

# **Der Einfluss hämodynamischer Parameter auf die zerebrale Sauerstoffsättigung bei Operationen in sitzender Lagerung und Trendelenburg-Position**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. med.)

der Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

**Anna von Bargaen, geb. Schliwa**

aus Achim Lkrs. Verden

2026

Angefertigt mit der Genehmigung  
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

- 1. Gutachter: Prof. Dr. Martin Söhle
- 2. Gutachter: Prof. Dr. Sebastian Zimmer

Tag der mündlichen Prüfung: 13.01.2026

Aus der Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1 Relevanz .....	7
1.2 Stand der Forschung .....	7
1.3 Ziel der Arbeit.....	9
<b>2. Material und Methoden.....</b>	<b>11</b>
2.1 Ethikvotum .....	11
2.2 Studienpopulation .....	11
2.3 Medizinische Geräte und Instrumente zur Datenerhebung.....	12
2.3.1 Nahinfrarotspektroskopie (NIRS).....	13
2.3.2 Erweitertes hämodynamisches Monitoring .....	17
2.3.3 Prozessiertes EEG-Monitoring .....	18
2.3.4 Dräger Patientenmonitor .....	20
2.3.5 CNS (Component neuromonitoring System) Monitor®.....	20
2.3.6 6-item-screening Test.....	21
2.4 Studienablauf / Datenerhebung / Protokoll.....	21
2.5 Messungen in Trendelenburgposition (HDT) .....	23
2.6 Messungen in Beach-Chair-Position (BC).....	23
2.7 Datenerhebung und Auswertung .....	23
2.8 Statistische Auswertung.....	24
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>25</b>
3.1 Beach Chair-Gruppe .....	27
3.2 Trendelenburg-Gruppe.....	28
3.3 Gegenüberstellung von BC vs HDT .....	29

<b>4. Diskussion</b>	34
4.1 Beach Chair-Position	34
4.2 Head-Down-Tilt-Position	35
4.3 Gegenüberstellung der Studiengruppen	36
4.4 Mögliche Erklärungen für divergierende Ergebnisse	37
4.5 Einfluss der Anästhesie auf die Studienergebnisse	38
4.6 Postoperative neurologische Beeinträchtigung	38
4.7 Limitationen der Studie	38
4.8 Perspektiven für weiterführende Forschung	39
<b>5. Zusammenfassung</b>	41
<b>6. Abbildungsverzeichnis</b>	42
<b>7. Tabellenverzeichnis</b>	43
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	44
<b>9. Erklärung zum Eigenanteil</b>	48
<b>10. Veröffentlichung</b>	49
<b>11. Danksagung</b>	50

## Abkürzungsverzeichnis

ASA-Klassifikation.....	American Society of Anesthesiologists-Klassifikation
BC .....	beach chair (Strandstuhl)
BIS .....	Bispektraler Index
CBF .....	cerebral blood flow (zerebraler Blutfluss)
CBV.....	cerebral blood volume (zerebrales Blutvolumen)
CI .....	cardiac index (Herzindex)
cm .....	centimeter (Zentimeter)
CNS .....	component neuromonitoring System
CPP.....	cerebral perfusion pressure (zerebraler Perfusionsdruck)
EEG .....	Elektroencephalogramm
EKG .....	Elektrokardiographie
EMG.....	Elektromyogramm
ggf .....	gegebenenfalls
Hb .....	Hämoglobin
Hbdeoxy.....	deoxygeniertes Hämoglobin
Hboxy.....	oxygeniertes Hämoglobin
HDT.....	head down tilt (Trendelenburgposition)
HZV.....	Herzzeitvolumen
ICG.....	Indocyanidgrün
ICP.....	intracranial pressure (intrakranieller Druck)
kg .....	Kilogramm
KG.....	Körpergewicht
MAP .....	mean arterial pressure (mittlerer arterieller Druck)
mg .....	Milligramm
MMSE .....	Mini-Mental-State-Examination
mtt.....	mean-transit-time (mittlere Durchgangszeit)
NIRS .....	near infrared spectroscopy (Nahinfrarotspektroskopie)
pCO <sub>2</sub> .....	Kohlendioxidpartialdruck
PP .....	pulse pressure amplitude (Pulsdruckamplitude)

