

**Post-Anesthesia Care Unit Hypotonie bei Niedrigrisiko-
Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der Medizin (Dr. med.)

an der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Anneke Lohr

aus

Chemnitz

2025

Betreuer:in / Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Bernd Christopher Saugel

Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Oliver Mann

Vorsitz der Prüfungskommission: Prof. Dr. Oliver Mann

Mitglied der Prüfungskommission: PD Dr. Alexander Bernhardt

Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Robert Bähring

Datum der mündlichen Prüfung: 20.05.2026

Inhaltsverzeichnis

1 Darstellung der Publikation	4
1.1 Vorwort	4
1.2 Einleitung.....	4
1.3 Material und Methoden.....	7
1.3.1 Studienpopulation	7
1.3.2 Postoperatives Management	8
1.3.3 Durchführung der Studienmessungen	8
1.3.4 Endpunkte.....	9
1.3.5 Statistische Analyse.....	10
1.4 Ergebnisse	11
1.5 Diskussion	15
2 Originalversion der Publikation	20
3 Zusammenfassung	26
4 Abstract.....	27
5 Literaturverzeichnis	28
6 Abkürzungsverzeichnis	38
7 Abbildungsverzeichnis	39
8 Erklärung des Eigen- und Fremdanteils.....	40
9 Eidesstattliche Versicherung.....	41
10 Danksagung.....	42

1 Darstellung der Publikation

1.1 Vorwort

Bei dieser Promotionsarbeit handelt es sich um eine zusammenfassende Aufbereitung der am 6. Mai 2024 im *Journal of Clinical Monitoring and Computing* veröffentlichten Publikation mit dem Titel „Post-anesthesia care unit hypotension in low-risk patients recovering from non-cardiac surgery: a prospective observational study“ (Flick et al. 2024). Der Aufbau dieser Promotionsarbeit ist an die Gliederung der Originalarbeit angelehnt. Ergänzende Informationen sind der Originalpublikation zu entnehmen.

1.2 Einleitung

Weltweit werden pro Jahr über 300 Millionen Operationen durchgeführt (Weiser et al. 2015). Die Sterblichkeit bei nicht-kardiochirurgischen Operationen beträgt innerhalb der ersten 30 Tage nach der Operation bis zu 4% (Pearse et al. 2012; Spence et al. 2019). Postoperative Sterblichkeit ist häufig die Folge von postoperativen Komplikationen, wie z.B. eines Myokardinfarkts, einer Myokardschädigung, eines Schlaganfalls, einer akuten Nierenschädigung oder einer Blutung (Botto et al. 2014; Devereaux und Sessler 2015; Sabaté et al. 2011; Spence et al. 2019). Es gibt patient:innenspezifische und operationsspezifische Risikofaktoren für postoperative Komplikationen. Patient:innenspezifische Risikofaktoren sind, z.B. das Vorliegen einer präoperativen Anämie, einer Herzinsuffizienz, zerebrovaskulärer Erkrankungen, einer Niereninsuffizienz, ein hohes Alter oder eine hohe American Society of Anesthesiologists Physical Status- (ASA) Klassifikation. Operationsspezifische Risikofaktoren sind, z.B. eine hohe chirurgische Invasivität, eine Operation mit Beteiligung innerer Organe, eine Notfallindikation oder eine lange Operationsdauer (Botto et al. 2014; Cheung et al. 2015; Ford et al. 2010; Mathis et al. 2020; Sabaté et al. 2011). Postoperative Komplikationen sind häufig mit Vitalzeichenveränderungen assoziiert (Abbott et al. 2018; Devereaux und Sessler 2015; Rose et al. 1996). Besonders die postoperative Hypotonie, also ein zu niedriger postoperativer Blutdruck, ist in Abhängigkeit von Dauer und Schweregrad mit einem erhöhten Risiko für postoperative Komplikationen assoziiert (Devereaux et al. 2008; Haahr-Raunkjaer et al. 2022; Liem et al. 2020; Sabaté et al. 2011; Sessler et al. 2018; Shimada et al. 2023; Walsh et al. 2013; Wesselink et al. 2018; Wijnberge et al. 2021). Im Gegensatz zu den

unveränderlichen patient:innenspezifischen und operationsspezifischen Risikofaktoren, stellt die postoperative Hypotonie einen potenziell vermeidbaren Risikofaktor dar. Daher gilt es, die postoperative Hypotonie, wenn möglich, zu vermeiden, um so gegebenenfalls das Risiko für postoperative Komplikationen zu reduzieren (Ahuja et al. 2020; Saugel und Sessler 2021; Sessler et al. 2019).

Zur Vermeidung von Hypotonie ist eine enge Überwachung des Blutdrucks zur frühen Detektion niedriger Blutdrücke und schnellen Einleitung einer Therapie notwendig (Bergholz et al. 2023; Vos et al. 2014). Intraoperativ wird der Blutdruck meistens intermittierend alle 5 Minuten – oft sogar häufiger – gemessen. Nach der Verlegung in den Aufwachraum – die Post-Anesthesia Care Unit (PACU) – erfolgt die Blutdruckmessung jedoch häufig seltener, zum Teil mit einem Intervall von mehr als 15 Minuten zwischen zwei Messungen (Palla et al. 2022; Sessler et al. 2018). Hieraus resultiert ein relevantes Risiko, dass eine potenziell schädliche postoperative Hypotonie in der PACU (PACU-Hypotonie) nicht erkannt wird.

Das am häufigsten zur Blutdrucküberwachung verwendete Verfahren ist die nicht-invasive intermittierende Oszillometrie (Saugel und Sessler 2021). Hierbei werden mithilfe einer am Oberarm angelegten aufblasbaren Manschette Oszillationen der arteriellen Gefäßwand detektiert und so der Blutdruck gemessen. Die Manschette wird automatisch mit Luft aufgepumpt bis der Druck in der Manschette den systolischen Blutdruck übersteigt. Danach wird die Luft langsam aus der Manschette abgelassen, wodurch der Manschettendruck wieder abnimmt. Hierbei kommt es zu Oszillationen der arteriellen Gefäßwand. Während der Manschettendruck abnimmt und den systolischen Blutdruck unterschreitet, nimmt die Amplitude der Oszillationen langsam zu. Wenn die Amplitude der Oszillationen ihr Maximum erreicht, entspricht der Manschettendruck in etwa dem mittleren arteriellen Druck (MAD). Anschließend nimmt die Amplitude der Oszillationen wieder ab bis die Oszillationen nach Unterschreiten des diastolischen Blutdrucks wieder verschwinden. Basierend auf der Detektion der Oszillationen kann der Blutdruck mithilfe herstellerspezifischer Algorithmen gemessen werden (Chandrasekhar et al. 2019; Drzewiecki et al. 1994; Meidert et al. 2019; Saugel und Sessler 2021). Aufgrund der benötigten Zeit für eine Messung und der dafür unterbrochenen Blutzufuhr zum Arm erlaubt die Oszillometrie nur eine intermittierende Blutdruckmessung (Meidert et al. 2019). In mehreren prospektiven Beobachtungsstudien konnte beobachtet werden, dass aufgrund des

intermittierenden Charakters der Oszillometrie Hypotonien, die im Intervall zwischen zwei Messungen auftreten, gegebenenfalls nicht oder nur verspätet detektiert werden (Meidert et al. 2021; Saab et al. 2021; Turan et al. 2019; Wagner et al. 2014). Ein weiterer Nachteil der intermittierenden Oszillometrie ist, dass niedrige Blutdrücke überschätzt und hohe Blutdrücke unterschätzt werden. Daraus resultiert ein weiteres Risiko dafür, dass Hypotonien nicht zuverlässig detektiert werden (Meidert et al. 2021; Wax et al. 2011).

Eine innovative Alternative zur intermittierenden Oszillometrie ist die kontinuierliche nicht-invasive Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode (Bergholz et al. 2023; Vos et al. 2014). Die Finger-Cuff-Methode nutzt die Vascular-Unloading-Technik. Hierfür wird ein Cuff an der Mittelphalanx eines Fingers befestigt. Der Finger-Cuff hält mithilfe eines kontinuierlichen Druckausgleichs das Blutvolumen im Finger konstant. Hierfür enthält der Finger-Cuff photoplethysmographische Sensoren, mit denen das Blutvolumen der Fingerarterie gemessen werden kann. Das Blutvolumen der Fingerarterie verändert sich synchron zum Puls. Bei der Vascular-Unloading-Technik wird der Druckgradient über der arteriellen Gefäßwand aufgehoben, indem ein Druck von außen auf die Fingerarterie aufgebaut wird, der dem Druck in der Fingerarterie entspricht. Wenn der Druckgradient über der arteriellen Gefäßwand dauerhaft bei null ist, bleibt das Blutvolumen in der Fingerarterie konstant. Dieser Zustand wird erreicht, indem der Druck im Finger-Cuff unter photoplethysmographischer Kontrolle im Verlauf einer Pulswelle rasch immer wieder an den Druck in der Fingerarterie angepasst wird. Über den Druck im Finger-Cuff kann anschließend indirekt eine Blutdruckkurve rekonstruiert werden. Dadurch ist eine kontinuierliche Blutdruckmessung mit Ableitung einer nicht-invasiven Blutdruckkurve möglich (Edwards-Lifesciences-Corporation 2021; Fortin et al. 2006; Martina et al. 2012; Meidert et al. 2019; Saugel und Sessler 2021). In prospektiven randomisierten Studien mit nicht-kardiochirurgischen Patient:innen konnte gezeigt werden, dass eine kontinuierliche Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode das Auftreten intraoperativer Hypotonie im Vergleich zur intermittierenden Oszillometrie reduziert (Kouz et al. 2023; Maheshwari et al. 2018). Dies legt die Annahme nahe, dass eine kontinuierliche Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode auch das Auftreten postoperativer Hypotonie reduzieren könnte. Hierbei ist anzunehmen, dass gerade in der frühen postoperativen Phase während des Aufenthaltes in der PACU, z.B. aufgrund der anhaltenden Wirkung sedierender,

negativ inotroper oder vasodilatierender Medikamente, ein hohes Risiko für postoperative Hypotonie besteht (Abebe et al. 2022; Mulier et al. 1991; Nishikawa et al. 2004; Yang et al. 2022). Die Inzidenz, die Dauer und der Schweregrad von PACU-Hypotonie sind jedoch bisher unzureichend untersucht.

Ziel dieser Studie war es daher, die Inzidenz, die Dauer und den Schweregrad der Hypotonie bei Niedrigrisiko-Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen in der PACU mithilfe einer verblindeten nicht-invasiven kontinuierlichen Blutdruckmessung, der Finger-Cuff-Methode, zu untersuchen.

1.3 Material und Methoden

Diese Studie wurde als Add-on-Beobachtungsstudie zum DETECT-Trial konzipiert (Kouz et al. 2023). DETECT war eine randomisierte monozentrische Studie, in der der Einfluss einer kontinuierlichen Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode im Vergleich zur intermittierenden Blutdruckmessung mittels Oszillometrie auf das Auftreten von Hypotonie während nicht-kardiochirurgischer Operationen untersucht wurde. Diese Studie wurde durch die Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg (Hamburg, Deutschland, Registernummer PV7361) genehmigt und die Durchführung erfolgte von April bis Oktober 2021 am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland. Alle Patient:innen wurden vorab mündlich und schriftlich aufgeklärt und haben schriftlich in die Studienteilnahme eingewilligt. Die Studie wurde im deutschen Register klinischer Studien (DRKS00024881) registriert.

1.3.1 Studienpopulation

In diese Add-on-Beobachtungsstudie konnten nur Patient:innen eingeschlossen werden, die beim DETECT-Trial teilgenommen haben. In DETECT wurden Patient:innen mit einem Alter von mindestens 45 Jahren und einer geplanten nicht-kardiochirurgischen Operation unter Allgemeinanästhesie und einer Blutdruckmessung mittels intermittierender Oszillometrie eingeschlossen. Ausschlusskriterien waren eine invasive Blutdruckmessung mittels arteriellem Katheter, eine systolische Blutdruckdifferenz über 20 mmHg zwischen dem rechten und linken Arm, eine Notfall-Operation, eine bestehende Schwangerschaft und ein nicht vorhandener Sinusrhythmus. Es wurden 242 Patient:innen in DETECT eingeschlossen.

Im Rahmen des DETECT-Trials wurden die Patient:innen 1:1 zu einer nicht-verblindeten kontinuierlichen nicht-invasiven Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode oder zu einer verblindeten kontinuierlichen nicht-invasiven Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode randomisiert. In der Gruppe mit der nicht-verblindeten kontinuierlichen nicht-invasiven Blutdruckmessung erfolgte die Blutdrucktherapie auf Grundlage der kontinuierlichen Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode. In der Gruppe mit der verblindeten kontinuierlichen nicht-invasiven Blutdruckmessung erfolgte die Blutdrucktherapie auf Grundlage der intermittierenden Blutdruckmessung mittels Oszillometrie. In diese Add-on-Beobachtungsstudie wurden alle Patient:innen der Gruppe mit verblindeter kontinuierlicher nicht-invasiver Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode nach schriftlicher Einwilligung eingeschlossen.

