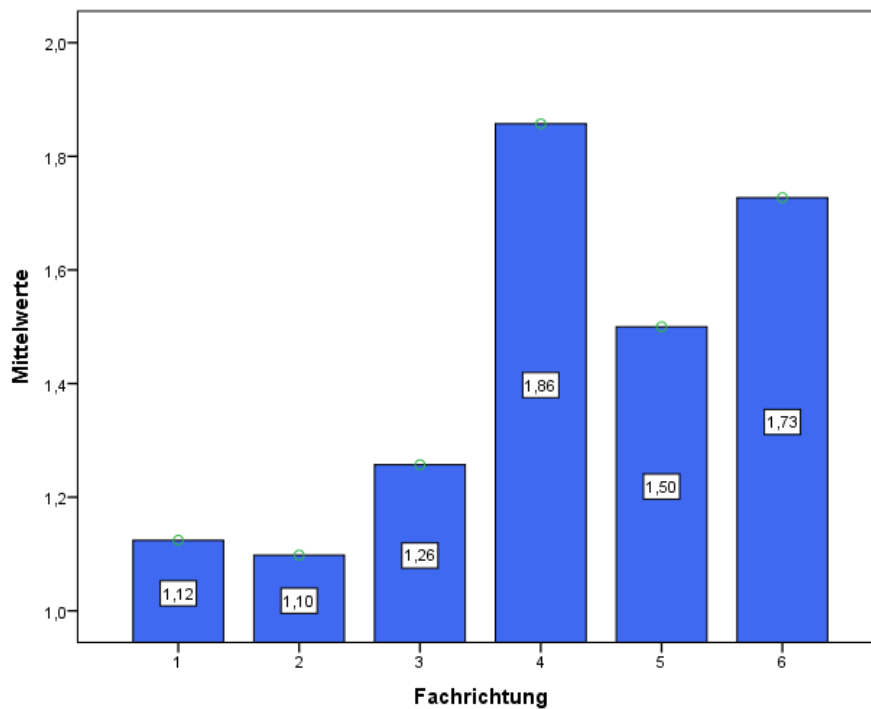
Merkmal	Sig.	Effektstärke	Post-Hoc-Test	Mittlere Differenz	95% CI der mittleren Differenz
Funktion	p=0,097 (n.s.)		.	.	.
Fachrichtung	p=0,011	$\epsilon^2 = 0,03$	.	.	.
Anästhesiologie versus AVTC	.	.	p=0,04	-0,73	[-1,43, -0,03]
Herzchirurgie versus AVTC	.	.	p=0,04	-0,76	[-1,51, -0,01]
Patientenversorgung	p=0,009	$\epsilon^2 = 0,04$	.	.	.
Herzchirurgie versus interdisziplinäre Versorgung	.	.	p=0,02	-0,44	[-0,85, -0,04]
Bettenkapazität	p<0,0001	$\epsilon^2 = 0,23$			
Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 1-10 versus Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15	.	.	p<0,0001	1,04,	[0,64, 1,44]
Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 1-10 versus Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 16-30	.	.	p=0,001	0,69	[0,23, 1,15]
Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15 versus IMC	.	.	p=0,04	-1,62	[-3,19, -0,06]
Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15 versus andere Bettenkapazität	.	.	p=0,01	-1,21	[-2,10, -0,31]
Versorgungsstufe	p<0,0001	$\epsilon^2 = 0,12$	.	.	.
Grund-/Regelversorgung versus Maximalversorgung	.	.	p<0,0001	0,93	[0,60, 1,25]
Grund-/Regelversorgung versus Uniklinikum	.	.	p<0,0001	0,90	[0,60, 1,21]

Anmerkung: Abhängige Variable=Score 3. CI=Konfidenzintervall. Sig. = Signifikanz. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). ϵ^2 =Epsilon-Quadrat-Schätzer (Effektstärke).

Erstens unterschieden sich die Mittelwerte von Score 3 im Welch-Test statistisch signifikant für die verschiedenen Gruppen der Fachrichtungen ($p = 0,01$). Der Epsilon-Quadrat-Schätzer zeigte einen kleinen Effekt ($\epsilon^2 = 0,03$) der Fachrichtung auf die Beantwortung der Frage. Post-Hoc-Analysen in Tabelle 12 ergaben signifikante Unterschiede in Score 3 zwischen den Gruppen Anästhesiologie und AVTC ($p = 0,04$) sowie Herzchirurgie und AVTC ($p = 0,04$). Die Fachrichtung AVTC erzielte 0,73 Punkte mehr als die Anästhesiologie und 0,76 Punkte mehr als die Herzchirurgie.

Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Mittelwerte von Score 3 mit einem deutlichen Unterschied zugunsten der Teilnehmenden der Fachrichtung AVTC.

Abbildung 11: Mittelwerte der Fachrichtungen von Score 3

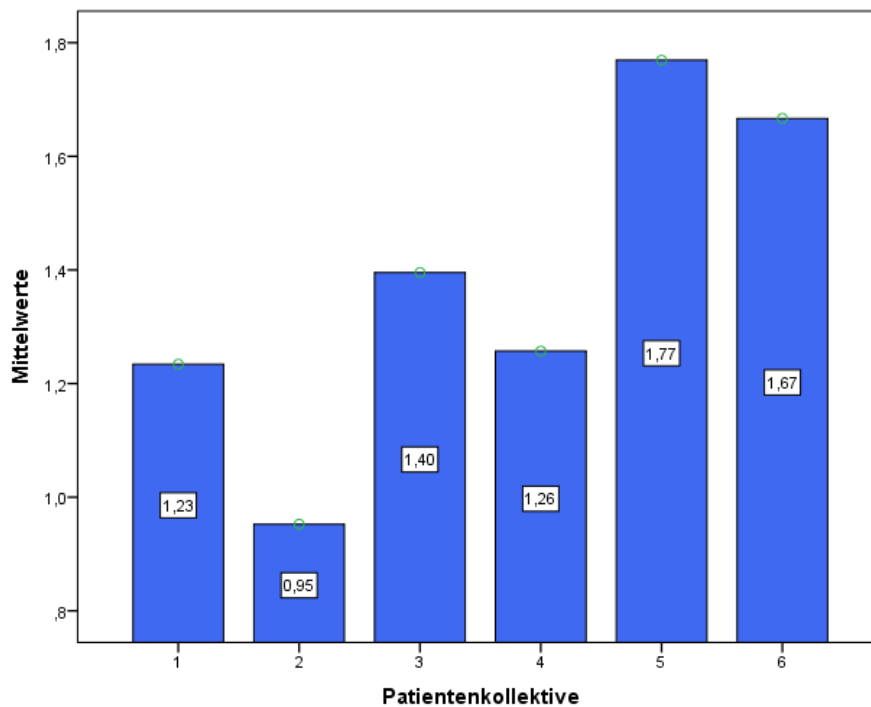


Anmerkung: Die Abbildung zeigt die Verteilung der Mittelwerte der verschiedenen Fachrichtungen. x-Achse=Fachrichtung (1= Anästhesiologie, 2= Herzchirurgie, 3= Innere Medizin, 4= Allgemein-, Viszeral-, Transplantationschirurgie, 5=Neurochirurgie, 6=andere Fachbereiche, y-Achse= Mittelwerte (n=278)

Zweitens zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied im Welch-Test zwischen den verschiedenen Subgruppen der Patientenversorgung ($p=0,01$). Tabelle 12 weist einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen herzchirurgischer und interdisziplinärer Versorgung ($p = 0,02$) aus. Der Epsilon-Quadrat-Schätzer von 0,04 ergab einen kleinen Effekt. Teilnehmende der Herzchirurgie erzielten 0,44 Punkte weniger als jene der interdisziplinären Versorgung.

Abbildung 12 zeigt in der Darstellung der Verteilung, dass Teilnehmende, die herzchirurgische Patienten versorgten, tendenziell weniger Punkte erzielten als andere.