SbtO <sub>2</sub> .....	brain tissue oxygen saturation (zerebrale Sauerstoffsättigung)
Schulter TEP .....	Schulter-Totalendoprothese
ScvO <sub>2</sub> .....	central venous oxygen saturation (zentralvenöse Sauerstoffsättigung)
SV .....	Schlagvolumen
SVV .....	Schlagvolumenvariation
TCD .....	transcranial doppler ultrasound (transkranieller Doppler)
TIVA .....	totale intravenöse Anästhesie
ZVD .....	zentraler Venendruck

# 1. Einleitung

## 1.1 Relevanz

Für einige Operationen ist es erforderlich Patient:innen in extremen Positionen zu lagern um einen besseren operativen Zugang zum OP-Gebiet zu ermöglichen. Insbesondere Lagerungen, bei denen der Kopf auf ein tieferes (Trendelenburgposition, im folgenden HDT (head down tilt)) oder höheres (Beach Chair (Strandstuhl), im folgenden BC) Niveau gebracht wird, sind mit hämodynamischen und zerebralen zirkulatorischen Risiken verbunden (Zeuzem-Lampert et al., 2019).

Da bis jetzt die Zusammenhänge zwischen Blutdruck, Herzzeitvolumen und zerebraler Perfusion nicht abschließend geklärt sind, bietet eine genaue Erfassung dieser Parameter während Operationen in extremen Positionen eine Möglichkeit die Determinanten der Hirnperfusion genauer zu verstehen.

## 1.2 Stand der Forschung

Bis zum jetzigen Zeitpunkt existiert keine einfache Methode die Integrität der zerebralen Autoregulation zu quantifizieren (Sperna Weiland et al., 2017). Auch ist die Physiologie und Pathophysiologie dieses Mechanismus immer noch nicht vollständig erklärbar (Grune und Klimek, 2017).

Erstmals beschrieben Larsen und Lassen (Lassen, 1959) den Zusammenhang zwischen zerebralen Blutfluss und dem mittleren arteriellen Druck (MAP) in Form einer Autoregulationskurve. Hier wurde beschrieben, dass die zerebrale Perfusion weitestgehend konstant bleibt, solange der MAP zwischen 60-150 mmHg liegt.

So gehen Greene und Lee (Greene und Lee, 2012) davon aus, dass die zerebrale Autoregulation einen konstanten zerebralen Blutfluss (CBF) ermöglicht, während sich die zerebralen Perfusionsdrücke (CPP) durch schwankende Blutdruckwerte kontinuierlich ändern.

Ist die zerebrale Autoregulation gestört, folgt der zerebrale Blutfluss passiv dem zerebralen Perfusionsdruck. Außerhalb des Autoregulationsbereichs (Plateau) kommt es bei zu geringem Perfusionsdruck ( $<50$  mmHg) zu einer Hypoperfusion und bei zu hohem Perfusionsdruck ( $>150$  mmHg) zu einer Hyperämie mit dem hieraus folgenden Risiko eines Hirnödems (Azevedo und Castro, 2016).

Schwankende Blutdruckwerte entstehen durch interne und externe Einflüsse wie zum Beispiel Narkoseinduktion, Lagerungsmaßnahmen und intravasale Volumenänderung (Zeuzem-Lampert et al., 2019). Zusätzlich gibt es einige Prädiktoren, welche mit einer gestörten zerebralen Autoregulation einhergehen können. Hierunter fallen Erkrankungen wie arterielle Hypertonie (Immink et al., 2004), Diabetes mellitus (Mankovsky et al., 2003), Anämie (Greene und Lee, 2012) und zerebrale Ischämien (Paulson et al., 1990).

Lange Zeit wurde angenommen, dass das untere Ende des autoregulierten Bereiches etwa bei 50 mmHg liegt und das obere Ende bei 150 mmHg, doch konnte gezeigt werden, dass diese Grenzen interindividuell sehr variabel sind (Joshi et al., 2012). So ist womöglich das „Autoregulationsplateau“ kleiner als gedacht und es bestehen interindividuelle Grenzwertbereiche. Infolge können entsprechend auch nur geringfügige Blutdruckschwankungen sich auf die zerebrale Perfusion auswirken (Brassard et al., 2021).

Umso wichtiger ist demzufolge die zerebrale Perfusion unter Narkose in Extrempositionen aufrechtzuerhalten.