1.3.2 Postoperatives Management

Nach dem Operationsende und dem Erwachen aus der Allgemeinanästhesie wurden die Patient:innen in die PACU transferiert. Die Patient:innen verblieben in der PACU bis die zuständigen Anästhesiolog:innen die Verlegung auf eine Normalstation anordneten. In der PACU erfolgte die Blutdruckmessung mittels Oszillometrie intermittierend alle 5 Minuten. Hierfür wurde eine automatische oszillometrische Manschette am Oberarm der Patient:innen angebracht. Die Blutdrucktherapie in der PACU erfolgte auf Grundlage der oszillometrischen Blutdruckwerte. In der PACU wurde entsprechend der klinischen Routine ein MAD ≥ 65 mmHg angestrebt. Falls erforderlich wurde hierfür zusätzliche Flüssigkeit gegeben oder Noradrenalin als primärer Vasopressor eingesetzt.

1.3.3 Durchführung der Studienmessungen

Die nicht-invasive kontinuierliche Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode (ClearSight-System; Edwards Lifesciences, Irvine, CA, USA) wurde gestartet, sobald die Patient:innen in der PACU ankamen. Hierfür wurde der Finger-Cuff über der Mittelphalanx am zweiten, dritten oder vierten Finger der Hand kontralateral zur oszillometrischen Oberarmmanschette befestigt. Der Nullabgleich des Finger-Cuff-Systems erfolgte mithilfe eines am Thorax auf Höhe des rechten Vorhofs befestigtem Referenz-Sensors, um den Höhenunterschied zwischen Finger und dem rechtem Vorhof auszugleichen (Edwards-Lifesciences-Corporation 2021; Meidert et al. 2019). Nach Start der Messung kalibrierte sich das ClearSight-System

automatisch, indem es mithilfe der „Physical Methode“ anfangs alle 10 Herzschläge, im Verlauf alle 70 Herzschläge den optimalen Finger-Cuff-Druck evaluierte, bei dem der Druckgradient über der arteriellen Gefäßwand null betrug (Edwards-Lifesciences-Corporation 2021; Martina et al. 2012; Wesseling et al. 1995). Außerdem erfolgte automatisch unter Einbeziehung biometrischer Daten (Alter, Größe, Gewicht und Geschlecht) die kontinuierliche Ableitung einer nicht-invasiven Blutdruckkurve (Edwards-Lifesciences-Corporation 2021; Gizdulich et al. 1997; Meidert et al. 2019). Die mittels Finger-Cuff-Methode gemessenen Blutdruckwerte wurden für das behandelnde Personal in der PACU verblindet.

Zur Analyse wurden die mittels Finger-Cuff-Methode kontinuierlich gemessenen Blutdruckmesswerte als 20-Sekunden-Durchschnittswerte aus dem ClearSight-System exportiert. Präanalytisch wurden 20-Sekunden-Durchschnittswerte als Artefakte gewertet und von der Analyse ausgeschlossen, wenn:

1. sie als Artefakte durch das zuständige Studienpersonal markiert wurden.
2. der systolische Blutdruckmesswert >280 mmHg oder <30 mmHg war.
3. der systolische Blutdruckmesswert zuzüglich 5 mmHg niedriger war als der diastolische Messwert.
4. der diastolische Blutdruckmesswert >150 mmHg oder <10 mmHg war.

Fehlende und ausgeschlossene 20-Sekunden-Durchschnittswerte wurden durch Mittelwerte aus den benachbarten 20-Sekunden-Durchschnittswerten ersetzt.

1.3.4 Endpunkte

Der primäre Endpunkt dieser Studie war die Proportion von Patient:innen mit PACU-Hypotonie. PACU-Hypotonie wurde definiert als MAD <65 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute. Zur Quantifizierung der PACU-Hypotonie wurde die nicht-invasive kontinuierliche Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode genutzt.

Die sekundären Endpunkte dieser Studie waren die kumulative Dauer der PACU-Hypotonie [min], die jeweilige Fläche unter einem MAD von 65 mmHg [mmHg x min] und der zeitgewichtete Durchschnitt für einen MAD <65 mmHg [mmHg]. Für die kumulative Dauer wurde die Zeit in Minuten ermittelt, die ein:e Patient:in eine PACU-Hypotonie hatte. Die Fläche unter einem MAD von 65 mmHg – Area Under the Curve (AUC) – ergibt sich aus der Summe der Flächen zwischen dem MAD-

Grenzwert von 65 mmHg und der sich darunter befindlichen Blutdruckkurve. Die AUC quantifiziert die Dauer und den Schweregrad der PACU-Hypotonie in einem Wert. Zur Berechnung des zeitgewichteten Durchschnitts – Time Weighted Average (TWA) – unter einem MAD von 65 mmHg wurde die individuelle AUC unter einem MAD von 65 mmHg durch die individuelle Blutdruckmessdauer geteilt. Der TWA berücksichtigt im Gegensatz zur AUC die Blutdruckmessdauer (Maheshwari et al. 2018; Saugel und Sessler 2021). Weitere sekundäre Endpunkte waren die Proportion, die kumulative Dauer, die AUC und der TWA einer PACU-Hypotonie definiert als MAD <70 mmHg bzw. MAD <80 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute.

1.3.5 Statistische Analyse

Zur Fallzahlkalkulation wurde auf Grundlage vorheriger Studienergebnisse geschätzt, dass die Inzidenz der PACU-Hypotonie, definiert als MAD <65 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute, bei rund 15% liegen muss (Haahr-Raunkjaer et al. 2022; Saab et al. 2021). Gestützt auf diese Annahme zeigte sich, dass eine Studienpopulationsgröße von 100 Patient:innen ein zweiseitiges 95%-Konfidenzintervall mit einer Breite von 14,9% erzeugen würde (Newcombe 1998).

Kategorische Werte werden im Folgenden als absolute Zahlen (Prozent) dargestellt, numerische Werte als Median (25. Perzentil; 75. Perzentil). Die statistische Analyse erfolgte mithilfe R Version 4.1.2. (R Core Team (2021), R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich. URL <https://www.R-project.org/>). Die Diagramme wurden unter Zuhilfenahme von Microsoft Excel Version 16.89.1 (2024, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) erstellt.

1.4 Ergebnisse

Insgesamt wurden 115 Patient:innen in diese Add-on-Beobachtungsstudie eingeschlossen. Bei 15 Patient:innen war eine Analyse der Daten aufgrund einer nicht vorhandenen Einwilligung bzw. technischer Probleme beim Datenexport und der Blutdruckmessung nicht möglich. Es wurden die Daten von 100 Patient:innen analysiert (siehe Abbildung 1).

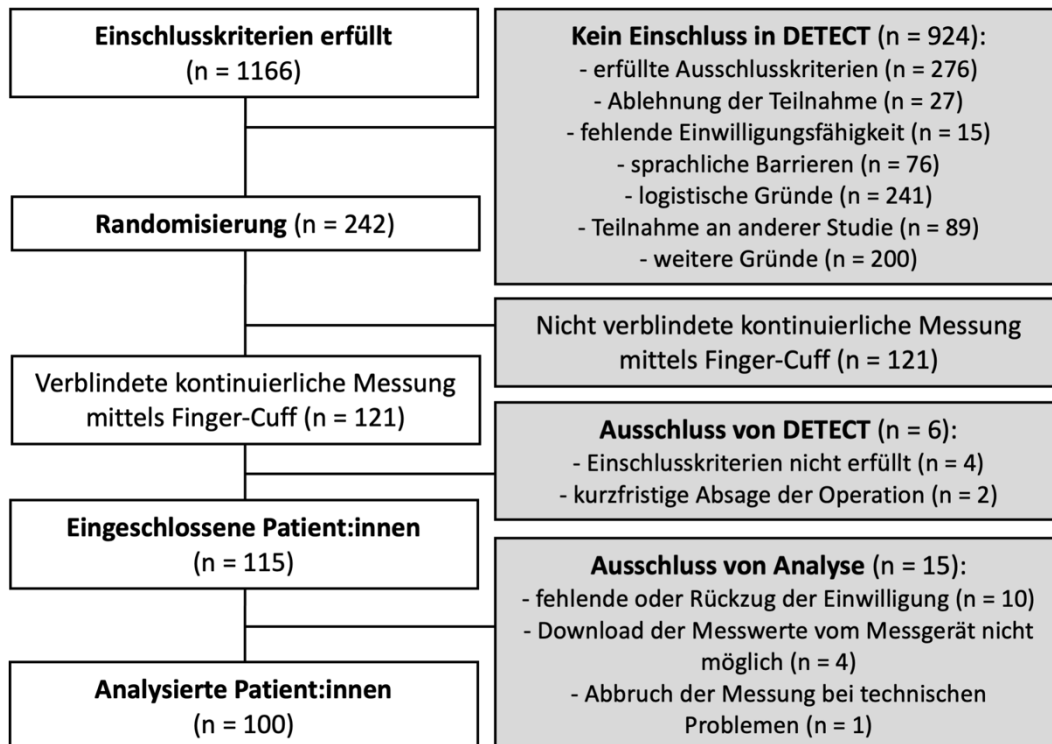


Abbildung 1: Patient:innen-Flussdiagramm

Darstellung des Screenings, des Einschlusses, der Randomisierung der Patient:innen in DETECT sowie der jeweiligen Ausschlussgründe

Es wurden insgesamt 20.737 Blutdruckmesswerte aufgezeichnet. 117 Blutdruckmesswerte (0,6%) fehlten und mussten durch einen Mittelwert aus den benachbarten 20-Sekunden-Durchschnittswerten ersetzt werden. Fünf Blutdruckmesswerte (0,02%) wurden als Artefakte gekennzeichnet und ebenfalls ersetzt. Die mediane (25.; 75. Perzentile) Dauer der kontinuierlichen nicht-invasiven Blutdruckmessung pro Patient:in betrug 64 (44; 91) min.

PACU-Hypotonie, definiert als MAD <65 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute, trat bei drei (3%) Patient:innen auf. Die kumulative Dauer der PACU-Hypotonie bei diesen Patient:innen betrug 4, 4 und 2 min. Die

Flächen unter einem MAD von 65 mmHg betragen 17, 9 und 9 mmHg x min und die zeitgewichteten Durchschnitte 0,5, 0,3 und 0,2 mmHg.

PACU-Hypotonie, definiert als MAD <70 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute, trat bei acht (8%) Patient:innen auf. Die mediane kumulative Dauer der PACU-Hypotonie bei diesen Patient:innen betrug 8 (2; 7) min. Die mediane Fläche unter einem MAD von 70 mmHg betrug 42 (32; 59) mmHg x min und der mediane zeitgewichtete Durchschnitt 0,9 (0,3; 1,5) mmHg.

PACU-Hypotonie, definiert als MAD <80 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute, trat bei 32 (32%) Patient:innen auf. Die mediane kumulative Dauer der PACU-Hypotonie bei diesen Patient:innen betrug 12 (5; 23) min. Die mediane Fläche unter einem MAD von 80 mmHg betrug 43 (23; 100) mmHg x min und der mediane zeitgewichtete Durchschnitt 0,7 (0,4; 1,6) mmHg.

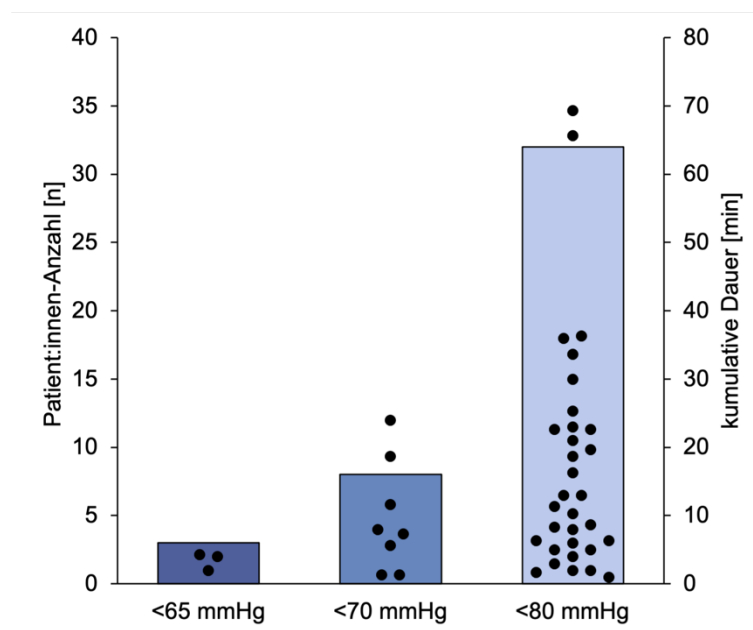


Abbildung 2: Anzahl der Patient:innen in der PACU mit einem MAD für mindestens 1 zusammenhängende Minute unter dem jeweiligen Grenzwert (Balken) und die individuelle kumulative Dauer, die der MAD unterhalb des Grenzwertes war (Punkte)

MAD: mittlerer arterieller Druck; PACU: Post-Anesthesia Care Unit

Quelle: Moritz Flick und Anneke Lohr. 2024. "Post-anesthesia care unit hypotension in low-risk patients recovering from non-cardiac surgery: a prospective observational study". J Clin Monit Comput. Seite 3.