Abbildung 12: Mittelwerte der Patientenversorgung von Score 3



Anmerkung: Die Abbildung zeigt die Verteilung der Mittelwerte der verschiedenen Patientenkollektiven. x-Achse= Patienten (1= postoperative Patienten (gemischtes Kollektiv), 2= Herzchirurgie, 3= Interdisziplinär, 4=Innere Medizin, 5= Neurochirurgie, 6= Andere Fachrichtung), y-Achse= Mittelwerte (n=278)

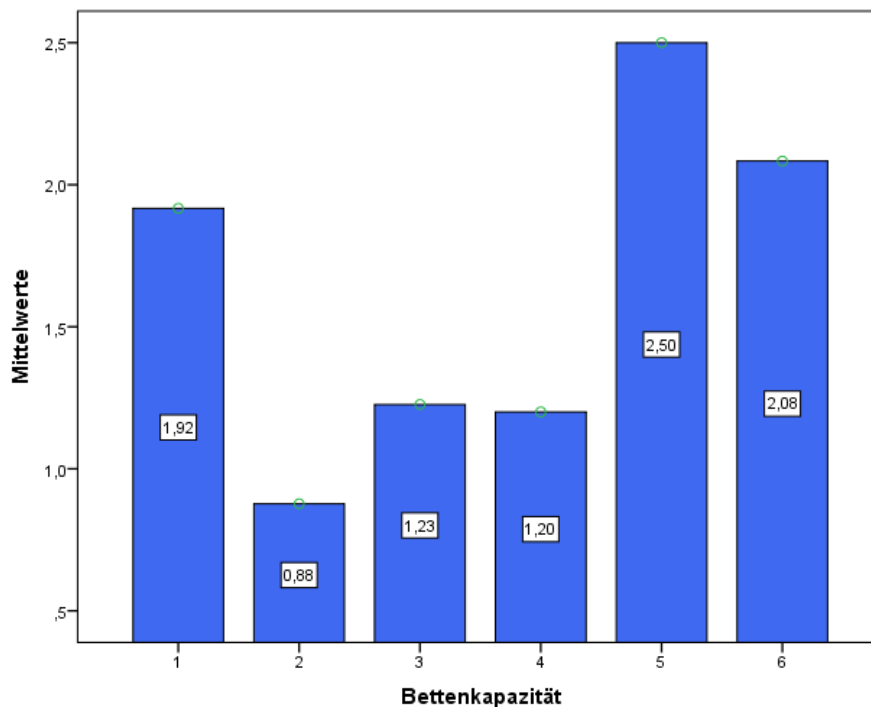
Es gab drittens einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Subgruppen in der einfaktoriellen ANOVA bei gegebener Varianzhomogenität (Levene-Test) der verschiedenen Bettenkapazitäten des Scores 3 ($p < 0,0001$). Der Epsilon-Quadrat-Schätzer zeigte einen großen Effekt ($\epsilon^2 = 0,23$) der Variable Bettenkapazität auf die Beantwortung der Fragen.

Die Post-Hoc-Tests für Score 3 ergaben mehrere signifikante Unterschiede zwischen den Subgruppen. Die Gruppe Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 1-10 erreichte gegenüber der Gruppe Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15 1,04 Punkte mehr ($p < 0,001$) und gegenüber der Gruppe Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 16-30 0,69 Punkte mehr ($p = 0,001$).

Außerdem erzielten Intensivstationen mit mittlerer Bettenkapazität (11-15) signifikant 1,62 Punkte weniger als Intermediate-Care-Stationen ($p=0,04$) und 1,21 Punkte weniger als andere Bettenkapazitäten ($p=0,01$).

Die genaue Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 13 dargestellt.

Abbildung 13: Mittelwerte der Bettenkapazitäten von Score 3

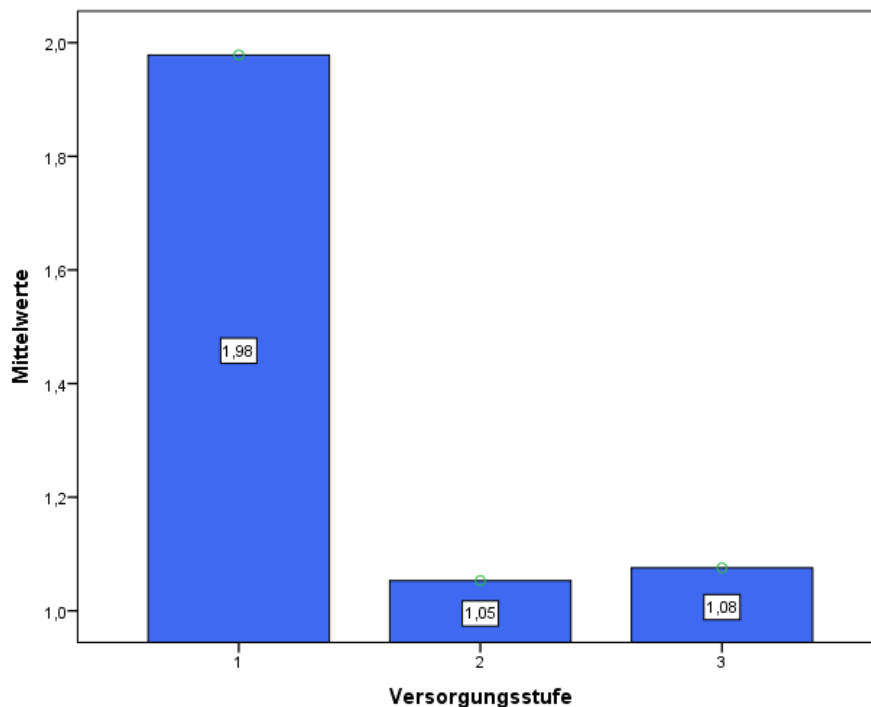


Anmerkung: Die Abbildung zeigt die Verteilung der Mittelwerte der Bettenkapazität der Einsatzorte der Teilnehmenden. x-Achse: Bettenkapazität (1= Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 1-10, 2= Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15, 3= Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 16-30, 4=Intensivstation mit einer Bettenkapazität von mehr als 30 Betten, 5= IMC, 6= Andere Bettenkapazität), y-Achse= Mittelwerte (n=278)

Viertens zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Subgruppen der Versorgungsstufen für Score 3 ($p < 0,0001$). Nach Epsilon-Quadrat-Schätzer zeigte sich ein mittlerer Effekt ($\epsilon^2 = 0,12$). Die signifikanten Unterschiede lagen im Post-Hoc-Test zwischen den Gruppen Grund- und Regelversorgung gegenüber Maximalversorgung ($p < 0,0001$) und gegenüber Universitätskliniken ($p < 0,0001$). Krankenhäuser der Grund- und Regelversorgung erzielten 0,93 Punkte mehr als Maximalversorger und 0,90 Punkte mehr als Universitätskliniken.

Abbildung 14 zeigt, dass in Score 3 die Krankenhäuser der Grund- und Regelversorgung in der Tendenz besser abschnitten als Universitätskliniken und Kliniken der Maximalversorgung.

Abbildung 14: Mittelwerte der Versorgungsstufen von Score 3



Anmerkung: Die Abbildung zeigt die Verteilung der Mittelwerte der Versorgungsstufen. X-Achse= Versorgungsstufe (1= Grund- und Regelversorgung, 2=Maximalversorgung, 3= Universitätsklinikum), Y-Achse= Mittelwerte von Score 3 von 1-3 Punkten

4.8 Subgruppenanalyse mithilfe eines T-Tests

Zur weiteren Überprüfung von Hypothese 3, die besagt, dass innerhalb der Subgruppen der Variablen signifikante Unterschiede im Mittelwert der Punktezahl bestehen, wurden ergänzend zu den ANOVA-Analysen unabhängige T-Tests durchgeführt. Diese ermöglichen den direkten Vergleich der Mittelwerte zwischen jeweils zwei unabhängigen Gruppen und die Bewertung der statistischen Signifikanz der beobachteten Unterschiede. Die T-Test-Analysen konzentrierten sich auf die Variablen Qualifikation (Fachärzte versus Ärzte in Weiterbildung) und Zusatzbezeichnung (Spezielle Intensivmedizin versus keine Zusatzbezeichnung) für alle drei Scores.

Für Score 1 ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Qualifikationsgruppen, wie Tabelle 13 zeigt. Fachärzte erreichten durchschnittlich 0,31 Punkte mehr als Ärzte in Weiterbildung ($p = 0,02$), was einem kleinen Effekt nach Cohen entspricht ($d = 0,3$). Bezüglich der Zusatzbezeichnung zeigte sich ein Trend, der jedoch das Signifikanzniveau knapp verfehlte ($p = 0,06$). Ärzte mit der Zusatzbezeichnung erreichten durchschnittlich 0,28 Punkte mehr als solche ohne Zusatzbezeichnung.

Tabelle 13: Subgruppenanalyse bezüglich Score 1

Merkmal	N	Mittelwert (±SD)	Mittlere Differenz	95%CI der mittleren Differenz	Sig.	Effektstärke
Qualifikation	.	.	-0,31	[-0,57, -0,05]	p=0,02	d = 0,3
Fachärzte	130	2,65 (±1,17)	.	.	.	.
Ärzte in Weiterbildung	148	2,34 (±1,05)	.	.	.	.
Zusatzbezeichnung	.	.	-0,28	[-0,56, 0,00]	p=0,06 (n.s.)	.
Spezielle Intensivmedizin	90	2,68 (±1,13)	.	.	.	.
Keine Zusatzbezeichnung	188	2,40 (±1,11)	.	.	.	.

Anmerkungen: Score 1 (0-6 Punkte). Sig. = Signifikanz. N = Häufigkeit. SD = Standardabweichung. CI = Konfidenzintervall. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). d = Cohen's d (Effektstärke).

Bezüglich der Qualifikation und Zusatzbezeichnung zeigte sich ebenfalls ein statistisch signifikanter Unterschied in Score 2. Wie in Tabelle 14 dargestellt lagen die erreichten Punkte der Fachärzte um 0,24 höher als bei Ärzten in Weiterbildung ($p = 0,013$). Mit Hinblick auf die Zusatzbezeichnung erzielten Ärzte mit Zusatzbezeichnung durchschnittlich 0,20 Punkte höher ($p = 0,04$). Es ergaben sich kleinen Effektstärken nach Cohens' d ($d = 0,24$, $d = 0,3$).