Bisherige Studien konnten zeigen, dass eine sitzende Lagerung mit zerebralen Sauerstoffsättigungsabfällen einhergehen kann und dass die zerebrale Autoregulation in sitzender Lagerung eingeschränkt ist (Laflam et al., 2015; Moerman et al., 2012). Gleichzeitig wird durch die positionsbedingte zunehmende Schwerkraft der venöse Rückstrom zum Herzen verringert. Ebenfalls beeinflusst die Narkose die sympathisch-baroreflektorisch vermittelte Vasokonstriktion und adaptive Herzfrequenzsteigerung, was zusätzlich zu einer kompromittierten zerebralen Perfusion führen kann (Larsen et al., 2014). Jedoch zeigen ebenfalls Studien, dass intraoperative zerebrale Sauerstoffsättigungsabfälle während sitzenden Operationen nicht zwangsläufig zu



postoperativen kognitiven Beeinträchtigung führen müssen (Laflam et al., 2015; Moerman et al., 2016; Moerman et al., 2012).

Für die Trendelenburgposition (HDT) hinsichtlich der zerebralen Sauerstoffsättigung ist die Studienlage divergent. Zum einen wird über eine unveränderte zerebrale Perfusion mit sogar erhöhter zerebraler Sauerstoffsättigung berichtet (Kalmar et al., 2012; Park et al., 2009), zum anderen beschreiben Lahaye et al. einen zerebralen Sauerstoffsättigungsabfall, welcher sich in neutraler Position wieder aufhebt (Lahaye et al., 2015). Es wird sogar von der Entstehung einer intrakraniellen Hypertension in Trendelenburg Position berichtet (Robba et al., 2016).

Ebenfalls scheint mit steigendem Alter die Gefahr der zerebralen Sauerstoffsättigungsabfälle bei Operationen in Trendelenburgposition zuzunehmen, genauso wie die vorübergehende kognitive postoperative Beeinträchtigung (Casati et al., 2007; Ozgun et al., 2017).

In der Regel werden Operationen, welche eine Trendelenburgposition erfordern laparoskopisch durchgeführt. Der erhöhte intraabdominelle Druck durch die CO<sub>2</sub>-Insufflation in das Abdomen, als auch die Lagerung, bringen zusätzliche Herausforderungen für die zerebrale und kardiovaskuläre Zirkulation mit sich. In einzelnen Fällen kam es durch einen erhöhten intrazerebralen Druck mit konsekutiv kompromittiertem zerebralen Blutfluss zu einem verzögerten Aufwachverhalten (Maerz et al., 2017).

### 1.3 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es Einflussfaktoren auf die zerebrale Autoregulation zu identifizieren. Hierfür werden verschiedene global erfasste hämodynamische Parameter mit der zerebralen Sauerstoffversorgung und Perfusion vor, während und nach der Einnahme der Extremposition in Korrelation gesetzt. Mögliche kompromittierte zerebrale Oxygenierungsereignisse gilt es zu visualisieren, zu quantifizieren und rückschließend eventuelle Prädiktoren zu erkennen.

Durch die Erkenntnisse unserer Arbeit erwarten wir eine Verbesserung der Narkoseführung mithilfe der intraoperativ genutzten Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)-Überwachung. Hierdurch können kritische Situationen schneller erkannt und somit das Risiko für neurologische Komplikationen minimiert werden.

Unsere These, dass die zerebrale Perfusion aufgrund des verminderten arteriellen Druckes in BC-Position verringert ist und in HDT erhöht ist, gilt es zu bestätigen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Ethikvotum

Die prospektive Observationsstudie ist auf Grundlage der revidierten Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes (1983) und den entsprechenden gesetzlichen Grundlagen durchgeführt worden.

Die hiesig ansässige Ethikkommission hatte hinsichtlich der Durchführung keine ethischen Bedenken. Das positive Ethikvotum ist unter der laufenden Nummer 027/19 zu finden. Die Studie ist im German Clinical Trials Register unter der Nummer DRKS00024504 eingetragen.

### 2.2 Studienpopulation

Insgesamt schlossen wir 44 Patient:innen ein, wobei wir ein Verhältnis von der BC-Gruppe zur HDT-Gruppe von 1:2 anstrebten. Das Verhältnis wählten wir, um in beiden Gruppen zu signifikanten Ergebnissen zu kommen, da wir annahmen, dass die BC-Position einen größeren Einfluss auf die zerebrale Perfusion hat als die HDT-Position.