In der PACU erhielten die Patient:innen 200 (100; 400) ml kristalloide Flüssigkeit. Es wurden keine Vasopressoren oder kolloidale Flüssigkeit verabreicht. Drei Patient:innen (3%) erhielten aufgrund einer bestehenden arteriellen Hypertonie Nifedipin und fünf Patient:innen (5%) erhielten Clonidin. Bei diesen acht Patient:innen trat keine PACU-Hypotonie definiert als MAD <65 mmHg oder MAD <70 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute auf. Bei nur einem Patienten mit Nifedipin-Einnahme kam es zu PACU-Hypotonie definiert als MAD <80 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute. Die kumulative Dauer der PACU-Hypotonie betrug bei diesem Patienten 16 min, die Fläche unter einem MAD von 80 mmHg umfasste 115 mmHg x min und der zeitgewichtete Durchschnitt betrug 1,5 mmHg.

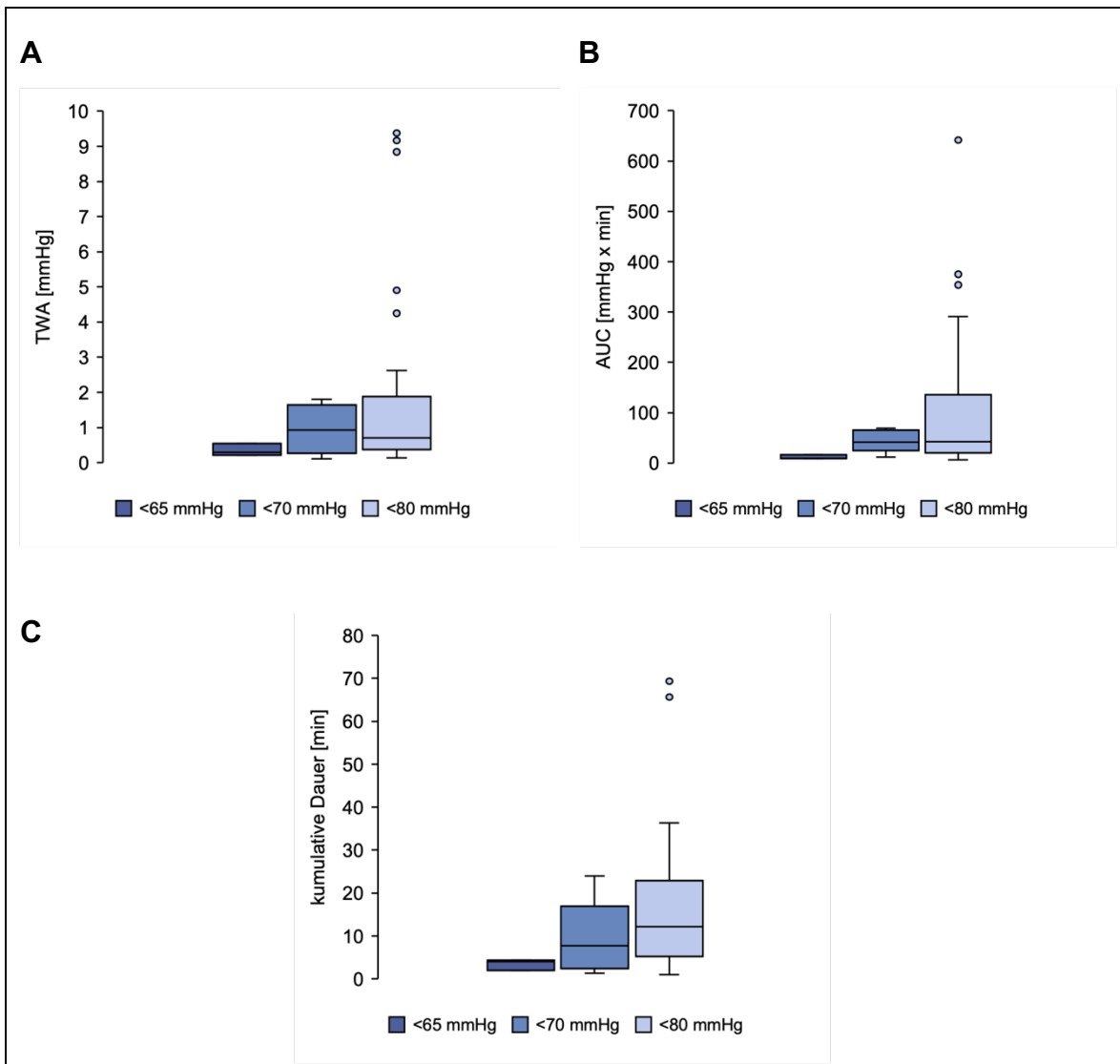


Abbildung 3: Boxplots zur TWA, AUC und kumulativen Dauer der PACU-Hypotonie definiert mit den MAD-Grenzwerten 65 mmHg, 70 mmHg und 80 mmHg

A: TWA in mmHg

B: AUC in mmHg x min

C: kumulative Dauer in min

AUC: Area Under the Curve (Fläche unter der Kurve); MAD: mittlerer arterieller Druck; PACU: Post-Anesthesia Care Unit; TWA: Time-Weighted Average (zeitgewichteter Durchschnitt)

1.5 Diskussion

Ziel dieser Add-on-Beobachtungsstudie war es die Inzidenz sowie den Schweregrad und die Dauer der PACU-Hypotonie bei Niedrigrisiko-Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen mithilfe einer nicht-invasiven kontinuierlich messenden für das behandelnde Personal verblindeten Blutdruckmessung zu ermitteln. Es konnte nur bei 3 von 100 Patient:innen eine PACU-Hypotonie, definiert als MAD <65 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute, beobachtet werden. Die beobachteten PACU-Hypotonien waren von kurzer Dauer und moderatem Schweregrad.

Eine kürzlich veröffentlichte retrospektive Studie mit 104.875 Datensätzen von Niedrig- bis Hochrisiko-Patient:innen beschrieb mit 12% eine deutlich höhere Inzidenz der PACU-Hypotonie nach nicht-kardiochirurgischen Operationen (Palla et al. 2022). Gemessen wurde der Blutdruck sowohl invasiv mithilfe eines arteriellen Katheters als auch nicht-invasiv intermittierend mithilfe der Oszillometrie. Die Auswertung erfolgte mit den rund alle 15 Minuten dokumentierten Werten. PACU-Hypotonie wurde in dieser Studie ebenfalls als MAD <65 mmHg definiert, jedoch unabhängig von der Dauer der Hypotonie. Hierdurch reichte ein einzelner hypotoner Blutdruckwert aus, um die Hypotonie-Definition zu erfüllen. Im Vergleich dazu definierten wir PACU-Hypotonie als MAD <65 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute. Das könnte eine Erklärung für die niedrigere Hypotonie-Inzidenz sein. Wir definierten PACU-Hypotonie mithilfe einer zeitlichen Komponente, um vereinzelt auftretenden, ggf. artifiziellen, hypotensiven Blutdruckwerten keine zu starke Relevanz einzuräumen und somit nur länger anhaltende hypotensive Phasen zu erfassen. Eine weitere Erklärung für die verschiedenen Inzidenzen könnte sein, dass wir vorwiegend gesunde Patient:innen mit niedriger ASA-Klassifikation (ASA I bis III; 73% ASA II; 14% ASA III) ohne Indikation für eine invasive Blutdruckmessung einschlossen. In der retrospektiven Studie wurden hingegen mehr Patient:innen mit höherer ASA-Klassifikation (40% ASA III; 4% ASA IV) eingeschlossen. Eine höhere ASA-Klassifikation geht jedoch mit einem erhöhtem Risiko für hämodynamische Instabilität und Hypotonie in der PACU einher (Abebe et al. 2022; Palla et al. 2022). Der größere Anteil an Patient:innen mit höherer ASA-Klassifikation könnte zu der höheren Inzidenz geführt haben. Außerdem umfasste der Messzeitraum in der retrospektiven Studie die ersten 6 Stunden, die die Patient:innen in der PACU verbrachten, wohingegen

die mediane Aufenthaltszeit unserer Patient:innen in der PACU bis zum Transport auf Normalstation rund eine Stunde betrug. Der verlängerte Beobachtungszeitraum könnte es ermöglicht haben hypotensive Blutdruckwerte zu detektieren, die erst zu späteren Zeitpunkten auftraten. Diese Annahme scheinen Beobachtungen früherer Studien zu bestätigen. In einer prospektiven Beobachtungsstudie mit 14.687 Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen zeigte sich, dass sich die Inzidenz der postoperativen Hypotonie am Operationstag von 3,4% in der PACU auf 6,3% nach Entlassung aus der PACU nahezu verdoppelte (Roshanov et al. 2017). Die höchste Inzidenz der postoperativen Hypotonie wurde am ersten postoperativen Tag mit 11,6% gemessen (Roshanov et al. 2017). In einer weiteren prospektiven Beobachtungsstudie mit 104 Patient:innen nach elektiven nicht-kardiochirurgischen Operationen zeigte sich ein Maximum der Inzidenz der neu aufgetretenen postoperativen Hypotonie bei 8 bis 11,5 Stunden nach Messbeginn in der PACU (King et al. 2021). Diese Beobachtungen lassen annehmen, dass die meisten postoperativen Hypotonien erst nach dem Aufenthalt in der PACU im Zeitraum um den ersten postoperativen Tag herum auftreten. Je länger demnach die Aufenthaltsdauer in der PACU ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass mehr der später auftretenden Hypotonien durch eine Blutdruckmessung während des PACU-Aufenthaltes detektiert werden.

In einer weiteren Studie mit 417 Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen lag die Inzidenz der PACU-Hypotonie mit 13,7% ebenfalls höher als in unserer Studie (Abebe et al. 2022). Die Blutdrucküberwachung erfolgte hier jedoch nur in den ersten 2 Stunden mittels nicht-invasiver intermittierender Oszillometrie mit einem Messintervall von 15 Minuten in der ersten und 30 Minuten in der zweiten Stunde. Es wurden ebenfalls Niedrigrisiko-Patient:innen mit niedriger ASA-Klassifikation (ASA I bis III; 68% ASA I; 23% ASA II) eingeschlossen. Die Differenz zwischen den Inzidenzen lässt sich in erster Linie dadurch erklären, dass in der Studie 58% der Patient:innen eine Notfall-Operation erhielten, wohingegen Notfall-Operationen im DETECT-Trial ein Ausschlusskriterium darstellten. Außerdem wurde PACU-Hypotonie mithilfe eines anderen Grenzwertes als jeder Abfall des MAD >20% vom präoperativ oszillometrisch bestimmten MAD-Ausgangswert definiert. Der MAD-Ausgangswert ist ein präoperativ individuell pro Patient:in bestimmter MAD, der als Richtwert zur Beurteilung von intra- und postoperativen Blutdruckveränderungen dient und so eine individuelle Blutdrucktherapie angepasst

an den:die Patient:in ermöglichen soll (Futier et al. 2017; Saugel und Sessler 2021). Die Verwendung verschiedener Definitionen von PACU- Hypotonie reduziert die Vergleichbarkeit zwischen den Studien (Bijker et al. 2007). Die Verwendung verschiedener Grenzwerte und Mindestdauern verdeutlicht die Problematik eines fehlenden Konsensus für eine einheitliche Definition von Hypotonie – intra- und postoperativ. In einer Analyse von 130 Studien wurden über 140 verschiedene Definitionen für die intraoperative Hypotonie gefunden. Je nach Grenzwert und Mindestdauer variierte die berichtete Inzidenz der intraoperativen Hypotonie von 5% bis 99% (Bijker et al. 2007). In einer prospektiven Beobachtungsstudie mit 14.687 Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen wurde mit 3,4% eine mit unseren Beobachtungen vergleichbare Inzidenz der PACU-Hypotonie berichtet. Jedoch ist die Vergleichbarkeit mit unseren Beobachtungen reduziert, da PACU-Hypotonie als jeder Abfall des systolischen Blutdrucks <90 mmHg, der eine blutdrucksteigernde Intervention (z.B. die Gabe von Flüssigkeit oder Vasopressoren) triggerte, definiert wurde (Roshanov et al. 2017). Trotz des initialen Eindrucks sich gleichender Inzidenzen ist anzunehmen, dass wir bei Verwendung dieser Definition eine noch geringere Inzidenz der PACU-Hypotonie beobachtet hätten. Die Patient:innen in unserer Studienpopulation erhielten während des PACU-Aufenthaltes nur wenig kristalloide Flüssigkeit und keine Vasopressoren, weshalb die Wahrscheinlichkeit, dass ein systolischer Blutdruck <90 mmHg eine blutdrucksteigernde Intervention triggerte, sehr gering ist. Im Nachhinein lässt sich dies jedoch nicht mehr sicher ermitteln und somit ist ein Vergleich mit den Ergebnissen dieser prospektiven Beobachtungsstudie nicht möglich. Gleiches gilt für eine weitere prospektive Beobachtungsstudie mit 18.380 Patient:innen nach einer Allgemeinanästhesie, die eine Inzidenz der PACU-Hypotonie von 2,2% beobachtete, jedoch für den Grenzwert zur Definition der Hypotonie den systolischen Blutdruck, eine therapeutische Intervention und eine zeitliche Komponente als Bedingung verwendete (Rose et al. 1996).