Tabelle 14: Subgruppenanalyse bezüglich Score 2

Merkmal	N	Mittelwert (±SD)	Mittlere Differenz	95% CI der mittleren Differenz	Sig.	Effektstärke
Qualifikation	.	.	-0,24	[-0,42, -0,05]	p=0,01	d = 0,2
Fachärzte	130	1,40 (±0,78)	.	.	.	.
Ärzte in Weiterbildung	148	1,16 (±0,79)	.	.	.	.
Zusatzbezeichnung	.	.	-0,20	[-0,40, -0,00]	p=0,04	d = 0,3
Spezielle Intensivmedizin	90	1,41 (±0,76)	.	.	.	.
Keine Zusatzbezeichnung	188	1,21 (±0,80)	.	.	.	.

Anmerkungen: Score 2 (0-3 Punkte). Sig. = Signifikanz. N = Häufigkeit. SD = Standardabweichung. CI=Konfidenzintervall. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). Sig. = Signifikanz. d = Cohen's d (Effektstärke).

Im Gegensatz zu Score 1 und Score 2 konnten für Score 3 weder bezüglich der Qualifikation noch der Zusatzbezeichnung statistisch signifikante Unterschiede nachgewiesen werden ($p = 0,52$, $p=0,52$), wie Tabelle 15 verdeutlicht.

Tabelle 15: Subgruppenanalyse bezüglich Score 3

Merkmal	N	Mittelwert ($\pm$SD)	Mittlere Differenz	95% CI der mittleren Differenz	Sig.	Effektstärke
Qualifikation	.	.	-0,07	[-0,29, 0,15]	$p=0,52$ (n.s.)	.
Fachärzte	130	1,19 ($\pm 0,97$)	.	.	.	.
Ärzte in Weiterbildung	148	1,27 ($\pm 0,80$)	.	.	.	.
Zusatzbezeichnung	.	.	-0,08	[-0,31, 0,16]	$p=0,52$ (n.s.)	.
Spezielle Intensivmedizin	90	1,18 ($\pm 0,99$)	.	.	.	.
Keine Zusatzbezeichnung	188	1,25 ($\pm 0,83$)	.	.	.	.

Anmerkungen: Score 3 (0-3 Punkte), Sig. = Signifikanz. N = Häufigkeit. SD = Standardabweichung. CI = Konfidenzintervall. n.s. = nicht signifikant ($p \geq 0,05$). Sig. = Signifikanz. d = Cohen's d (Effektstärke).

5 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse diskutiert, mit der Literatur in Bezug gesetzt und die Limitationen der vorliegenden Studie erläutert.

5.1 Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegende Studie erweitert die Forschung zum hämodynamischen Management. Ziel der Studie war die erstmalige systematische Erfassung und Bewertung der Umsetzung des PLR durch deutsche Intensivmediziner. Dabei wurden nicht nur theoretische Kenntnisse erfasst, sondern auch die praktische Umsetzung definierter Qualitätskriterien systematisch bewertet.

Die Diskussion orientiert sich an den drei ursprünglich aufgestellten Hypothesen. Hypothese H1 lautete, dass sich Herzchirurgen (H1a) und Anästhesisten (H1b) in ihrer PLR-Kompetenz signifikant von anderen Fachgruppen unterschieden. In Hypothese H2 ging man davon aus, dass das spezifische Antwortverhalten bei PLR-spezifischen Fragen fachabhängig variierte.

Hypothese H3 formulierte die Annahme, dass innerhalb verschiedener Subgruppen signifikante Unterschiede in der korrekten PLR-Durchführung bestanden.

Die aktuelle Forschung zum hämodynamischen Management legt nahe, dass eine standardisierte Durchführung des PLR erforderlich ist, um valide Ergebnisse zu erreichen und Patientensicherheit zu garantieren (1, 55). Die deskriptive Statistik der vorliegenden Studie zeigt jedoch einige Defizite bei den Teilnehmern dazu auf. Kein Teilnehmer erreichte die maximale Punktzahl Score 1, welche alle abgefragten Variablen repräsentierte. Bei Score 2 (Korrekte Durchführung, Effektgröße, Effektstärke) erreichten nur 19/278 Teilnehmende (7%) volle 3 Punkte und bei Score 3 (Limitationen) nur 24/278 Teilnehmende (9%) die maximale Punktzahl von 3 Punkten. Generell lag der Durchschnitt der Ergebnisse aller Scores nicht einmal bei 50%, wobei die Teilnehmenden in Score 1 durchschnittlich 2,5 von 6 Punkten, in Score 2 1,3 von 3 Punkten und in Score 3 1,2 von 3 Punkten erzielten.

Diese Ergebnisse weisen auf Verbesserungspotential in der Aus- und Weiterbildung hin, welches über das individuelle Wissensdefizit einzelner Mediziner hinausgeht. Es bestanden insbesondere Schwierigkeiten in der korrekten praktischen Durchführung, sowie in der Kenntnis der Limitationen und Kontraindikationen des Tests. Diese Ergebnisse unterstreichen die in der Literatur beschriebene „relative Einfachheit“ des PLR als Test zur Vorhersage der Volumenreagibilität (1). Unzureichende Kenntnisse können hierbei die Aussagekraft des Tests beeinträchtigen.

Bezüglich des in Hypothese H1a zu erwartenden Unterschiedes zeigte sich, dass Herzchirurgen bei der Beantwortung der Fragen in Score 1 und 2 signifikant einen halben Punkt schlechter abschnitten als anderen Fachrichtungen. Hypothese H1b konnte ebenfalls teilweise bestätigt werden. Die Teilnehmenden aus der Anästhesie erzielten durchschnittlich in Score 2 um etwa einen halben Punkt bessere Ergebnisse als die übrigen Fachrichtungen. Das bessere Abschneiden lässt sich möglicherweise durch strukturelle Unterschiede in der Weiterbildung erklären. Während Anästhesisten routinemäßig mit vor allem intraoperativen hämodynamischem Monitoring konfrontiert werden, liegt der Fokus der herzchirurgischen Weiterbildung weniger stark darauf. Es zeigten sich nicht in allen Scores Signifikanzen, weshalb Hypothese H1 nicht komplett angenommen werden kann.

Die Analyse des Antwortverhaltens bestätigte die Hypothese H2 in einigen Aspekten. Es konnte festgestellt werden, dass das Wissen zur korrekten Durchführung des PLR und Auswahl der Zielgröße und Effektstärke unter den befragten Intensivmediziner heterogen verteilt war.

Nur 71/278 (26%) der Teilnehmenden führten den PLR aus einer korrekten Lagerung durch und nur 68/278 (25 %) verwendeten eine kontinuierliche Überwachung des Herzzeitvolumens.

Im Kontrast dazu erkannten dagegen 215/278 (77,3%) die korrekte Effektstärke von $\geq 10\%$. Dieser Gegensatz verdeutlicht, dass die theoretischen Grundlagen des PLR zwar weitgehend bekannt waren, in der klinischen Praxis jedoch nicht konsequent umgesetzt werden. Die Ursache könnte darin liegen, dass kontinuierliche Messverfahren sowohl kostenintensiv als auch technisch aufwendig sind (24). Praktikablere Methoden könnten die Anwendung des PLR erleichtern.

Bei der Wahl der korrekten Lagerung und der Zielgröße zeigte sich eine statistisch signifikante Abhängigkeit zur Fachrichtung. Teilnehmende aus der Herzchirurgie gaben im Vergleich zu anderen Fachdisziplinen signifikant häufiger weniger genaue Zielgrößen zur Beurteilung des PLR an. Im Gegensatz dazu schnitten die Anästhesiologie signifikant besser ab und wählten überdurchschnittlich oft die korrekte Lagerung und Zielgröße. Diese Unterschiede deuten auf fachspezifische Varianzen im Wissen und in der praktischen Anwendung des PLR hin.

Ein bemerkenswertes Ergebnis war, dass nur 23/278 (8 %) der Befragten angaben, die Messung des Schlagvolumens mittels VTI als Vorhersage zur Volumenreagibilität durchzuführen. Insbesondere herrschte unter den Fachärzten (23/23, 100 %) eine hohe Vertrautheit mit der Echokardiographie, während sich unter den Ärzten in Weiterbildung keiner (0/23, 0 %) diese Technik zutraute.

Dieses Ergebnis wird auch dadurch unterstrichen, dass die Mehrheit der Teilnehmende mit 35 % (97/283) den Anstieg des systolischen Blutdrucks als adäquates Maß ansah und damit auf eine altbekannte, wenn auch ungeeignete Messmethode zurückgriff. Der systolische Blutdruck stellt jedoch bestenfalls nur ein schwaches Maß des HZV dar (1). Im Hinblick auf eine Optimierung der Ausbildung und unter Berücksichtigung des Ansatzes, Techniken wie das VTI zu etablieren, ist eine kritische Betrachtung der bereits diskutierten Einschränkungen erforderlich. Dazu zählen die erforderliche Präzision, Diskontinuität und Erfahrungsabhängigkeit der Echokardiographie (25, 26), die in der klinischen Praxis oft nicht kompensierbar sind. Dies erklärt möglicherweise, warum sich die Mehrheit der Ärzte in Weiterbildung nicht an diese fortgeschrittenen Techniken herantraut und stattdessen auf vermeintlich einfachere, aber weniger genaue Zielgrößen zurückgreift.