In dieser Add-on-Beobachtungsstudie wurden die Blutdruckmessungen nicht-invasiv kontinuierlich mithilfe der Finger-Cuff-Methode durchgeführt. Die Finger-Cuff-Methode ist gut validiert gegenüber dem invasiven Goldstandard mittels arteriellem Katheter und kann als vergleichbare Alternative zur intermittierenden Oszillometrie genutzt werden (Guelen et al. 2008; Martina et al. 2012; Nowak et al. 2011; Rogge et al. 2019; Saugel et al. 2020; Schumann et al. 2021; Vos et al. 2014).

Eine prospektive Studie mit 90 adipösen Patient:innen, die eine bariatrische Operation bekamen, konnte im Vergleich zur intermittierenden Oszillometrie sogar eine bessere Überstimmung der Finger-Cuff-Methode mit dem invasiven Goldstandard beobachten (Schumann et al. 2021). Die kontinuierliche Aufzeichnung der Blutdruckwerte ist eine Stärke dieser Add-on-Beobachtungsstudie, da hierdurch eine ganzheitliche Darstellung des Blutdruckprofils der Patient:innen in der PACU möglich war. Mehrere prospektive Beobachtungsstudien konnten beobachten, dass eine kontinuierliche Blutdruckmessung Hypotonien zusätzlich detektieren kann, die durch die nicht-invasive intermittierend messende Oszillometrie nicht oder nur verspätet detektiert werden (Meidert et al. 2021; Saab et al. 2021; Turan et al. 2019; Wagner et al. 2014). Die Verblindung des behandelnden Klinik-Personals für die kontinuierlich gemessenen Blutdruckwerte ist eine weitere Stärke dieser Add-on-Beobachtungsstudie, da hierdurch die Blutdrucktherapie nur anhand der intermittierend alle 5 Minuten mittels Oszillometrie bestimmten Blutdruckwerte gesteuert wurde. Durch die Verblindung war eine unverfälschte Beobachtung der realen Inzidenz der Hypotonie in der PACU des Studienstandortes möglich.

Die Ergebnisse dieser Add-on-Beobachtungsstudie sind durch das monozentrische Design der Studie limitiert und nicht zwangsläufig generalisierbar. Am Studienstandort wurde im Rahmen der klinischen Routine der Blutdruck bei den Patient:innen in der PACU nicht-invasiv intermittierend alle 5 Minuten mittels Oszillometrie gemessen. Es wurde somit deutlich häufiger gemessen, als es oft standardmäßig der Fall ist (Palla et al. 2022). Dies kann zu einer früheren Detektion und schnelleren Intervention und damit zu einer geringeren Inzidenz, Dauer und Schweregrad der detektierten PACU-Hypotonie geführt haben. Gegen diese Annahme spricht, dass die Patient:innen während des Aufenthaltes in der PACU keine Vasopressoren und nur geringe Mengen an kristalloider Flüssigkeit erhielten. Zusätzlich hatte die Studienpopulation ein niedrigeres Risikoprofil für eine postoperative Hypotonie, da sie überwiegend aus gesunden (86% ASA I bis II) Patient:innen mit geringem bis moderatem Operationsrisiko und kurzen Operationszeiten bestand (Abebe et al. 2022; Cheung et al. 2015; Palla et al. 2022; Rose et al. 1996). Die Ergebnisse dieser Add-on-Beobachtungsstudie lassen sich deshalb nicht auf Patient:innengruppen mit einem höherem patient:innenspezifischen oder operationsspezifischen Ausgangsrisiko übertragen.

Zur Evaluation der Inzidenz der PACU-Hypotonie in anderen Patient:innengruppen braucht es noch weitere Studien. Um eine Vergleichbarkeit zukünftiger Studien zu gewährleisten, werden weitere Studien zur Ermittlung eines einheitlichen Grenzwertes zur Definition schädigender Hypotonie in der PACU benötigt.

Abschließend lässt sich schlussfolgern, dass PACU-Hypotonie bei Niedrigrisiko-Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen mit einer beobachteten Inzidenz von 3% nur selten vorkommt. Die beobachteten PACU-Hypotonien waren zudem von kurzer Dauer und moderatem Schweregrad. Es ist somit anzunehmen, dass die PACU-Hypotonie bei Niedrigrisiko-Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen von geringer klinischer Bedeutung ist. Die Beobachtungen sind nicht auf Patient:innen mit höherem Ausgangsrisiko oder nach Operationen mit höherem Operationsrisiko übertragbar.

2 Originalversion der Publikation

Journal of Clinical Monitoring and Computing (2024) 38:1331–1336
https://doi.org/10.1007/s10877-024-01176-9

ORIGINAL RESEARCH



Post-anesthesia care unit hypotension in low-risk patients recovering from non-cardiac surgery: a prospective observational study

Moritz Flick¹ · Anneke Lohr¹ · Friederike Weidemann¹ · Ashkan Naebian¹ · Phillip Hoppe¹ · Kristen K. Thomsen^{1,3} · Linda Krause² · Karim Kouz^{1,3} · Bernd Saugel^{1,3}

Received: 8 February 2024 / Accepted: 6 May 2024 / Published online: 17 May 2024
© The Author(s) 2024

Abstract

Intraoperative hypotension is common and associated with organ injury. Hypotension can not only occur during surgery, but also thereafter. After surgery, most patients are treated in post-anesthesia care units (PACU). The incidence of PACU hypotension is largely unknown – presumably in part because arterial pressure is usually monitored intermittently in PACU patients. We therefore aimed to evaluate the incidence, duration, and severity of PACU hypotension in low-risk patients recovering from non-cardiac surgery. In this observational study, we performed blinded continuous non-invasive arterial pressure monitoring with finger-cuffs (ClearSight system; Edwards Lifesciences, Irvine, CA, USA) in 100 patients recovering from non-cardiac surgery in the PACU. We defined PACU hypotension as a mean arterial pressure (MAP) < 65 mmHg. Patients had continuous finger-cuff monitoring for a median (25th percentile, 75th percentile) of 64 (44 to 91) minutes. Only three patients (3%) had PACU hypotension for at least one consecutive minute. These three patients had 4, 4, and 2 cumulative minutes of PACU hypotension; areas under a MAP of 65 mmHg of 17, 9, and 9 mmHg x minute; and time-weighted averages MAP less than 65 mmHg of 0.5, 0.3, and 0.2 mmHg. The median volume of crystalloid fluid patients were given during PACU treatment was 200 (100 to 400) ml. None was given colloids or a vasopressor during PACU treatment. In low-risk patients recovering from non-cardiac surgery, the incidence of PACU hypotension was very low and the few episodes of PACU hypotension were short and of modest severity.

Keywords Blood pressure · Finger-cuff · Hemodynamic monitoring · Non-invasive · Postoperative hypotension

1 Introduction

In patients having surgery with general anesthesia, hypotension is common and associated with organ injury [1–6]. Hypotension can not only occur during surgery [2, 3, 7], but also thereafter [8, 9].

Patients who are not admitted to high-dependency or intensive care units after surgery are monitored and treated in post-anesthesia care units (PACU) before they are transferred to general wards. During this early postoperative recovery in the PACU, patients may be at particular risk of developing hypotension, e.g. due to prolonged effects of anesthetic drugs or postoperative bleeding [10]. However, the incidence, duration, and severity of PACU hypotension is largely unknown – presumably in part because arterial pressure is usually monitored intermittently, often only at 15-minute intervals, in PACU patients [11].

We therefore aimed to evaluate the incidence, duration, and severity of PACU hypotension in low-risk patients recovering from non-cardiac surgery using blinded continuous arterial pressure monitoring with a finger-cuff.

Moritz Flick and Anneke Lohr contributed equally to this work.
Karim Kouz and Bernd Saugel contributed equally to this work.

✉ Bernd Saugel
bernd.saugel@gmx.de

¹ Department of Anesthesiology, Center of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

² Institute of Medical Biometry and Epidemiology, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

³ Outcomes Research Consortium, Cleveland, OH, USA

2 Materials and methods

Our study was a pre-specified observational add-on study of the single-center randomized DETECT trial [12]. DETECT showed that continuous finger-cuff – compared to intermittent oscillometric – arterial pressure monitoring helps clinicians reduce hypotension during induction of anesthesia and during non-cardiac surgery [12]. This add-on study was approved by the ethics committee (Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg, Hamburg, Germany, registration number PV7361) a month after DETECT had started and was performed between April and October 2021 at the University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany. All patients provided written informed consent. The study was registered in the German Register for Clinical Studies (Registration: DRKS00024881). Our report follows the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) guidelines [13].

2.1 Patients

DETECT included 242 patients ≥ 45 years old who had elective non-cardiac surgery with general anesthesia and planned intermittent oscillometric arterial pressure monitoring with an upper-arm cuff. Patients who needed intra-arterial arterial pressure monitoring or who had a systolic arterial pressure difference of more than 20 mmHg between the right and left arm were excluded. Other exclusion criteria were emergency surgery, pregnancy, and heart rhythms other than sinus rhythm.

Patients in DETECT were randomized to unblinded continuous finger-cuff arterial pressure monitoring or to intermittent oscillometric arterial pressure monitoring with blinded continuous finger-cuff arterial pressure monitoring during induction of anesthesia and during surgery. Patients randomized to intermittent oscillometric arterial pressure monitoring with blinded continuous finger-cuff arterial pressure monitoring were eligible for participation in this add-on study.

2.2 Postoperative management

After emergence from general anesthesia, patients were transferred to the PACU. Patients were monitored and treated in the PACU until clinicians considered them fit enough for transfer to the general ward. Per clinical routine, arterial pressure was monitored at 5-minute intervals using oscillometry. Postoperative hemodynamic management aimed at keeping mean arterial pressure (MAP) above 65 mmHg using fluids and norepinephrine.

2.3 Study measurements

Study measurements for this add-on study started when patients had arrived in the PACU. During the PACU stay, we performed blinded continuous arterial pressure monitoring with finger-cuffs (ClearSight system; Edwards Lifesciences, Irvine, CA, USA) positioned on the third or fourth finger of the arm contralateral to the oscillometric cuff [12]. The ClearSight system was zeroed using a heart reference sensor attached to the patient's chest at the level of the right atrium. We extracted arterial pressure measurements from the ClearSight system as 20-second averages.

Before analysis, we excluded artifactual arterial pressure measurements as follows: (1) arterial pressure values documented as artifacts by study personnel; (2) systolic arterial pressures > 280 mmHg or < 30 mmHg; (3) systolic arterial pressures below the diastolic arterial pressure plus 5 mmHg; or (4) diastolic arterial pressures > 150 mmHg or < 10 mmHg. We replaced excluded and missing 20-second averaged arterial pressure values by the mean of the closest 20-second averaged arterial pressure values.

2.4 Hypotension exposure

We quantified PACU hypotension using continuous finger-cuff arterial pressure monitoring. We defined PACU hypotension as a MAP < 65 mmHg. We assessed the proportion of patients who had a MAP < 65 mmHg for at least one consecutive minute. We further quantified the duration and severity of PACU hypotension by calculating the cumulative duration patients had a MAP < 65 mmHg (mins), the area under a MAP of 65 mmHg (mmHg x min), and the time-weighted average MAP less than 65 mmHg (mmHg). We calculated the same measures for MAP thresholds of 70 mmHg and 80 mmHg.

2.5 Statistical analysis

Categorical data are presented as absolute number (percentage), continuous data as mean (standard deviation) or median (25th percentile, 75th percentile). Statistical analyses were performed with R version 4.1.2. (R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>).

Based on previous studies investigating postoperative hypotension on general wards, we estimated that the incidence of PACU hypotension, defined as a MAP < 65 mmHg for at least one minute, would be about 15% [14, 15]. Based on this assumption, a sample size of 100 patients would produce a two-sided 95% confidence interval with a width equal to 14.9% [16].

Table 1 Demographics and medical history ($n=100$ patients)

Age, years	62 (11)
Female, n	36 (36%)
Weight, kg	85 (17)
Height, cm	175 (9)
Body mass index, kg/m ²	26 (5)
American Society of Anesthesiologists physical status (I; II; III), n	13 (13%); 73 (73%); 14 (14%)
Medical History	
Chronic arterial hypertension, n	44 (44%)
Chronic heart failure	0 (0%)
Coronary artery disease, n	6 (6%)
Chronic kidney disease, n	1 (1%)
Chronic obstructive pulmonary disease, n	4 (4%)
Diabetes mellitus, n	6 (6%)
Cerebrovascular disease, n	7 (7%)
Revised cardiac risk index, (score 0; 1; 2), n	76 (76%); 22 (22%); 2 (2%)
Type of surgery	
Ear, nose, and throat	16 (16%)
General	9 (9%)
Gynecology	11 (11%)
Neurology	6 (6%)
Oral and maxillofacial	13 (13%)
Trauma	5 (5%)
Urology	40 (40%)

Data are presented as mean (standard deviation) or absolute number (percentage)

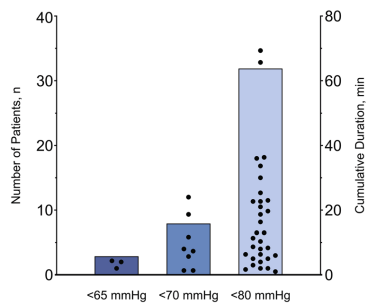


Fig. 1 Number of patients below mean arterial pressure thresholds for at least one minute (vertical bars) and cumulative duration below thresholds of individual patients (black dots)

3 Results

We included 100 patients in this study, and all were included in the analysis (Table 1). Patients had continuous finger-cuff monitoring for a median (25th percentile, 75th percentile) monitoring time per patient of 64 (44 to 91) minutes. Of 20,737 finger-cuff arterial pressure measurements, we

replaced 117 missing (0.6%) and 5 artefactual (0.002%) measurements.