Die korrekten Kontraindikationen, wie Schädelhirntrauma (139/278, 50 %) und Limitationen, wie ein erhöhter intraabdomineller Druck (147/278, 53 %) und das Tragen von Kompressionsstrümpfen (52/278, 19 %), wurden in der Umfrage nur teilweise von den Teilnehmenden als solche erkannt. Der erhöhte intraabdominelle Druck wurde dabei am häufigsten identifiziert, was nachvollziehbar ist, da diese Situation bei Intensivpatienten regelmäßig auftritt. Anderen Situationen, in denen der PLR angewendet werden kann, wurden fälschlicherweise als Limitationen angenommen. Dies betrifft insbesondere den nicht erhaltenen Sinusrhythmus, sowie die Spontanatmung, obwohl der PLR bei beiden

Bedingungen grundsätzlich durchführbar ist (56). Diese Verwirrung lässt darauf hinschließen, dass die Einschränkungen des PLR nicht allen Teilnehmenden eindeutig klar waren.

In Bezug zum Fachbereich konnten signifikante Unterschiede zur Anästhesiologie festgestellt werden. Es lässt sich feststellen, dass Anästhesisten Situationen wie erhöhter abdomineller Druck im Kontext des PLR signifikant häufiger korrekt einschätzten als ihre Kollegen aus anderen Fachbereichen. Trotzdem bestanden auch in der Gruppe der Anästhesisten Uneinigkeiten bezüglich der genauen Auswahl der Limitationen. Das Tragen von Kompressionstrümpfen wurde von Anästhesisten signifikant weniger häufig als Einschränkung gesehen. Kompressionstrümpfe werden zum Vorbeugen von Thromboembolien im Klinikalltag häufig verwendet und können die Effektivität des PLR einschränken (57). Möglicherweise wurde diese Einschränkung in der Befragung als weniger klinisch relevant eingeschätzt, auch wenn sie methodisch durchaus bedeutsam ist.

Die Auswertung bezüglich des Einflusses von Berufserfahrung, Qualifikation, Spezialisierung, Fachrichtung, Patientenkollektiv, Versorgungsebenen und Bettenkapazität bestätigte Hypothese H3 teilweise. Innerhalb verschiedener Subgruppen zeigten sich einige signifikante Unterschiede.

Die Teilnehmenden mit niedriger Position innerhalb der Hierarchie schnitten bei Score 2 signifikant schlechter ab als diejenigen mit einer höheren Position. Mit zunehmender Berufserfahrung konnte ein Leistungszuwachs hinsichtlich der PLR- Durchführung und Interpretation beobachtet werden. In weiterführenden Analysen konnte diese Aussage durch einen halben Punkt Unterschied zwischen der Gruppe der Assistenzärzte (153/278, 55%) und der Gruppe der Funktionsoberärzte (47/278, 17%) bestätigt werden.

Teilnehmende mit höherer Qualifikation und Zusatzbezeichnung schnitten in der allgemeinen Performance der Umfrage und der konkreten Durchführung besser ab. Insgesamt gab es nur einen niedrigen Anteil an Teilnehmenden mit Zusatzbezeichnung Intensivmedizin (32 %, 90/278) und mit Facharztstatus (47 %, 130/278). Dies legt die Vermutung nahe, dass in der Weiterbildung ein Defizit bezüglich des PLR bestand, aber höhere Qualifikation und Spezialisierung mit mehr Wissen und besserer Performance einhergingen.

Überraschend waren die Ergebnisse von Score 1 und 3 bezüglich der verschiedenen Versorgungsstufen der Krankenhäuser. Krankenhäuser der Grund- und Regelversorgung schnitten bei der allgemeinen PLR-Kenntnis (Score 1) und den spezifischen Limitationen (Score 3) um mehr als einen halben Punkt besser ab als größere Kliniken.

Dies wird durch die Analyse der Bettenkapazität der Einsatzorte weiter unterstützt, in dem ein signifikanter Unterschied bezüglich Score 1 und 3 festgestellt werden konnte. Insbesondere kleine Intensivstationen wiesen in der Umfrage eine bessere Performance um etwa einen

Punkt auf als Intensivstationen mit einer höheren Bettenkapazität. Bei dieser Analyse ist festzustellen, dass sich der einzige festgestellte große Effekt in der Studie zeigte. Ansonsten ergaben sich generell nur mittel bis kleine Effekte. Dies kann bedeuten, dass organisatorische Faktoren wie Teamgröße, Kommunikationswege oder Arbeitsabläufe in kleineren Einheiten zu einer besseren Performance führen.

Dieses Ergebnis erfordert eine vorsichtige Interpretation, da es nicht a priori als Hypothese aufgestellt wurde und somit einen post-hoc entdeckten Effekt darstellt. Dennoch ist diese Beobachtung von klinischer Relevanz, da sie der Erwartung widerspricht, dass Universitätskliniken als Lehrkrankenhäuser mit verstärktem Leitlinienfokus und kontinuierlicher Weiterbildung bessere Ergebnisse erzielen sollten.

Es lassen sich verschiedene Erklärungsansätze aus strukturellen Faktoren ableiten. In kleineren Kliniken könnten flachere Hierarchien, direktere Kommunikationswege und engere Zusammenarbeit zu einer effektiveren Wissensvermittlung führen. Die Arbeitsbelastung und Komplexität der Patientenversorgung in größeren Kliniken könnten weniger Zeit für die Vertiefung spezifischer diagnostischer Techniken zulassen. Das Verhältnis zwischen Fachärzten und Ärzten in Weiterbildung in den unterschiedlichen Krankenhäusern könnte ebenfalls einen Einflussfaktor darstellen, welcher sich auf die praktische Umsetzung und Supervision auswirken kann.

Diese Erkenntnisse werfen Fragen zur Anwendung evidenzbasierter Verfahren auf. Es besteht die Möglichkeit, dass die reine Verfügbarkeit von Leitlinien und Fortbildungen nicht ausreicht, wenn organisatorische Strukturen die praktische Umsetzung behindern. Für zukünftige Studien wäre es interessant zu prüfen, ob sich ähnliche Muster auch bei anderen leitlinienbasierten Verfahren zeigen und welche Mechanismen zu einer besseren Implementierung in der klinischen Praxis führen.

5.2 Limitationen

Die vorgelegte Umfragestudie weist einige Einschränkungen auf, die berücksichtigt werden müssen. Zunächst wurden 14 Personen von der Auswertung ausgeschlossen, da sie den Fragebogen unvollständig ausgefüllt hatten. Diese unvollständigen Antworten konnten in die Berechnungen nicht einbezogen werden, was zu einem möglichen Verlust an Datenvielfalt führte.

Eine weitere Limitation betrifft den Fragebogen selbst. Es war schwierig, das tatsächliche Wissen der Teilnehmenden von deren praktischer Anwendung zu unterscheiden. Ob die Teilnehmenden die Fragen nicht besser beantworten konnten oder ob ihr Antwortverhalten die

praktische Umsetzung im Alltag widerspiegelte, konnte durch die Gestaltung des Fragebogens nicht eindeutig geklärt werden. Zudem wurde im Fragebogen nicht nach der Häufigkeit der Anwendung des PLR gefragt, was Rückschlüsse auf die alltägliche Umsetzung und Vorerfahrung verhinderte.

Obwohl die Auswahl der Krankenhäuser zufällig erfolgte, gab es keine genaue Kontrolle darüber, wer an der Umfrage teilnahm. Wir können nicht mit Sicherheit ausschließen, dass einige Teilnehmer einer Intensivstation mehr als einmal an der Umfrage teilgenommen haben oder mehrere Ärzte einer Intensivstation geantwortet haben. Hinzu kommt, dass neben der Auswahl der Krankenhäuser und Intensivstationen eine Stichprobenverzerrung gegenüber den Fachrichtungen bestehen könnte. Im Vergleich gab es eine überrepräsentierte Anzahl von Teilnehmenden aus den Fachrichtungen Anästhesiologie und Herzchirurgie.

Obwohl alle Voraussetzungen für die statistischen Tests gegeben waren und signifikante Unterschiede zwischen Funktionen, Fachrichtungen, Bettenkapazität, Patientenkollektiven und Versorgungsstufen festgestellt wurden, waren die damit verbundenen Effekte meist klein bis mittel. Unklar ist, wie repräsentativ diese Unterschiede für den Vergleich zwischen den Subgruppen wirklich sind.