Only three patients (3%) had PACU hypotension (MAP < 65 mmHg) for at least one consecutive minute (Fig. 1). These three patients had 4, 4, and 2 cumulative minutes of PACU hypotension; areas under a MAP of 65 mmHg of 17, 9, and 9 mmHg x minute; and time-weighted averages MAP less than 65 mmHg of 0.5, 0.3, and 0.2 mmHg.

Eight patients (8%) had a MAP < 70 mmHg for at least one minute. In these eight patients, the median duration patients had a MAP < 70 mmHg was 8 (2 to 17) cumulative minutes; the median area under a MAP of 70 mmHg was 42 (32 to 59) mmHg x minute; and the median time-weighted average MAP less than 70 mmHg was 0.9 (0.3 to 1.5) mmHg.

Thirty-two patients (32%) had a MAP < 80 mmHg for at least one minute. In these 32 patients, the median duration patients had a MAP < 80 mmHg was 12 (5 to 23) cumulative minutes; the median area under a MAP of 80 mmHg was 43 (23 to 130) mmHg x minute; and the median time-weighted average MAP less than 80 mmHg was 0.7 (0.4 to 1.6) mmHg.

The median volume of crystalloid fluid that patients were given during PACU treatment was 200 (100 to 400) ml. None was given colloids or a vasopressor during PACU treatment. Three patients were given nifedipine for hypertension, and 5 were given clonidine (none of those patients developed PACU hypotension).

4 Discussion

We used blinded continuous non-invasive arterial pressure monitoring to investigate the incidence, duration, and severity of PACU hypotension in low-risk patients recovering from non-cardiac surgery. There was almost no PACU hypotension, and what hypotension we observed was short and of modest severity.

A recent analysis of 104,875 patients recovering from low- to high-risk non-cardiac surgery reported a 12% incidence of PACU hypotension [11]. This previous analysis also defined PACU hypotension as a MAP < 65 mmHg but reports the incidence of any MAP < 65 mmHg – while the 3% incidence of PACU hypotension we observed refers to hypotensive events lasting at least one consecutive minute. Furthermore, the previous analysis – compared to our study – included sicker patients (40% were classified as American Society of Anesthesiologists physical status (ASA) class III, and 4% ASA class IV) who may have a higher risk for postoperative hypotension. Additionally, patients stayed in the PACU for several hours, thus increasing exposure time,

whereas our patients usually were transferred to a general ward after about an hour.

In our PACU, arterial pressure is routinely measured every 5 minutes, which may be more frequent than in other hospitals where arterial pressure often is only measured every 15 mins [11]. One thus may speculate that PACU hypotension was sparse because it was quickly identified and treated. However, patients were given no vasopressors and only small amounts of crystalloids while in the PACU. Close monitoring and early intervention were therefore not the reason that hardly any PACU hypotension occurred. Patients in our study simply did not develop PACU hypotension – presumably because we included relatively healthy patients who had low- to moderate-risk surgery.

It remains unknown whether hypotension harm thresholds differ between awake patients and patients having surgery with general anesthesia in whom energy expenditure is about a quarter lower than in awake patients [17, 18]. Large registry studies report that the intraoperative population harm threshold for organ injury is a MAP near 65 mmHg [2, 4, 6, 19, 20]. We thus primarily used a MAP threshold of 65 mmHg to define PACU hypotension. However, some studies suggest that postoperative hypotension harm thresholds – in awake patients – may be higher, perhaps at a MAP near 80 mmHg [21, 22]. Naturally, more patients had MAP values below 70 mmHg and 80 mmHg than below 65 mmHg. Whether MAP values around 70–80 mmHg constitute clinically important hypotension in awake patients requires further investigation. As normal arterial pressures substantially vary among individual patients presenting for surgery [23], it seems reasonable to assume that postoperative hypotension harm thresholds also differ among individuals.

We monitored arterial pressure continuously using the finger-cuff method that is well-validated [24, 25]. We blinded clinicians to continuous arterial pressure monitoring so clinical management was exclusively guided by oscillometric measurements at 5-minute intervals. Therefore, a strength of this study is that we continuously monitored arterial pressure – and thus unlikely missed hypotension [12, 26–28] – while patients had routine care.

We deliberately included relatively healthy patients who had no indication for invasive arterial pressure monitoring with an arterial catheter and who were treated in our normal PACU after low- to moderate-risk surgery. Naturally, our results cannot be generalized to patients with higher baseline risk or patients having major surgery, but presumably reflect the incidence, duration, and severity of hypotension in typical surgical patients. The observed incidence as well as duration and severity of PACU hypotension was lower than expected. Not all patients from the DETECT trial were recruited for this add-on study due to delays in ethics approval of this add-on study. However, it seems unlikely

though that a larger sample size would have yielded in substantially different results.

5 Conclusion

In low-risk patients recovering from non-cardiac surgery, the incidence of PACU hypotension was very low and the few episodes of PACU hypotension were short and of modest severity. Our results cannot be generalized to patients with higher baseline risk or patients having major surgery. The incidence and clinical importance of PACU hypotension in high-risk patients recovering from major surgery warrants further investigation.

Author contributions MF, KK, and BS contributed to the study conception and design. Data collection was performed by MF, AL, FW, AN, and KK. Formal data analysis was performed by MF, AL, and LK. MF and BS drafted the manuscript. All authors critically revised previous versions of the manuscript and approved the final manuscript.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. Edwards Lifesciences (Irvine, CA, USA) provided the EV1000 monitoring system and finger-cuffs for the DETECT trial. Edwards Lifesciences was not involved in the development of the study design, data acquisition or analysis, writing of the manuscript, or the decision to submit the manuscript for publication. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Data availability No datasets were generated or analysed during the current study.

Declarations

Competing interests MF is a consultant for and has received honoraria for giving lectures from Edwards Lifesciences (Irvine, CA, USA). MF has received honoraria for consulting and giving lectures from CNSystems Medizintechnik (Graz, Austria). MF is an Editor for the Journal of Clinical Monitoring and Computing. AL, FW, AN, PH, KKT, and LK have no conflicts of interest to declare. KK is a consultant for and has received honoraria for giving lectures from Edwards Lifesciences. KK is a consultant for Vygon (Aachen, Germany). BS is a consultant for and has received institutional restricted research grants and honoraria for giving lectures from Edwards Lifesciences (Irvine, CA, USA). BS is a consultant for Philips North America (Cambridge, MA, USA) and has received honoraria for giving lectures from Philips Medizin Systeme Böblingen (Böblingen, Germany). BS has received institutional restricted research grants and honoraria for giving lectures from Baxter (Deerfield, IL, USA). BS is a consultant for and has received institutional restricted research grants and honoraria for giving lectures from GE Healthcare (Chicago, IL, USA). BS has received institutional restricted research grants and honoraria for giving lectures from CNSystems Medizintechnik (Graz, Austria). BS is a consultant for Maquet Critical Care (Solna, Sweden). BS has received honoraria for giving lectures from Getinge (Gothenburg, Sweden). BS is a consultant for and has received institutional restricted research grants and honoraria for giving lectures from Pulsion Medical Systems (Feldkirchen, Germany). BS is a consultant for and has received institutional restricted research grants and honoraria for giving lectures from Vygon (Aachen, Germany). BS is a consultant for and has received institutional restricted research grants from Retia Medical (Valhalla,

NY, USA). BS has received honoraria for giving lectures from Masimo (Neuchâtel, Switzerland). BS is a consultant for Dynocardia (Cambridge, MA, USA). BS has received institutional restricted research grants from Osyka Medical (Berlin, Germany). BS was a consultant for and has received institutional restricted research grants from Tensys Medical (San Diego, CA, USA). BS is an Editor of the British Journal of Anaesthesia.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Walsh M, Devereaux PJ, Garg AX, Kurz A, Turan A, Rodseth RN, Cywinski J, Thabane L, Sessler DI. Relationship between intraoperative mean arterial pressure and clinical outcomes after noncardiac surgery: toward an empirical definition of hypotension. *Anesthesiology*. 2013;119(3):507–15. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3182a10e26>.
- Ahuja S, Mascha EJ, Yang D, Maheshwari K, Cohen B, Khanna AK, Ruetzler K, Turan A, Sessler DI. Associations of Intraoperative Radial arterial systolic, Diastolic, Mean, and pulse pressures with myocardial and acute kidney Injury after noncardiac surgery: a retrospective cohort analysis. *Anesthesiology*. 2020;132(2):291–306. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003048>.
- Gregory A, Stapelfeldt WH, Khanna AK, Smischney NJ, Boero II, Chen Q, Stevens M, Shaw AD. Intraoperative hypotension is Associated with adverse clinical outcomes after noncardiac surgery. *Anesth Analg*. 2021;132(6):1654–65. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005250>.
- Wesselink EM, Kappen TH, Torn HM, Slooter AJC, van Klei WA. Intraoperative hypotension and the risk of postoperative adverse outcomes: a systematic review. *Br J Anaesth*. 2018;121(4):706–21. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2018.04.036>.
- Wijnberge M, Schenk J, Bulle E, Vlaar AP, Maheshwari K, Hollmann MW, Binnekade JM, Geerts BF, Veelo DP. Association of intraoperative hypotension with postoperative morbidity and mortality: systematic review and meta-analysis. *BJS Open*. 2021;5(1). <https://doi.org/10.1093/bjsopen/zraa018>.
- Saugel B, Sessler DI. Perioperative blood pressure management. *Anesthesiology*. 2021;134(2):250–61. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003610>.
- Wickham AJ, Highton DT, Clark S, Fallaha D, Wong DJN, Martin DS, Research, Audit Federation of T. Treatment threshold for intra-operative hypotension in clinical practice—a prospective cohort study in older patients in the UK. *Anaesthesia*. 2022;77(2):153–63. <https://doi.org/10.1111/anae.15535>.
- Sessler DI, Meyhoff CS, Zimmerman NM, Mao G, Leslie K, Vasquez SM, Balaji P, Alvarez-Garcia J, Cavalcanti AB, Parlow JL, Rahate PV, Seeberger MD, Gossetti B, Walker SA, Premchand RK, Dahl RM, Duceppe E, Rodseth R, Botto F, Devereaux PJ. Period-dependent associations between Hypotension during and for four days after noncardiac surgery and a composite of myocardial infarction and death: a Substudy of the POISE-2 trial. *Anesthesiology*. 2018;128(2):317–27. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001985>.
- Turan A, Chang C, Cohen B, Saasouh W, Essber H, Yang D, Ma C, Hovsepian K, Khanna AK, Vitale J, Shah A, Ruetzler K, Maheshwari K, Sessler DI. Incidence, severity, and detection of blood pressure perturbations after abdominal surgery: a prospective blinded observational study. *Anesthesiology*. 2019;130(4):550–9. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002626>.
- Abebe MM, Arefayne NR, Temesgen MM, Admass BA. Incidence and predictive factors associated with hemodynamic instability among adult surgical patients in the post-anesthesia care unit, 2021: a prospective follow up study. *Ann Med Surg (Lond)*. 2022;74:103321. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.103321>.
- Palla K, Hyland SL, Posner K, Ghosh P, Nair B, Bristow M, Paleva Y, Williams B, Fong C, Van Cleve W, Long DR, Pauldine R, O'Hara K, Takeda K, Vavilala MS. Intraoperative prediction of postanaesthesia care unit hypotension. *Br J Anaesth*. 2022;128(4):623–35. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.10.052>.
- Kouz K, Weidemann F, Naebian A, Lohr A, Bergholz A, Thomsen KK, Krause L, Petzoldt M, Moll-Khosrawi P, Sessler DI, Flick M, Saugel B. Continuous finger-cuff versus intermittent oscillometric arterial pressure monitoring and hypotension during induction of anesthesia and noncardiac surgery: the DETECT Randomized Trial. *Anesthesiology*. 2023;139(3):298–308. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004629>.
- von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gotsche PC, Vandenbroucke JP, Initiative S. The strengthening of reporting of Observational studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *Ann Intern Med*. 2007;147(8):573–7. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-147-8-200710160-00010>.
- Haahr-Raunkjaer C, Molgaard J, Elvekjaer M, Rasmussen SM, Achiam MP, Jorgensen LN, Sogaard MIV, Gronbaek KK, Oxboll AB, Sorensen HBD, Meyhoff CS, Aasvang EK. Continuous monitoring of vital sign abnormalities; association to clinical complications in 500 postoperative patients. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2022;66(5):552–62. <https://doi.org/10.1111/aas.14048>.
- Saab R, Wu BP, Rivas E, Chiu A, Lozovoskiy S, Ma C, Yang D, Turan A, Sessler DI. Failure to detect ward hypoxaemia and hypotension: contributions of insufficient assessment frequency and patient arousal during nursing assessments. *Br J Anaesth*. 2021;127(5):760–8. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.06.014>.
- Newcombe RG. Two-sided confidence intervals for the single proportion: comparison of seven methods. *Stat Med*. 1998;17(8):857–72. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0258\(19980430\)17:8%3C857::aid-sim777%3E3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0258(19980430)17:8%3C857::aid-sim777%3E3.0.co;2-e).
- Matsukawa T, Sessler DI, Sessler AM, Schroeder M, Ozaki M, Kurz A, Cheng C. Heat flow and distribution during induction of general anesthesia. *Anesthesiology*. 1995;82(3):662–73. <https://doi.org/10.1097/0000542-199503000-00008>.
- Briesenick L, Schaade A, Bergholz A, Hoppe P, Kouz K, Krause L, Flick M, Saugel B. Energy Expenditure under General Anesthesia: an observational study using Indirect Calorimetry in patients having noncardiac surgery. *Anesth Analg*. 2023;137(1):169–75. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000006343>.
- Salmasi V, Maheshwari K, Yang D, Mascha EJ, Singh A, Sessler DI, Kurz A. Relationship between intraoperative hypotension, defined by either reduction from baseline or Absolute Thresholds, and Acute kidney and myocardial Injury after noncardiac surgery: a retrospective cohort analysis. *Anesthesiology*. 2017;126(1):47–65. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001432>.
- Sessler DI, Bloomstone JA, Aronson S, Berry C, Gan TJ, Kellum JA, Plumb J, Mythen MG, Grocott MPW, Edwards MR, Miller TE, Perioperative Quality Initiative w, chairs, Miller P, Mythen TE, Grocott MG, Edwards MP. MR, Physiology g. Preoperative

- blood pressure g. Intraoperative blood pressure g. Postoperative blood pressure g (2019) Perioperative Quality Initiative consensus statement on intraoperative blood pressure, risk and outcomes for elective surgery. *Br J Anaesth* 122 (5):563–574. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.01.013>.
21. Shimada T, Pu X, Kutlu Yalcin E, Cohen B, Bravo M, Mascha EJ, Sessler DI, Turan A. Association between postoperative hypotension and acute kidney injury after noncardiac surgery: a historical cohort analysis. *Can J Anaesth*. 2023;70(12):1892–900. <https://doi.org/10.1007/s12630-023-02601-4>.
 22. Liem VGB, Hoeks SE, Mol K, Potters JW, Grune F, Stolker RJ, van Lier F. Postoperative hypotension after Noncardiac Surgery and the Association with Myocardial Injury. *Anesthesiology*. 2020;133(3):510–22. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003368>.
 23. Saugel B, Reese PC, Sessler DI, Burfeindt C, Nicklas JY, Pinn Schmidt HO, Reuter DA, Sudfeld S. Automated ambulatory blood pressure measurements and intraoperative hypotension in patients having noncardiac surgery with General Anesthesia: a prospective observational study. *Anesthesiology*. 2019;131(1):74–83. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002703>.
 24. Martina JR, Westerhof BE, van Goudoever J, de Beaumont EM, Truijzen J, Kim YS, Immink RV, Jobsis DA, Hollmann MW, Lahpor JR, de Mol BA, van Lieshout JJ. Noninvasive continuous arterial blood pressure monitoring with Nexfin(R). *Anesthesiology*. 2012;116(5):1092–103. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31824f94ed>.
 25. Saugel B, Hoppe P, Nicklas JY, Kouz K, Korner A, Hempel JC, Vos JJ, Schon G, Scheeren TWL. Continuous noninvasive pulse wave analysis using finger cuff technologies for arterial blood pressure and cardiac output monitoring in perioperative and intensive care medicine: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth*. 2020;125(1):25–37. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2020.03.013>.
 26. Meidert AS, Nold JS, Hornung R, Paulus AC, Zwissler B, Czerner S. The impact of continuous non-invasive arterial blood pressure monitoring on blood pressure stability during general anaesthesia in orthopaedic patients: a randomised trial. *Eur J Anaesthesiol*. 2017;34(11):716–22. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000690>.
 27. Maheshwari K, Khanna S, Bajracharya GR, Makarova N, Riter Q, Raza S, Cywinski JB, Argaliou M, Kurz A, Sessler DI. A randomized trial of continuous noninvasive blood pressure monitoring during noncardiac surgery. *Anesth Analg*. 2018;127(2):424–31. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000003482>.
 28. Kouz K, Wegge M, Flick M, Bergholz A, Moll-Khosrawi P, Nitzschke R, Trepte CJC, Krause L, Sessler DI, Zollner C, Saugel B. Continuous intra-arterial versus intermittent oscillometric arterial pressure monitoring and hypotension during induction of anaesthesia: the AWAKE randomised trial. *Br J Anaesth*. 2022;129(4):478–86. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.06.027>.
- Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

3 Zusammenfassung

Die Sterblichkeit bei nicht-kardiochirurgischen Operationen beträgt innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage 4%. Postoperative Sterblichkeit ist häufig Folge von postoperativen Komplikationen. Die postoperative Hypotonie ist mit postoperativen Komplikationen assoziiert und ist somit ein potenziell vermeidbarer Risikofaktor für postoperative Komplikationen. Gerade in der frühen postoperativen Phase, während des Aufenthaltes in der PACU, scheint ein erhöhtes Risiko für postoperative Hypotonie zu bestehen. Die Inzidenz, die Dauer und der Schweregrad der postoperativen Hypotonie in der PACU ist jedoch bisher unzureichend untersucht. Ziel dieser Studie war es, die Inzidenz, die Dauer und den Schweregrad der PACU-Hypotonie bei Niedrigrisiko-Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen mithilfe der nicht-invasiven kontinuierlichen Finger-Cuff-Methode zu ermitteln. PACU-Hypotonie wurde als MAD <65 mmHg für mindestens eine zusammenhängende Minute definiert. Der primäre Endpunkt dieser Studie war die Proportion von Patient:innen mit PACU-Hypotonie. Die Quantifizierung der Dauer und des Schweregrades der PACU-Hypotonie erfolgte mithilfe der sekundären Endpunkte, der kumulativen Dauer der PACU-Hypotonie, der Fläche unter einem MAD von 65 mmHg und des zeitgewichteten Durchschnitts für MAD <65 mmHg. Es wurden die Daten von 100 Patient:innen in dieser Studie analysiert. 13% der Patient:innen hatten eine ASA-I-Klassifikation, 73% eine ASA-II-Klassifikation und 14% eine ASA-III-Klassifikation. PACU-Hypotonie trat bei drei (3%) Patient:innen auf. Die Fläche unter einem MAD von 65 mmHg betrug 4, 4 und 2 mmHg x min und der zeitgewichtete Durchschnitt für MAD <65 mmHg 0,5, 0,3 und 0,2 mmHg. Die Inzidenz der PACU-Hypotonie bei Niedrigrisiko-Patient:innen nach nicht-kardiochirurgischen Operationen fiel gering aus und war von moderatem Schweregrad. Die niedrige Inzidenz der PACU-Hypotonie kann durch ein insgesamt geringeres patient:innenspezifisches und operationsspezifisches Risiko in der Studienpopulation erklärt werden. Die Studienergebnisse sind somit nicht auf Patient:innen mit höherem Ausgangsrisiko oder nach Operationen mit höherem Operationsrisiko übertragbar. Weitere Studien sind nötig, um die Inzidenz der PACU-Hypotonie bei Patient:innen mit höherem Ausgangsrisiko und nach Operationen mit höherem Operationsrisiko zu ermitteln.

4 Abstract

The mortality rate within the first 30 days after non-cardiac surgery is 4%. Postoperative mortality is often the consequence of postoperative complications. The postoperative hypotension is associated with postoperative complications. So, postoperative hypotension is a risk factor for postoperative complications which can potentially be avoided. In the first few hours after surgery, while patients stay in PACU, patients might be at greater risk of suffering from postoperative hypotension. However, there is not much knowledge about the incidence, duration and the severity of postoperative hypotension in PACU. The aim of this study was, to investigate the incidence of PACU hypotension in low-risk patients after non-cardiac surgery with the non-invasive continuous finger-cuff method. PACU hypotension was defined as a mean arterial pressure (MAP) <65 mmHg for at least one consecutive minute. The primary outcome of this study was the proportion of patients suffering from PACU hypotension. Secondary outcomes to quantify the duration and the severity of PACU hypotension were the cumulative duration of PACU hypotension, the area under a MAP of 65 mmHg, and the time-weighted average MAP less than 65 mmHg. The data of 100 patients were included in the analysis. 13% of the patients were categorized to ASA physical status I, 73% to ASA physical status II, and 14% to ASA physical status III. In three (3%) patients PACU hypotension was observed. The area under a MAP of 65 mmHg was 4, 4, and 2 mmHg x min. The time-weighted average for MAP <65 mmHg was 0,5, 0,3, and 0,2 mmHg. The incidence of PACU hypotension in low-risk patients after non-cardiac surgery was low and of moderate severity. The low incidence may be explained by low patient-related and surgery-related risk in the study population. These findings are not transferable to patients with higher baseline risk or having surgeries with higher surgery-related risk. There is a need for further studies to investigate the incidence of PACU hypotension in patients with higher baseline risk and recovering from surgeries with higher surgical risk.

5 Literaturverzeichnis

5.1 Fachartikel

- Abbott, T. E. F., R. M. Pearse, R. A. Archbold, T. Ahmad, E. Niebrzegowska, A. Wragg, R. N. Rodseth, P. J. Devereaux, und G. L. Ackland. 2018. 'A Prospective International Multicentre Cohort Study of Intraoperative Heart Rate and Systolic Blood Pressure and Myocardial Injury After Noncardiac Surgery: Results of the VISION Study', *Anesth Analg*, 126: 1936-1945.
- Abebe, M. M., N. R. Arefayne, M. M. Temesgen, und B. A. Admass. 2022. 'Incidence and predictive factors associated with hemodynamic instability among adult surgical patients in the post-anesthesia care unit, 2021: A prospective follow up study', *Ann Med Surg (Lond)*, 74: 103321.
- Ahuja, S., E. J. Mascha, D. Yang, K. Maheshwari, B. Cohen, A. K. Khanna, K. Ruetzler, A. Turan, und D. I. Sessler. 2020. 'Associations of Intraoperative Radial Arterial Systolic, Diastolic, Mean, and Pulse Pressures with Myocardial and Acute Kidney Injury after Noncardiac Surgery: A Retrospective Cohort Analysis', *Anesthesiology*, 132: 291-306.
- Bergholz, A., G. Greiwe, K. Kouz, und B. Saugel. 2023. 'Continuous Blood Pressure Monitoring in Patients Having Surgery: A Narrative Review', *Medicina (Kaunas)*, 59.
- Bijker, J. B., W. A. van Klei, T. H. Kappen, L. van Wolfswinkel, K. G. Moons, und C. J. Kalkman. 2007. 'Incidence of intraoperative hypotension as a function of the chosen definition: literature definitions applied to a retrospective cohort using automated data collection', *Anesthesiology*, 107: 213-220.
- Botto, F., P. Alonso-Coello, M. T. Chan, J. C. Villar, D. Xavier, S. Srinathan, G. Guyatt, P. Cruz, M. Graham, C. Y. Wang, O. Berwanger, R. M. Pearse, B. M. Biccari, V. Abraham, G. Malaga, G. S. Hillis, R. N. Rodseth, D. Cook, C. A. Polanczyk, W. Szczeklik, D. I. Sessler, T. Sheth, G. L. Ackland, M. Leuwer, A. X. Garg, Y. Lemanach, S. Pettit, D. Heels-Ansdell, G. Luratibuse, M. Walsh, R. Sapsford, H. J. Schünemann, A. Kurz, S. Thomas, M. Mrkobrada, L. Thabane, H. Gerstein, P. Paniagua, P. Nagele, P. Raina, S. Yusuf, P. J. Devereaux, P. J. Devereaux, D. I. Sessler, M. Walsh, G. Guyatt, M. J.