Die freiwillige Teilnahme der Umfrage kann ebenfalls ein Grund dafür sein, dass das Ergebnis nur eingeschränkt repräsentativ sein könnte. Interessierte Teilnehmende schnitten möglicherweise automatisch besser ab, während weniger Interessierte den Fragebogen eher nicht ausfüllen würden. Intensivstationen mit einer besonders hohen Arbeitsbelastung nahmen vermutlich gar nicht an der Umfrage teil.

6 Zusammenfassung

In einer deutschlandweiten Umfrage mit 292 Teilnehmern wurde die praktische Anwendung des Passive-Leg-Raise-Tests (PLR) in der Intensivmedizin untersucht. Die Antworten von 278 Ärzten wurden in die finale Auswertung eingeschlossen. Keiner der Teilnehmer erreichte die maximale Punktzahl von sechs Punkten. Die durchschnittlichen Scores lagen in allen drei Bewertungskategorien unter 50%.

Nur 26% der Befragten führten den PLR aus korrekter Lagerung durch und lediglich 25% verwendeten eine kontinuierliche Herzzeitvolumen-Überwachung, während 77% die korrekte Effektstärke von $\geq 10\%$ Anstieg des HZV für die Volumenreagibilität kannten. Diese Ergebnisse zeigen eine erhebliche Diskrepanz zwischen theoretischem Wissen und praktischer Umsetzung. Einige Wissenslücken zeigten sich bezüglich Kontraindikationen und Limitationen des PLR-Tests. Nur 50% der Teilnehmer erkannten das Schädelhirntrauma als Kontraindikation, lediglich 53% identifizierten erhöhten intraabdominellen Druck und nur 19% das Tragen von Kompressionsstrümpfen als relevante Limitationen.

Ein unerwarteter Befund war, dass Krankenhäuser der Grund- und Regelversorgung sowie kleine Intensivstationen signifikant bessere Ergebnisse erzielten als Universitätskliniken und größere Intensivstationen. Dieser explorative Befund deutet darauf hin, dass Faktoren wie Qualifikation, Teamgröße, Kommunikationswege und Arbeitsabläufe eine entscheidende Rolle spielen könnten.

Die Analyse ergab einen signifikanten Unterschied bei zunehmender klinischer Erfahrung, Qualifikationsniveau und Spezialisierung. Zudem wurden signifikante Abhängigkeiten von der Fachbereichszugehörigkeit Anästhesiologie und Herzchirurgie festgestellt.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass für die erfolgreiche Anwendung evidenzbasierter Diagnostik nicht nur die Verfügbarkeit von Leitlinien, sondern auch organisatorische Strukturen der Wissensvermittlung von entscheidender Bedeutung sind. Diese Erkenntnisse liefern relevante Hypothesen für zukünftige Studien und betonen die Bedeutung der Implementationsforschung in der Intensivmedizin.

7 Literaturverzeichnis

1. Monnet X, Teboul J-L. Passive leg raising: five rules, not a drop of fluid! Crit Care. 2015;19(1):18.
2. Monnet X, Shi R, Teboul JL. Prediction of fluid responsiveness. What's new? Ann Intensive Care. 2022;12(1):46.
3. DGAI. S3-Leitlinie Intravasale Volumentherapie bei Erwachsenen. Düsseldorf. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). 2020; Zugriffsdaten: 03.11.2025 2.0. AWMF-Registernr.001-020. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/001-020.html>.
4. Monnet X, Teboul JL. Prediction of fluid responsiveness in spontaneously breathing patients. Ann Transl Med. 2020;8(12):790.
5. Gödecke A, Schrader J, Kelm M. Das Herz. In: Pape H-C, Kurtz A, Silbernagl S, Hrsg. Physiologie des Menschen. 9. Aufl.: Georg Thieme Verlag KG; 2019. S. 165-219.
6. Delcroix M, Vonk Noordegraaf A, Fadel E, Lang I, Simonneau G, Naeije R. Vascular and right ventricular remodelling in chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Eur Respir J. 2013;41(1):224-32.
7. Michard F, Teboul JL. Predicting fluid responsiveness in ICU patients: a critical analysis of the evidence. Chest. 2002;121(6):2000-8.
8. Jozwiak M, Monnet X, Teboul J-L. Prediction of fluid responsiveness in ventilated patients. Ann Transl Med. 2018;6(18):352.
9. Huber W, Rockmann F. Invasive and non-invasive haemodynamic monitoring. Intensivmed Notfallmed. 2008;45(6):337-59.
10. Suttner S. Häodynamisches Monitoring. DoctorConsult - The Journal Wissen für Klinik und Praxis. 2011;2(4):221-7.
11. Weyland A, Grune F. [Cardiac preload and central venous pressure]. Anaesthesist. 2009;58(5):506-12.
12. De Backer D, Vincent J-L. Should we measure the central venous pressure to guide fluid management? Ten answers to 10 questions. Crit Care. 2018;22(1):43.
13. Cecconi M, Hofer C, Teboul JL, Pettila V, Wilkman E, Molnar Z et al. Fluid challenges in intensive care: the FENICE study: A global inception cohort study. Intensive Care Med. 2015;41(9):1529-37.
14. Cannesson M, Pestel G, Ricks C, Hoeft A, Perel A. Hemodynamic monitoring and management in patients undergoing high risk surgery: a survey among North American and European anesthesiologists. Crit Care. 2011;15(4):R197.
15. Monnet X, Marik PE, Teboul J-L. Prediction of fluid responsiveness: an update. Annals of Intensive Care. 2016;6(1).

16. Monnet X, Teboul JL. Assessment of fluid responsiveness: recent advances. *Curr Opin Crit Care*. 2018;24(3):190-5.
17. Michard F, Chemla D, Teboul JL. Applicability of pulse pressure variation: how many shades of grey? *Crit Care*. 2015;19(1):144.
18. Min JJ, Gil NS, Lee JH, Ryu DK, Kim CS, Lee SM. Predictor of fluid responsiveness in the 'grey zone': augmented pulse pressure variation through a temporary increase in tidal volume. *Br J Anaesth*. 2017;119(1):50-6.
19. Teboul JL, Monnet X. Pulse pressure variation and ARDS. *Minerva Anesthesiol*. 2013;79(4):398-407.
20. Janssens U, Jung C, Hennersdorf M, Ferrari M, Fuhrmann J, Buerke M et al. Empfehlungen zum hämodynamischen Monitoring in der internistischen Intensivmedizin. *Kardiologe*. 2016;10:149.
21. Heringlake M, Paarmann H, Heinze H, Groesdonk HV, Brandt S. Hämodynamisches und respiratorisches Monitoring. *Die Intensivmedizin*. 2020:1-43.
22. Nair R, Lamaa N. Pulmonary Capillary Wedge Pressure. Treasure Island (FL). StatPearls Publishing LLC. 2025; Zugriffsdaten: 03.11.2025. 32491680. Verfügbar unter: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557748/>.
23. Dünser MW, Noitz M, Heringlake M, Meier J. Pulmonalarterienkatheter: Eine Re-Evaluation anhand aktueller wissenschaftlicher Evidenz. *Anästhesie Nachrichten*. 2024;6(1):33-7.
24. DGTHG, DGAI. S3-Leitlinie zur intensivmedizinischen Versorgung herzchirurgischer Patienten: Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf. Gießen. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). 2017; Zugriffsdaten: 03.11.2025 3.1. AWMF-Registernr. 001/016 Verfügbar unter: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/001-016>.
25. Jozwiak M, Mercado P, Teboul JL, Benmalek A, Gimenez J, Dépret F et al. What is the lowest change in cardiac output that transthoracic echocardiography can detect? *Crit Care*. 2019;23(1):116.
26. Hagendorff A, Fehske W, Flachskampf FA, Helfen A, Kreidel F, Kruck S et al. Manual zur Indikation und Durchführung der Echokardiographie – Update 2020 der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie. *Der Kardiologe*. 2020;14(5):396-431.
27. Hagendorff A, Stöbe S. Kapitel 2 - Physikalische Grundlagen. In: Hagendorff A, Stöbe S, Hrsg. *Basiswissen Echokardiografie* (Zweite Ausgabe). München: Urban & Fischer; 2021. S. 5-96.
28. Parker CW, Kolimas AM, Kotini-Shah P. Velocity-Time Integral: A Bedside Echocardiography Technique Finding a Place in the Emergency Department. *J Emerg Med*. 2022;63(3):382-8.