McQueen, M. Bhandari, D. Cook, J. Bosch, N. Buckley, S. Yusuf, C. K. Chow, G. S. Hillis, R. Halliwell, S. Li, V. W. Lee, J. Mooney, C. A. Polanczyk, M. V. Furtado, O. Berwanger, E. Suzumura, E. Santucci, K. Leite, J. A. Santo, C. A. Jardim, A. B. Cavalcanti, H. P. Guimaraes, M. J. Jacka, M. Graham, F. McAlister, S. McMurtry, D. Townsend, N. Pannu, S. Bagshaw, A. Bessissow, M. Bhandari, E. Duceppe, J. Eikelboom, J. Ganame, J. Hankinson, S. Hill, S. Jolly, A. Lamy, E. Ling, P. Magloire, G. Pare, D. Reddy, D. Szalay, J. Tittley, J. Weitz, R. Whitlock, S. Darvish-Kazim, J. Debeer, P. Kavsak, C. Kearon, R. Mizera, M. O'Donnell, M. McQueen, J. Pinthus, S. Ribas, M. Simunovic, V. Tandon, T. Vanhelder, M. Winemaker, H. Gerstein, S. McDonald, P. O'Bryne, A. Patel, J. Paul, Z. Punthakee, K. Raymer, O. Salehian, F. Spencer, S. Walter, A. Worster, A. Adili, C. Clase, D. Cook, M. Crowther, J. Douketis, A. Gangji, P. Jackson, W. Lim, P. Lovrics, S. Mazzadi, W. Orovan, J. Rudkowski, M. Soth, M. Tiboni, R. Acedillo, A. Garg, A. Hildebrand, N. Lam, D. Macneil, M. Mrkobrada, P. S. Roshanov, S. K. Srinathan, C. Ramsey, P. S. John, L. Thorlacius, F. S. Siddiqui, H. P. Grocott, A. McKay, T. W. Lee, R. Amadeo, D. Funk, H. McDonald, J. Zacharias, J. C. Villar, O. L. Cortés, M. S. Chaparro, S. Vásquez, A. Castañeda, S. Ferreira, P. Coriat, D. Monneret, J. P. Goarin, C. I. Esteve, C. Royer, G. Daas, M. T. Chan, G. Y. Choi, T. Gin, L. C. Lit, D. Xavier, A. Sigamani, A. Faruqui, R. Dhanpal, S. Almeida, J. Cherian, S. Furruqh, V. Abraham, L. Afzal, P. George, S. Mala, H. Schünemann, P. Muti, E. Vizza, C. Y. Wang, G. S. Ong, M. Mansor, A. S. Tan, Shariffuddin, II, V. Vasanthan, N. H. Hashim, A. W. Undok, U. Ki, H. Y. Lai, W. A. Ahmad, A. H. Razack, G. Malaga, V. Valderrama-Victoria, J. D. Loza-Herrera, M. De Los Angeles Lazo, A. Rotta-Rotta, W. Szczeklik, B. Sokolowska, J. Musial, J. Gorka, P. Iwaszczuk, M. Kozka, M. Chwała, M. Raczek, T. Mrowiecki, B. Kaczmarek, B. Biccand, H. Cassimjee, D. Gopalan, T. Kisten, A. Mugabi, P. Naidoo, R. Naidoo, R. Rodseth, D. Skinner, A. Torborg, P. Paniagua, G. Urrutia, M. L. Maestre, M. Santaló, R. Gonzalez, A. Font, C. Martínez, X. Pelaez, M. De Antonio, J. M. Villamor, J. A. García, M. J. Ferré, E. Popova, P. Alonso-Coello, I. Garutti, P. Cruz, C. Fernández, M. Palencia, S. Díaz, T. Del Castillo, A. Varela, A. de Miguel, M. Muñoz, P. Piñeiro, G. Cusati, M. Del Barrio, M. J. Membrillo, D. Orozco, F. Reyes, R. J. Sapsford, J. Barth, J. Scott, A. Hall, S. Howell, M. Lobley, J. Woods, S.

- Howard, J. Fletcher, N. Dewhurst, C. Williams, A. Rushton, I. Welters, M. Leuwer, R. Pearse, G. Ackland, A. Khan, E. Niebrzegowska, S. Benton, A. Wragg, A. Archbold, A. Smith, E. McAlees, C. Ramballi, N. Macdonald, M. Januszewska, R. Stephens, A. Reyes, L. G. Paredes, P. Sultan, D. Cain, J. Whittle, A. G. Del Arroyo, D. I. Sessler, A. Kurz, Z. Sun, P. S. Finnegan, C. Egan, H. Honar, A. Shahinyan, K. Panjasawatwong, A. Y. Fu, S. Wang, E. Reineks, P. Nagele, J. Blood, M. Kalin, D. Gibson, und T. Wildes. 2014. 'Myocardial injury after noncardiac surgery: a large, international, prospective cohort study establishing diagnostic criteria, characteristics, predictors, and 30-day outcomes', *Anesthesiology*, 120: 564-578.
- Chandrasekhar, A., M. Yavarimanesh, J. O. Hahn, S. H. Sung, C. H. Chen, H. M. Cheng, und R. Mukkamala. 2019. 'Formulas to Explain Popular Oscillometric Blood Pressure Estimation Algorithms', *Front Physiol*, 10: 1415.
- Cheung, C. C., A. Martyn, N. Campbell, S. Frost, K. Gilbert, F. Michota, D. Seal, W. Ghali, und N. A. Khan. 2015. 'Predictors of intraoperative hypotension and bradycardia', *Am J Med*, 128: 532-538.
- Devereaux, P. J., H. Yang, S. Yusuf, G. Guyatt, K. Leslie, J. C. Villar, D. Xavier, S. Chrolavicius, L. Greenspan, J. Pogue, P. Pais, L. Liu, S. Xu, G. Málaga, A. Avezum, M. Chan, V. M. Montori, M. Jacka, und P. Choi. 2008. 'Effects of extended-release metoprolol succinate in patients undergoing non-cardiac surgery (POISE trial): a randomised controlled trial', *Lancet*, 371: 1839-1847.
- Devereaux, P. J., und D. I. Sessler. 2015. 'Cardiac Complications in Patients Undergoing Major Noncardiac Surgery', *N Engl J Med*, 373: 2258-2269.
- Drzewiecki, G., R. Hood, und H. Apple. 1994. 'Theory of the oscillometric maximum and the systolic and diastolic detection ratios', *Ann Biomed Eng*, 22: 88-96.
- Flick, M., A. Lohr, F. Weidemann, A. Naebian, P. Hoppe, K. K. Thomsen, L. Krause, K. Kouz, und B. Saugel. 2024. 'Post-anesthesia care unit hypotension in low-risk patients recovering from non-cardiac surgery: a prospective observational study', *J Clin Monit Comput*, 38: 1331-1336.

- Ford, M. K., W. S. Beattie, und D. N. Wijeyesundera. 2010. 'Systematic review: prediction of perioperative cardiac complications and mortality by the revised cardiac risk index', *Ann Intern Med*, 152: 26-35.
- Fortin, J., W. Marte, R. Grullenberger, A. Hacker, W. Habenbacher, A. Heller, Ch Wagner, P. Wach, und F. Skrabal. 2006. 'Continuous non-invasive blood pressure monitoring using concentrically interlocking control loops', *Comput Biol Med*, 36: 941-957.
- Futier, E., J. Y. Lefrant, P. G. Guinot, T. Godet, E. Lorne, P. Cuvillon, S. Bertran, M. Leone, B. Pastene, V. Piriou, S. Molliex, J. Albanese, J. M. Julia, B. Tavernier, E. Imhoff, J. E. Bazin, J. M. Constantin, B. Pereira, S. Jaber, und Inpress Study Group. 2017. 'Effect of Individualized vs Standard Blood Pressure Management Strategies on Postoperative Organ Dysfunction Among High-Risk Patients Undergoing Major Surgery: A Randomized Clinical Trial', *Jama*, 318: 1346-1357.
- Gizdulich, P., A. Prentza, und K. H. Wesseling. 1997. 'Models of brachial to finger pulse wave distortion and pressure decrement', *Cardiovasc Res*, 33: 698-705.
- Guelen, I., B. E. Westerhof, G. L. van der Sar, G. A. van Montfrans, F. Kiemeneij, K. H. Wesseling, und W. J. Bos. 2008. 'Validation of brachial artery pressure reconstruction from finger arterial pressure', *J Hypertens*, 26: 1321-1327.
- Haahr-Raunkjaer, C., J. Molgaard, M. Elvekjaer, S. M. Rasmussen, M. P. Achiam, L. N. Jorgensen, M. I. V. Sogaard, K. K. Gronbaek, A. B. Oxboll, H. B. D. Sorensen, C. S. Meyhoff, und E. K. Aasvang. 2022. 'Continuous monitoring of vital sign abnormalities; association to clinical complications in 500 postoperative patients', *Acta Anaesthesiol Scand*, 66: 552-562.
- King, C. E., A. Kermodé, G. Saxena, P. Carvelli, M. Edwards, und B. C. Creagh-Brown. 2021. 'Postoperative continuous non-invasive cardiac output monitoring on the ward: a feasibility study', *J Clin Monit Comput*, 35: 1349-1356.

- Kouz, K., F. Weidemann, A. Naebian, A. Lohr, A. Bergholz, K. K. Thomsen, L. Krause, M. Petzoldt, P. Moll-Khosrawi, D. I. Sessler, M. Flick, und B. Saugel. 2023. 'Continuous Finger-cuff versus Intermittent Oscillometric Arterial Pressure Monitoring and Hypotension during Induction of Anesthesia and Noncardiac Surgery: The DETECT Randomized Trial', *Anesthesiology*, 139: 298-308.
- Liem, V. G. B., S. E. Hoeks, Khjm Mol, J. W. Potters, F. Grune, R. J. Stolker, und F. van Lier. 2020. 'Postoperative Hypotension after Noncardiac Surgery and the Association with Myocardial Injury', *Anesthesiology*, 133: 510-522.
- Maheshwari, K., S. Khanna, G. R. Bajracharya, N. Makarova, Q. Riter, S. Raza, J. B. Cywinski, M. Argalious, A. Kurz, und D. I. Sessler. 2018. 'A Randomized Trial of Continuous Noninvasive Blood Pressure Monitoring During Noncardiac Surgery', *Anesth Analg*, 127: 424-431.
- Martina, J. R., B. E. Westerhof, J. van Goudoever, E. M. de Beaumont, J. Truijen, Y. S. Kim, R. V. Immink, D. A. Jöbsis, M. W. Hollmann, J. R. Lahpor, B. A. de Mol, und J. J. van Lieshout. 2012. 'Noninvasive continuous arterial blood pressure monitoring with Nexfin®', *Anesthesiology*, 116: 1092-1103.
- Mathis, M. R., B. I. Naik, R. E. Freundlich, A. M. Shanks, M. Heung, M. Kim, M. L. Burns, D. A. Colquhoun, G. Rangrass, A. Janda, M. C. Engoren, L. Saager, K. K. Tremper, S. Kheterpal, M. F. Aziz, T. Coffman, M. E. Durieux, W. J. Levy, R. B. Schonberger, R. Soto, J. Wilczak, M. F. Berman, J. Berris, D. A. Biggs, P. Coles, R. M. Craft, K. C. Cummings, T. A. Ellis, 2nd, P. M. Fleishut, D. L. Helsten, L. C. Jameson, W. A. van Klei, F. Kooij, J. LaGorio, S. Lins, S. A. Miller, S. Molina, B. Nair, W. C. Paganelli, W. Peterson, S. Tom, J. P. Wanderer, und C. Wedeven. 2020. 'Preoperative Risk and the Association between Hypotension and Postoperative Acute Kidney Injury', *Anesthesiology*, 132: 461-475.
- Meidert, A. S., J. Briegel, und B. Saugel. 2019. '[Principles and pitfalls of arterial blood pressure measurement]', *Anaesthetist*, 68: 637-650.
- Meidert, A. S., M. E. Dolch, K. Muhlbauer, B. Zwissler, M. Klein, J. Briegel, und S. Czerner. 2021. 'Oscillometric versus invasive blood pressure measurement

in patients with shock: a prospective observational study in the emergency department', *J Clin Monit Comput*, 35: 387-393.

Mulier, J. P., P. F. Wouters, H. Van Aken, G. Vermaut, und E. Vandermeersch. 1991. 'Cardiodynamic effects of propofol in comparison with thiopental: assessment with a transesophageal echocardiographic approach', *Anesth Analg*, 72: 28-35.

Newcombe, R. G. 1998. 'Two-sided confidence intervals for the single proportion: comparison of seven methods', *Stat Med*, 17: 857-872.

Nishikawa, K., N. Kanaya, M. Kawamata, und A. Namiki. 2004. 'Left ventricular mechanical performance in elderly patients after induction of anaesthesia. A comparison of inhalational induction with sevoflurane and intravenous induction with fentanyl and propofol', *Anaesthesia*, 59: 948-953.

Nowak, R. M., A. Sen, A. J. Garcia, H. Wilkie, J. J. Yang, M. R. Nowak, und M. L. Moyer. 2011. 'Noninvasive continuous or intermittent blood pressure and heart rate patient monitoring in the ED', *Am J Emerg Med*, 29: 782-789.

Palla, K., S. L. Hyland, K. Posner, P. Ghosh, B. Nair, M. Bristow, Y. Paleva, B. Williams, C. Fong, W. Van Cleve, D. R. Long, R. Pauldine, K. O'Hara, K. Takeda, und M. S. Vavilala. 2022. 'Intraoperative prediction of postanaesthesia care unit hypotension', *Br J Anaesth*, 128: 623-635.