29. Monnet X, Osman D, Ridet C, Lamia B, Richard C, Teboul JL. Predicting volume responsiveness by using the end-expiratory occlusion in mechanically ventilated intensive care unit patients. *Crit Care Med.* 2009;37(3):951-6.
30. Myatra SN, Prabu NR, Divatia JV, Monnet X, Kulkarni AP, Teboul JL. The Changes in Pulse Pressure Variation or Stroke Volume Variation After a "Tidal Volume Challenge" Reliably Predict Fluid Responsiveness During Low Tidal Volume Ventilation. *Crit Care Med.* 2017;45(3):415-21.
31. Alvarado Sánchez JI, Caicedo Ruiz JD, Diaztagle Fernández JJ, Amaya Zuñiga WF, Ospina-Tascón GA, Cruz Martínez LE. Predictors of fluid responsiveness in critically ill patients mechanically ventilated at low tidal volumes: systematic review and meta-analysis. *Ann Intensive Care.* 2021;11(1):28.
32. Gavelli F, Teboul JL, Monnet X. The end-expiratory occlusion test: please, let me hold your breath! *Crit Care.* 2019;23(1):274.
33. Gavelli F, Shi R, Teboul JL, Azzolina D, Monnet X. The end-expiratory occlusion test for detecting preload responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intensive Care.* 2020;10(1):65.
34. Toscani L, Aya HD, Antonakaki D, Bastoni D, Watson X, Arulkumaran N et al. What is the impact of the fluid challenge technique on diagnosis of fluid responsiveness? A systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2017;21(1):207.
35. Teboul JL, Monnet X. Detecting volume responsiveness and unresponsiveness in intensive care unit patients: two different problems, only one solution. *Crit Care.* 2009;13(4):175.
36. Lee CT, Lee TS, Chiu CT, Teng HC, Cheng HL, Wu CY. Mini-fluid challenge test predicts stroke volume and arterial pressure fluid responsiveness during spine surgery in prone position: A STARD-compliant diagnostic accuracy study. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(6):19031.
37. Geerts BF, van den Bergh L, Stijnen T, Aarts LPHJ, Jansen JRC. Comprehensive review: is it better to use the Trendelenburg position or passive leg raising for the initial treatment of hypovolemia? *Journal of Clinical Anesthesia.* 2012;24(8):668-74.
38. Jabot J, Teboul JL, Richard C, Monnet X. Passive leg raising for predicting fluid responsiveness: importance of the postural change. *Intensive Care Med.* 2009;35(1):85-90.
39. Monnet X, Teboul J-L. Passive leg raising. *Intensive Care Medicine.* 2008;34(4):659-63.
40. Monnet X, Bataille A, Magalhaes E, Barrois J, Le Corre M, Gosset C et al. End-tidal carbon dioxide is better than arterial pressure for predicting volume responsiveness by the passive leg raising test. *Intensive Care Med.* 2013;39(1):93-100.

41. Monnet X, Marik P, Teboul JL. Passive leg raising for predicting fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2016;42(12):1935-47.
42. El Hadouti Y, Valencia L, Becerra A, Rodríguez-Pérez A, Vincent JL. Echocardiography and passive leg raising in the postoperative period: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol.* 2017;34(11):748-54.
43. Mahjoub Y, Touzeau J, Airapetian N, Lorne E, Hijazi M, Zogheib E et al. The passive leg-raising maneuver cannot accurately predict fluid responsiveness in patients with intra-abdominal hypertension. *Crit Care Med.* 2010;38(9):1824-9.
44. Yang X, Du B. Does pulse pressure variation predict fluid responsiveness in critically ill patients? A systematic review and meta-analysis. *Critical care (London, England).* 2014;18:650.
45. Cannesson M, Musard H, Desebbe O, Boucau C, Simon R, Hénaine R et al. The ability of stroke volume variations obtained with Vigileo/FloTrac system to monitor fluid responsiveness in mechanically ventilated patients. *Anesth Analg.* 2009;108(2):513-7.
46. Biais M, Bernard O, Ha JC, Degryse C, Sztark F. Abilities of pulse pressure variations and stroke volume variations to predict fluid responsiveness in prone position during scoliosis surgery. *British Journal of Anaesthesia.* 2010;104(4):407-13.
47. Xu LY, Tu GW, Cang J, Hou JY, Yu Y, Luo Z et al. End-expiratory occlusion test predicts fluid responsiveness in cardiac surgical patients in the operating theatre. *Ann Transl Med.* 2019;7(14):315.
48. Biais M, de Courson H, Lanchon R, Pereira B, Bardonneau G, Griton M et al. Mini-fluid Challenge of 100 ml of Crystalloid Predicts Fluid Responsiveness in the Operating Room. *Anesthesiology.* 2017;127(3):450-6.
49. Vincent JL. "Let's give some fluid and see what happens" versus the "mini-fluid challenge". *Anesthesiology.* 2011;115(3):455-6.
50. Jun JH, Chung RK, Baik HJ, Chung MH, Hyeon JS, Lee YG et al. The tidal volume challenge improves the reliability of dynamic preload indices during robot-assisted laparoscopic surgery in the Trendelenburg position with lung-protective ventilation. *BMC Anesthesiol.* 2019;19(1):142.
51. Pinsky MR. Functional hemodynamic monitoring. *Crit Care Clin.* 2015;31(1):89-111.
52. Mayo PH. Training in critical care echocardiography. *Ann Intensive Care.* 2011;1:36.
53. Destatis. Systematisches Verzeichnis der Krankenhäuser und Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen. Wiesbaden. Statistische Ämter des Bundes und der Länder. 2017; Zugriffsdaten: 03.11.2025. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhauser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/krankenhausverzeichnis-3500100227005.html>.

54. Ltd. RaIS. random.org. 1998-2025; Zugriffsdaten: 03.11.2025. Verfügbar unter: <https://www.random.org/>.
55. Cavallaro F, Sandroni C, Marano C, La Torre G, Mannocci A, De Waure C et al. Diagnostic accuracy of passive leg raising for prediction of fluid responsiveness in adults: systematic review and meta-analysis of clinical studies. *Intensive Care Medicine*. 2010;36(9):1475-83.
56. Monnet X, Rienzo M, Osman D, Anguel N, Richard C, Pinsky MR et al. Passive leg raising predicts fluid responsiveness in the critically ill. *Crit Care Med*. 2006;34(5):1402-7.
57. Chacko CJ, Wise MP, Frost PJ. Passive leg raising and compression stockings: a note of caution. *Crit Care*. 2015;19(1):237.

8 Anhang

Anhang 1: Willkommenstext und Datenschutzerklärung



Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

Vielen Dank, dass Sie sich für die Teilnahme an dieser Umfrage interessieren.

Wir wollen erheben, wie die Qualitätskriterien des Passive Leg Raise-Tests (PLR) durch deutsche Intensivmediziner und Intensivmedizinerinnen umgesetzt werden und wie die Ergebnisse des Tests interpretiert werden.

Der Zeitaufwand der anonymen Umfrage beträgt weniger als 5 Minuten.

Wenn Sie mit der Datenschutzerklärung einverstanden sind, bestätigen Sie diese mit dem Häkchen und klicken Sie unten auf weiter.

Bei Rückfragen wenden Sie sich bitte an die Studienleitung oder per Mail.

Mit freundlichen Grüßen

T.-A. van Gemmern (Doktorandin)

PD Dr. med. habil. M. Kriege

Universitätsmedizin Mainz

Klinik für Anästhesiologie

Langenbeckstr. 1

55131 Mainz

Datenschutzerklärung

Ich erkläre mich freiwillig bereit, an der oben genannten wissenschaftlichen Studie teilzunehmen und, dass Daten für den Zweck der oben genannten Studie erhoben werde.

Ihre Teilnahme ist freiwillig und Sie können die Teilnahme jederzeit und ohne Angabe von Gründen abbrechen. An der Verlosung können Sie allerdings nur dann teilnehmen, wenn Sie die Studie bis zum Ende durchführen, da erst am Ende der Studie Ihre E-Mail-Adresse erfragt und getrennt von den erhobenen Daten abgespeichert werden kann. Ansonsten werden in der gesamten Studie keine Daten erhoben, von denen Rückschlüsse auf Ihre Identität gemacht werden könnten. Ihre Daten werden vertraulich behandelt und lediglich die Projektleitenden haben Zugriff auf personenbezogene Informationen. Die Studie dient ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken. Es besteht jederzeit die Möglichkeit die Einwilligung an der Studie zurückzuziehen (mündlich oder schriftlich). Weiterhin haben Sie das Recht der Verarbeitung der Daten zu widersprechen.

Der Zugriff zu den und die Auswertung der erhobenen Daten erfolgt ausschließlich durch die Studienleitung und die an der Studie unmittelbar beteiligten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen.

Die Weitergabe an Dritte, einschließlich der Publikation erfolgt ausschließlich in anonymisierter Form, d.h. kann nicht Ihrer Person zugeordnet werde. Die anonymisierten Daten werden mindestens 10 Jahre gespeichert.

Sie sind durch das Studienteam ausreichend und verständlich über Wesen, Bedeutung, Risiken und Tragweite der Studie aufgeklärt worden. Außerdem gibt es die Möglichkeit ein Exemplar der Einwilligungserklärung zu erhalten.

Bei Rückfragen wenden Sie sich bitte an die Studienleitung oder per Mail.

Anhang 2: Fragenkatalog

Fragen	Punkte
1. Sie möchten die Volumenreagibilität ihres Patienten/ ihrer Patientin mittels Passive Leg Raise-Test (PLR) testen. Wie gehen Sie vor?	0
a) Anheben beider Beine über 45°	0
b) Anheben eines Beines über 45°	0
c) Zuerst Flachlagern des Patienten/ der Patientin, anschließend Kopftief-Lagerung (Trendelenburg)	0
d) Anheben des Oberkörpers auf 45° mit anschließendem Kippen des Bettes, so dass der Körperstamm flach gelagert ist und die Beine angehoben sind	1

e) Keiner der genannten Punkte	0
2. Anhand welcher Zielgröße beurteilen Sie den Effekt des PLR?	
a) Anstieg des systolischen Blutdrucks	0
b) Anstieg des mittleren arteriellen Blutdrucks (MAP)	0
c) Anstieg des Pulsdrucks (Systolischer – diastolischer Blutdruck)	0
d) Anstieg des Cardiac Output mittels kontinuierlicher Herz-Zeit-Volumen (HZV) -Messung (z.B. PICCO)	1
e) Anstieg des Cardiac Outputs mittels diskontinuierlicher HZV- Messung (z.B. LVOT VTI mittels Echokardiographie)	0
f) Anstieg des Cardiac Outputs mittels diskontinuierlicher HZV- Messung (z.B. mittels PAK)	0
g) Keiner der genannten Punkte	0
3. Ab welcher Effektstärke der von Ihnen bewerteten Zielgröße erwarten Sie eine Volumenreagibilität des Patienten?	
a) 8% Anstieg	0
b) 9% Anstieg	0
c) 10% Anstieg	1
d) 11% Anstieg	0
e) 12% Anstieg	0
f) 13% Anstieg	0
g) 14% Anstieg	0
h) 15% Anstieg	0
i) Keiner der genannten Punkte	0
4. In welchen klinischen Situationen ist der PLR nicht sinnvoll durchzuführen? (Mehrfachnennung möglich)	
a) Erhöhter intraabdomineller Druck	1
b) Tragen von Kompressionsstrümpfen	1
c) Beatmete Patienten/Patientinnen	0
d) Nicht erhaltener Sinusrhythmus	0
e) Schädel-Hirn-Trauma	1
f) Spontanatmung	0
g) Zu geringe Tidalvolumina bei beatmeten Patienten/Patientinnen (<8ml/kgKg)	0

h) Geringe Lungencompliance	0
Insgesamt:	= 6 Punkte
5. Sie sind:	
a) Arzt/Ärztin in Weiterbildung	
b) Facharzt/Fachärztin	
6. Ihre Funktion ist:	
a) Assistenzarzt/Assistenzärztin	
b) Funktionsoberarzt/Funktionsoberärztin/ Stellv. Oberarzt/ Stellv. Oberärztin	
c) Oberarzt/Oberärztin	
d) Leitender Oberarzt/ Leitende Oberärztin	
e) Chefarzt/Chefärztin	
7. Ihre Fachrichtung ist (Treffen mehrere zu, wählen Sie bitte ihren aktuellen Tätigkeitsschwerpunkt):	
a) Innere Medizin	
b) Allgemein-, Viszeral-, Transplantationschirurgie	
c) Orthopädie, Unfallchirurgie	
d) Pädiatrie	
e) Anästhesiologie	
f) Neurologie	
g) Neurochirurgie	
h) Andere Fachrichtung	
8. Sie verfügen über die Zusatzbezeichnung „spezielle Intensivmedizin“?	
a) Ja	
b) Nein	
9. Ihr aktueller Einsatzort (Treffen mehrere zu, wählen Sie ihren aktuellen Tätigkeitsschwerpunkt):	
a) Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 1-10	
b) Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 11-15	
c) Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 16-30	
d) Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 31-45	

e) Intensivstation mit einer Bettenkapazität von 46-60	
f) IMC	
g) Wachstation	
h) Funktionsbereich	
i) Anderer Einsatzort	
10. Sie versorgen hauptsächlich Patienten/Patientinnen der folgenden Fachrichtung:	
a) Interdisziplinär	
b) Postoperative Patienten (gemischtes Kollektiv)	
c) Herzchirurgie	
d) Pädiatrie	
e) Innere Medizin	
f) Neurochirurgie	
g) Neurologie	
h) Allgemein-, Viszeral-, Transplantationschirurgie	
i) Orthopädie, Unfallchirurgie	
j) Anderer Fachrichtung	
11. Sie arbeiten in einer Klinik der Versorgungsstufe: (bitte das am Ehesten zutreffende wählen):	
a) Grund- und Regelversorgung	
b) Maximalversorgung	
c) Universitätsklinikum	

Anhang 3.: Abschlusstext



Sie haben die Umfrage nun erfolgreich abgeschlossen.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!!

Wenn Sie an unserer Verlosung teilnehmen wollen, klicken Sie auf den folgenden Link:

Anhang 4: Liste der ausgewählten Krankenhäuser

1. Friedrich-Ebert-Krankenhaus	Neumünster
2. Klinikum Nordfriesland gGmbH	Klinik Husum
3. Sana Klinik Eutin	
4. imland Klinik Eckernförde	
5. HELIOS Endo-Klinik Hamburg	
6. Ev.-luth. Diakonissenanstalt	Marienstift Braunschweig
7. HELIOS Klinikum Salzgitter GmbH	
8. BDH-Klinik	Hessisch Oldendorf
9. Johanniter-Krankenhaus	Gronau GmbH Gronau (Leine)
10. Elbe Klinikum Buxtehude	
11. Hümmling-Krankenhaus-Sögel	
12. Klinikum Leer gGmbH	Leer (Ostfr.)
13. Krankenhaus	Johanneum Wildeshausen
14. Niels-Stensen-Kliniken	Marienhospital Ankum-Bersenbrück GmbH
15. Krankenhaus St. Joseph-Stift	Bremen gGmbH
16. Ev. Krankenhaus Bethesda	Mönchengladbach
17. Ev. Krankenhaus	Mettmann
18. Rhein-Kreis Neuss Kliniken	-Kreiskrankenhaus Grevenbroich St. Elisabeth-
19. Städt. Kliniken Neuss	-Lukaskrankenhaus
20. St. Vinzenz-Hospital	Dinslaken
21. Krankenhaus Bethanien	Moers
22. St. Josef Krankenhaus	Moers
23. Heilig Geist-Krankenhaus	Köln
24. Sana Dreifaltigkeits-Krankenhaus	Klinik für Orthopädie und Sporttraumatologie Köln

25. St. Antonius Krankenhaus	Köln
26. Klinikum Westmünsterland	Ahaus
27. Klinikum Westmünsterland	Bocholt
28. Ev. Krankenhaus	St. Johannisstift Paderborn
29. Kath. Klinikum Bochum	-Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum-
30. St.-Marien-Hospital	Marsberg
31. Fachkrankenhaus	Schmallenberg
32. St. Franziskus-Hospital	Winterberg
33. Lungenklinik Hemer	Hemer
34. Kath. Kliniken im	Märkischen Kreis Iserlohn
35. Krankenhaus Maria Hilf	Warstein
36. Marienkrankenhaus	Schwerte
37. Evangelisches Krankenhaus	Elisabethenstift gGmbH Darmstadt
38. Bürgerhospital und	Clementine-Kinderhospital Frankfurt
39. Krankenhaus	Sachsenhausen Frankfurt
40. St. Josefs-	Hospital Wiesbaden
41. Kreiskliniken Darmstadt-Dieburg	Kreisklinik Groß-Umstadt
42. Asklepios	Klinik Seligenstadt
43. Eichhof	Medizinisches Zentrum Lauterbach
44. Krankenhaus	Bad Arolsen GmbH
45. Hessenklinik	Stadtkrankenhaus Korbach
46. Verbundkrankenhaus	Bernkastel-Wittlich
47. Marienhaus Klinikum Eifel	Bitburg
48. Kreiskrankenhaus	St. Franziskus Saarburg
49. Asklepios Südpfalzkliniken	Kandel
50. Krankenhaus	Leonberg
51. Hohenloher Krankenhaus	Öhringen
52. Kreiskrankenhaus	Tauberbischofsheim

53. Fürst-Stirum-Klinik	Bruchsal
54. Neckar-Odenwald-Kliniken gGmbH	Kreiskrankenhaus Buchen
55. Klinikum Pforzheim gGmbH	Pforzheim
56. Krankenhaus Freudenstadt und	Hospital z. Hl. Geist Horb Freudenstadt
57. Klinikum	Landkreis Tuttlingen gGmbH
58. Vincentius-Krankenhaus	Konstanz
59. St. Elisabethen-Krankenhaus gGmbH	Lörrach
60. Berufsgenossenschaftliche	Unfallklinik Tübingen
61. Alb-Donau-Klinikum	Ehingen
62. Klinik	Augustinum München
63. Klinikum Harlaching	München
64. Kreiskliniken	Altötting-Burghausen
65. Kreiskliniken	Bad Reichenhall, Berchtesgaden, Freilassing
66. Krankenhaus Schongau	Schongau
67. Kreiskrankenhaus	Vilsbiburg
68. Caritas-Krankenhaus	St. Josef Regensburg
69. Kreisklinik Wörth a. d. Donau	
70. Krankenhaus Martha-Maria	Nürnberg
71. Krankenhaus	Karlstadt/Lohr/Marktheidenfeld Lohr am Main
72. Kreisspitalstiftung Weißenhorn	Stiftungsklinik Weißenhorn
73. Kreiskrankenhaus St. Ingbert	St. Ingbert
74. Evangelische Lungenklinik Berlin	
75. Immanuel-Krankenhaus	Berlin
76. Krankenhaus Waldfriede	Berlin
77. Städtisches Klinikum	Brandenburg GmbH Brandenburg an der Havel