Pearse, R. M., R. P. Moreno, P. Bauer, P. Pelosi, P. Metnitz, C. Spies, B. Vallet, J. L. Vincent, A. Hoefft, und A. Rhodes. 2012. 'Mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study', *Lancet*, 380: 1059-1065.

Rogge, D. E., J. Y. Nicklas, G. Schon, O. Grothe, S. A. Haas, D. A. Reuter, und B. Saugel. 2019. 'Continuous Noninvasive Arterial Pressure Monitoring in Obese Patients During Bariatric Surgery: An Evaluation of the Vascular Unloading Technique (Clearsight system)', *Anesth Analg*, 128: 477-483.

Rose, D. K., M. M. Cohen, und D. P. DeBoer. 1996. 'Cardiovascular events in the postanesthesia care unit: contribution of risk factors', *Anesthesiology*, 84: 772-781.

- Roshanov, P. S., B. Rochweg, A. Patel, O. Salehian, E. Duceppe, E. P. Belley-Cote, G. H. Guyatt, D. I. Sessler, Y. Le Manach, F. K. Borges, V. Tandon, A. Worster, A. Thompson, M. Koshy, B. Devereaux, F. A. Spencer, R. D. Sanders, E. N. Sloan, E. E. Morley, J. Paul, K. E. Raymer, Z. Punthakee, and P. J. Devereaux. 2017. 'Withholding versus Continuing Angiotensin-converting Enzyme Inhibitors or Angiotensin II Receptor Blockers before Noncardiac Surgery: An Analysis of the Vascular events In noncardiac Surgery patients cOhort evaluationN Prospective Cohort', *Anesthesiology*, 126: 16-27.
- Saab, R., B. P. Wu, E. Rivas, A. Chiu, S. Lozovoskiy, C. Ma, D. Yang, A. Turan, and D. I. Sessler. 2021. 'Failure to detect ward hypoxaemia and hypotension: contributions of insufficient assessment frequency and patient arousal during nursing assessments', *Br J Anaesth*, 127: 760-768.
- Sabaté, S., A. Mases, N. Guilera, J. Canet, J. Castillo, C. Orrego, A. Sabaté, G. Fita, F. Parramón, P. Paniagua, A. Rodríguez, and M. Sabaté. 2011. 'Incidence and predictors of major perioperative adverse cardiac and cerebrovascular events in non-cardiac surgery', *Br J Anaesth*, 107: 879-890.f
- Saugel, B., P. Hoppe, J. Y. Nicklas, K. Kouz, A. Körner, J. C. Hempel, J. J. Vos, G. Schön, and T. W. L. Scheeren. 2020. 'Continuous noninvasive pulse wave analysis using finger cuff technologies for arterial blood pressure and cardiac output monitoring in perioperative and intensive care medicine: a systematic review and meta-analysis', *Br J Anaesth*, 125: 25-37.
- Saugel, B., and D. I. Sessler. 2021. 'Perioperative Blood Pressure Management', *Anesthesiology*, 134: 250-261.
- Schumann, R., A. S. Meidert, I. Bonney, C. Koutentis, W. Wesselink, K. Kouz, and B. Saugel. 2021. 'Intraoperative Blood Pressure Monitoring in Obese Patients', *Anesthesiology*, 134: 179-188.
- Sessler, D. I., C. S. Meyhoff, N. M. Zimmerman, G. Mao, K. Leslie, S. M. Vásquez, P. Balaji, J. Alvarez-Garcia, A. B. Cavalcanti, J. L. Parlow, P. V. Rahate, M. D. Seeberger, B. Gossetti, S. A. Walker, R. K. Premchand, R. M. Dahl, E. Duceppe, R. Rodseth, F. Botto, and P. J. Devereaux. 2018. 'Period-

dependent Associations between Hypotension during and for Four Days after Noncardiac Surgery and a Composite of Myocardial Infarction and Death: A Substudy of the POISE-2 Trial', *Anesthesiology*, 128: 317-327.

Sessler, D. I., J. A. Bloomstone, S. Aronson, C. Berry, T. J. Gan, J. A. Kellum, J. Plumb, M. G. Mythen, M. P. W. Grocott, M. R. Edwards, T. E. Miller, workgroup Perioperative Quality Initiative, Poqi chairs, T. E. Miller, M. G. Mythen, M. P. Grocott, M. R. Edwards, group Physiology, group Preoperative blood pressure, group Intraoperative blood pressure, und group Postoperative blood pressure. 2019. 'Perioperative Quality Initiative consensus statement on intraoperative blood pressure, risk and outcomes for elective surgery', *Br J Anaesth*, 122: 563-574.

Shimada, T., X. Pu, E. Kutlu Yalcin, B. Cohen, M. Bravo, E. J. Mascha, D. I. Sessler, und A. Turan. 2023. 'Association between postoperative hypotension and acute kidney injury after noncardiac surgery: a historical cohort analysis', *Can J Anaesth*.

Spence, J., Y. LeManach, M. T. V. Chan, C. Y. Wang, A. Sigamani, D. Xavier, R. Pearse, P. Alonso-Coello, I. Garutti, S. K. Srinathan, E. Duceppe, M. Walsh, F. K. Borges, G. Malaga, V. Abraham, A. Faruqui, O. Berwanger, B. M. Biccard, J. C. Villar, D. I. Sessler, A. Kurz, C. K. Chow, C. A. Polanczyk, W. Szczeklik, G. Ackland, G. A. X, M. Jacka, G. H. Guyatt, R. J. Sapsford, C. Williams, O. L. Cortes, P. Coriat, A. Patel, M. Tiboni, E. P. Belley-Côté, S. Yang, D. Heels-Ansdell, M. McGillion, S. Parlow, M. Patel, S. Pettit, S. Yusuf, und P. J. Devereaux. 2019. 'Association between complications and death within 30 days after noncardiac surgery', *Cmaj*, 191: E830-e837.

Turan, A., C. Chang, B. Cohen, W. Saasouh, H. Essber, D. Yang, C. Ma, K. Hovsepyan, A. K. Khanna, J. Vitale, A. Shah, K. Ruetzler, K. Maheshwari, und D. I. Sessler. 2019. 'Incidence, Severity, and Detection of Blood Pressure Perturbations after Abdominal Surgery: A Prospective Blinded Observational Study', *Anesthesiology*, 130: 550-559.

Vos, J. J., M. Poterman, E. A. Mooyaart, M. Weening, M. M. Struys, T. W. Scheeren, und A. F. Kalmar. 2014. 'Comparison of continuous non-invasive finger

arterial pressure monitoring with conventional intermittent automated arm arterial pressure measurement in patients under general anaesthesia', *Br J Anaesth*, 113: 67-74.

Wagner, J. Y., J. S. Prantner, A. S. Meidert, A. Hapfelmeier, R. M. Schmid, und B. Saugel. 2014. 'Noninvasive continuous versus intermittent arterial pressure monitoring: evaluation of the vascular unloading technique (CNAP device) in the emergency department', *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 22: 8.

Walsh, M., P. J. Devereaux, A. X. Garg, A. Kurz, A. Turan, R. N. Rodseth, J. Cywinski, L. Thabane, und D. I. Sessler. 2013. 'Relationship between intraoperative mean arterial pressure and clinical outcomes after noncardiac surgery: toward an empirical definition of hypotension', *Anesthesiology*, 119: 507-515.

Wax, D. B., H. M. Lin, und A. B. Leibowitz. 2011. 'Invasive and concomitant noninvasive intraoperative blood pressure monitoring: observed differences in measurements and associated therapeutic interventions', *Anesthesiology*, 115: 973-978.

Weiser, T. G., A. B. Haynes, G. Molina, S. R. Lipsitz, M. M. Esquivel, T. Uribe-Leitz, R. Fu, T. Azad, T. E. Chao, W. R. Berry, und A. A. Gawande. 2015. 'Estimate of the global volume of surgery in 2012: an assessment supporting improved health outcomes', *Lancet*, 385 Suppl 2: S11.

Wesseling, K.H., B. de Wit, G. M. A. van der Hoeven, J. van Goudoever, und J. J. Settels. 1995. 'Physiocal, calibrating finger vascular physiology for finapres', *Homeostasis in Health and Disease*, 36: 67-82.

Wesselink, E. M., T. H. Kappen, H. M. Torn, A. J. C. Slooter, und W. A. van Klei. 2018. 'Intraoperative hypotension and the risk of postoperative adverse outcomes: a systematic review', *Br J Anaesth*, 121: 706-721.

Wijnberge, M., J. Schenk, E. Bulle, A. P. Vlaar, K. Maheshwari, M. W. Hollmann, J. M. Binnekade, B. F. Geerts, und D. P. Veelo. 2021. 'Association of intraoperative hypotension with postoperative morbidity and mortality: systematic review and meta-analysis', *BJS Open*, 5.

Yang, S. S., C. Gelinas, E. Yim, M. M. J. Li, K. Kardash, M. Zhang, und J. Lipes. 2022. 'Association of intraoperative dexmedetomidine use with postoperative hypotension in unilateral hip and knee arthroplasties: a historical cohort study', *Can J Anaesth*, 69: 1459-1470.

5.2 Internetquellen

Edwards-Lifesciences-Corporation. 2021. "HemoSphere Advanced Monitor Operator's manual (Version 5.1)." In. [Online im Internet] URL: <https://eifu.edwards.com/eifu/pages/viewers/pdf?projectKey=5970f1b346e0fb00015e5f4d&itemKey=60941fa1a1aee500013ebb94> [Stand: 25.05.2025, 17:51 Uhr].

6 Abkürzungsverzeichnis

ASA	– American Society of Anesthesiologists Physical Status
AUC	– Area Under the Curve (Fläche unter der Kurve)
MAD	– mittlerer arterieller Druck
MAP	– mean arterial pressure (mittlerer arterieller Druck)
PACU	– Post-Anesthesia Care Unit (Aufwachraum)
TWA	– Time-Weighted Average (zeitgewichteter Durchschnitt)

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Patient:innen-Flussdiagramm	11
Abbildung 2: Anzahl der Patient:innen in der PACU mit einem MAD für mindestens 1 zusammenhängende Minute unter dem jeweiligen Grenzwert (Balken) und die individuelle kumulative Dauer, die der MAD unterhalb des Grenzwertes war (Punkte)	12
Abbildung 3: Boxplots zur TWA, AUC und kumulativen Dauer der PACU-Hypotonie definiert mit den MAD-Grenzwerten 65 mmHg, 70 mmHg und 80 mmHg.....	14

8 Erklärung des Eigen- und Fremdanteils

Eigenanteil:

- Literaturrecherche und Auswertung
- Erlernen der korrekten Durchführung der Blutdruckmessung mittels Finger-Cuff-Methode sowie relevanter vermeidbarer Fehlerquellen
- Screening nach potenziellen Studienteilnehmer:innen für DETECT
- Eigenständige Durchführung präoperativer Blutdruckmessung mittels automatischer Oszillometrie bei den Studienteilnehmer:innen
- Eigenständige Durchführung der kontinuierlichen Blutdruckmessungen unter Berücksichtigung der Randomisierung für DETECT
- Korrekte Durchführung der Verblindung des behandelnden Klinik-Personals je nach Randomisierung für DETECT
- Eigenständige Dokumentation prä-, intra- und postoperativ relevanter Daten (z.B. Liste gescreenter Patient:innen, Messbeginn sowie -ende, korrekte Medikamentendosen, Zeitpunkte artifizierlicher Messwerte)
- Aufbereitung der Messwerte und Daten zur statistischen Auswertung
- Mitarbeit bei der statistischen Auswertung
- Erstellung von Abbildungen für die Originalpublikation
- Mitarbeit und Korrektur des Manuskripts

Anteil der Co-Autor:innen:

- Erstellung und Korrektur des Ethikantrags
- Aufklärung der Studienteilnehmer:innen
- Mitarbeit beim Screening, Durchführung der Messungen und Dokumentation
- Mitarbeit bei der statistischen Auswertung
- Mitarbeit bei der Erstellung der Abbildung in der Originalpublikation
- Erstellung und Korrektur des Manuskripts

9 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.

Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Datum

Unterschrift

10 Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei Herrn Prof. Dr. Christian Zöllner bedanken. Danke, dass Sie es mir ermöglicht haben am Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf meine Promotionsarbeit durchführen zu dürfen.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Bernd Christopher Saugel für die gute Betreuung und Zusammenarbeit bedanken. Danke dafür, dass Sie mir die Welt des wissenschaftlichen Arbeitens gezeigt und mich jederzeit unterstützt und motiviert haben.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dr. Moritz Flick für die sehr gute Zusammenarbeit und Einarbeitung bedanken. Danke, dass Sie mir immer mit gutem Rat bei etlichen Problemen und Fragen zur Seite standen. Und Danke, für Ihre Zeit, die Sie in mich und unsere zahlreichen konstruktiven Gesprächen investierten.

Mein Dank gilt außerdem allen Co-Autor:innen, ohne die die Originalpublikation nicht möglich gewesen wäre.

Zum Schluss möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Eltern und Großeltern, bedanken. Ohne euren Glauben an mich und eure Unterstützung wäre diese Promotionsarbeit nicht zustande gekommen.