78. Carl-Thiem-Klinikum Cottbus gGmbH	Cottbus
79. Städtisches Krankenhaus	Eisenhüttenstadt GmbH
80. Klinik Ernst von Bergmann	Bad Belzig gGmbH
81. Klinik Amsee GmbH	Waren (Müritz)
82. Warnow-Klinik Bützow gGmbH	
83. Bodden-Kliniken Ribnitz-Damgarten	Ribnitz-Damgarten
84. HELIOS Hanseklinikum	Stralsund
85. EKA Erzgebirgsklinikum	Annaberg-Buchholz
86. Elblandkliniken	Stiftung & Co. KG Elblandklinikum Riesa
87. Berufsgenossenschaftli che	Kliniken Bergmannstrost Halle (Saale), Stadt
88. HELIOS Klinik Zerbst/Anhalt	Zerbst/Anhalt, Stadt
89. Harz-Klinikum "Dorothea	Christiane Erxleben" GmbH, Wernigerode, Stadt
90. Agaplesion Diakoniekrankenhaus	Seehausen (Altmark), Hansestadt
91. SRH Wald-Klinikum Gera GmbH	Gera
92. HELIOS Klinik Blankenhain	Blankenhain
93. Kreiskrankenhaus Schleiz GmbH	Schleiz
94. Ev.-luth. Diakonissenkrankenhau s	Flensburg
95. Malteser Krankenhaus	St. Franziskus Flensburg
96. Lubinus-Clinicum	Kiel
97. Städtisches Krankenhaus	Kiel
98. Sana Kliniken Lübeck	(Krankenhaus Süd) Lübeck
99. Johanniter- Krankenhaus Geesthacht	Geesthacht

100. DRK-Krankenhaus Ratzeburg Mölln-	Ratzeburg
---------------------------------------	-----------

Anhang 5: Liste der Krankenhäuser mit herzchirurgischer Intensivstation

1. Universitätsklinikum Schleswig-Holstein	Kiel			
2. Universitätsklinikum Schleswig-Holstein	Lübeck			
3. AK Segeberger Kliniken	Bad Segeberg			
4. Asklepios Klinik St. Georg	Hamburg			
5. Albertinen-Krankenhaus	Hamburg			
6. Universitäre Herzzentrum GmbH	am Universitätsklinikum	Hamburg-Eppendorf		Hamburg
7. Asklepios Klinik Harburg				Hamburg
8. Städtisches Klinikum Braunschweig				Braunschweig
9. Medizinische Hochschule	Hannover			Hannover
10. Herz- und Gefäßzentrum	Bad Bevensen			Bad Bevensen
11. Klinik Oldenburg gGmbH				Oldenburg (Oldb.)
12. Schüchtermann-Klinik				Bad Rothenfelde
13. Gesundheit Nord gGmbH	Klinikverbund Bremen	Standort Klinikum Links der Weser		Bremen
14. Universitätsklinikum Düsseldorf				Düsseldorf
15. Ev. Klinikum Niederrhein				Duisburg
16. Universitätsklinikum Essen				Essen
17. HELIOS Klinikum Krefeld				Krefeld
18. HELIOS Universitätsklinikum	Wuppertal			Wuppertal

19. Universitätsklinikum Bonn				Bonn
20. Universitätsklinikum Bonn / Deutsches Kinderherzzentrum				Bonn
21. Universitätsklinikum Köln				Köln
22. Universitätsklinikum Aachen				Aachen
23. HELIOS Klinikum Siegburg	Krankenhaus & Herzzentrum			Siegburg
24. Universitätsklinikum Münster				Münster
25. Herz- und Diabeteszentrum	Nordrhein-Westfalen	- Universitätsklinikum der	Ruhr-Universität Bochum-	Bad Oeynhausen
26. Berufsgenossenschaftliches	Universitätsklinikum	Bergmannsheil		Bochum
27. Klinikum Dortmund				Dortmund
28. St. Johannes-Hospital				Dortmund
29. Kerckhoff-Klinik	GmbH			Nauheim
30. Universitätsklinikum	Gießen und Marburg GmbH	Standort Gießen		Gießen
31. Universitätsklinikum	Gießen und Marburg GmbH	Standort Marburg		Marburg
32. Klinikum	Kassel			Kassel
33. Klinikum	Fulda gAG			Fulda
34. Herz- und	Kreislaufzentrum	Hersfeld-Rotenburg GmbH		Rotenburg
35. Bundeswehrzentral Krankenhaus				Koblenz
36. Krankenhaus der Barmherzigen	Brüder Trier			Trier
37. Westpfalz-Klinikum	Standort 1: Kaiserslautern	Standort 2: Kusel		Kaiserslautern
38. Klinikum der Stadt	Ludwigshafen am Rhein	gGmbH		Ludwigshafen am Rhein

39. Klinikum Johannes-	der	Gutenberg-Universität Mainz			Mainz
40. Robert-Bosch-Krankenhaus		Bad Cannstatt			Stuttgart
41. Sana Herzchirurgische Klinik					Stuttgart
42. HELIOS Klinik für Herzchirurgie					Karlsruhe
43. Universitätsklinikum		Heidelberg - Hauptabteilung 2			Heidelberg
44. Universitäts-Herz-Zentrum		Freiburg-Bad Krozingen	Standort Bad Krozingen		Bad Krozingen
45. Universitätsklinikum Freiburg / Department Universitäts-Herzzentrum		Freiburg			
46. MediClin Herzzentrum Lahr/Baden					Lahr
47. Herz-Zentrum		Spezialklinik für Kardiologie			Konstanz
48. Universitätsklinikum Tübingen					Tübingen
49. Universitätsklinikum Ulm					Ulm
50. Chirurgisches Klinikum		München Süd			München
51. Deutsches Herzzentrum		München			München
52. Klinikum		der Universität München	Großhadern-Innenstadt		München
53. Klinikum Bogenhausen					München
54. Schön Klinik		Vogtareuth			Vogtareuth
55. Klinikum Passau					Passau
56. Universitätsklinikum Regensburg					Regensburg
57. Klinikum		Bayreuth GmbH			Bayreuth
58. Universitätsklinikum Erlangen / Abteilung		Erlangen			Erlangen

für Kinderherzchirurgie				
59. Universitätsklinikum	Erlangen			Erlangen
60. Klinikum Nürnberg				Nürnberg
61. Universitätsklinikum	Würzburg			Würzburg
62. Herz- und Gefäß- Klinik GmbH				Neustadt a. d. Saale
63. Klinikum Augsburg	Anstalt des öffentlichen Rechts			Augsburg
64. SHG-Kliniken Völklingen				Völklingen
65. Charité - Universitätsmedizin	Berlin			Berlin
66. Deutsches Herzzentrum Berlin				Berlin
67. Sana-Herzzentrum Cottbus				Cottbus
68. Immanuel Klinikum Bernau	Herzzentrum Brandenburg			Bernau
69. Universitätsmedizin Rostock	Teilkörperschaft der	Universität Rostock		Rostock
70. Klinikum Karlsburg	Herz-und Diabeteszentrum	Mecklenburg- Vorpommern		Karlsburg
71. Herzzentrum Dresden GmbH	Universitätsklinik an der	Technischen Universität	Dresden	Dresden
72. Universitätsklinikum Halle (Saale)	Medizinische Fakultät der	Martin-Luther- Universität	Halle- Wittenberg	Halle (Saale), Stadt
73. Universitätsklinikum Magdeburg	A.ö.R.			Magdeburg, Landeshauptstadt
74. MediClin Herzzentrum Coswig				Coswig (Anhalt), Stadt
75. Universitätsklinikum Jena				Jena
76. Zentralklinik	Bad Berka GmbH			Bad Berka
77. Johann Wolfgang-Goethe-Universität / Zentrum der Chirurgie				Frankfurt

78. Georg-August-Universität Göttingen				Göttingen
79. Universitätsklinikum des Saarlandes / Klinik für Thorax- und Herz-Gefäßchirurgie				Homburg
80. Helios Kliniken Schwerin	Herzzentrum Nord-Ost			Schwerin
81. St. Josefs-Hospital Wiesbaden				Wiesbaden
82. Herzzentrum Leipzig - Universitätsklinik				Leipzig

9 Danksagung

Diese Danksagung ist für alle, die mich während meiner Promotion unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater und meinem Betreuer, deren Anleitung und Ratschläge entscheidend für den erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit waren.

Meinem Freund danke ich zudem für seine Geduld und seine Ermutigung, besonders in den stressigen Phasen.

Mein Dank gilt ebenfalls meiner Familie für den Rückhalt während der gesamten Zeit.

Allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, danke ich herzlich.

10 Tabellarischer Lebenslauf