Eingeschlossen wurden Patient:innen  $\geq 18$  Jahre, mit einer ASA-Klassifikation I-III, die eine Allgemein- oder Kombinationsanästhesie (Regional- und Allgemeinanästhesie) für eine Operation in sitzender oder Trendelenburgposition erhalten haben.

Hierbei schlossen wir vor allem Patient:innen ein, welche eine roboterassistierte radikale Prostatektomie, eine roboterassistierte Hysterektomie oder eine Schulteroperation bekommen haben.

Vor Inklusion in die Studie erfolgte im Rahmen des Narkoseaufklärungsgesprächs eine detaillierte Aufklärung und eine schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Patient:innen welche notfallmäßig operiert werden mussten, schwangere Patientinnen, Patient:innen mit präoperativer hämodynamischer Instabilität (MAP  $< 55$  mmHg über  $> 30$ min) und Patient:innen mit

Störungen des zentralen Nervensystems (schwere Demenz, Tumoren, anamnestisch zerebrale Ischämien und Traumata inbegriffen).

### 2.3 Medizinische Geräte und Instrumente zur Datenerhebung

Zur kontinuierlichen Erfassung der zerebralen Sauerstoffsättigung, des zerebralen Blutflusses, als auch von hämodynamischen Parametern, wurden mehrere medizinische Geräte eingesetzt. Die Erfassung der Parameter erfolgte über die gesamte OP.

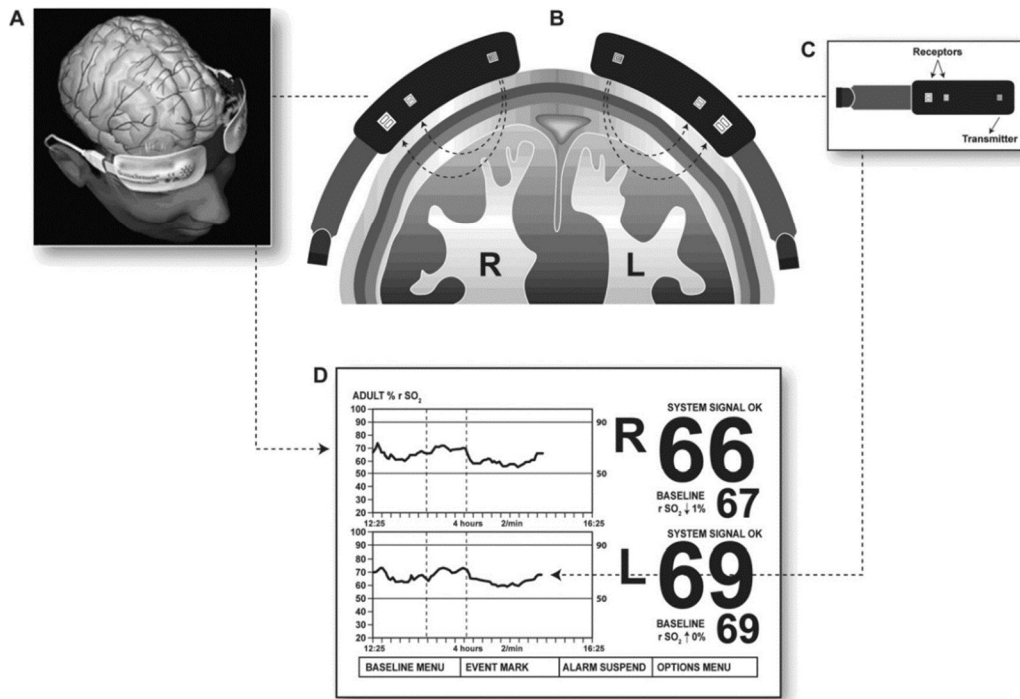
### 2.3.1 Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)

Mit Hilfe eines speziellen NIRS-Gerätes (Luciole medical System®, Luciole Medical AG, Zürich, Schweiz) und der zugehörigen NIRS-Optode (Rheopatch®, Luciole Medical AG, Zürich, Schweiz) erfolgte eine kontinuierliche Erfassung einzelner Werte hinsichtlich der zerebralen Sauerstoffsättigung und des Blutflusses (Hboxy, Hbdeoxy und SbtO<sub>2</sub>). Über dem Stromgebiet der Arteria cerebri anterior im präfrontalen Cortex links wurde ein Patch auf der Stirn der Patient:innen angebracht.



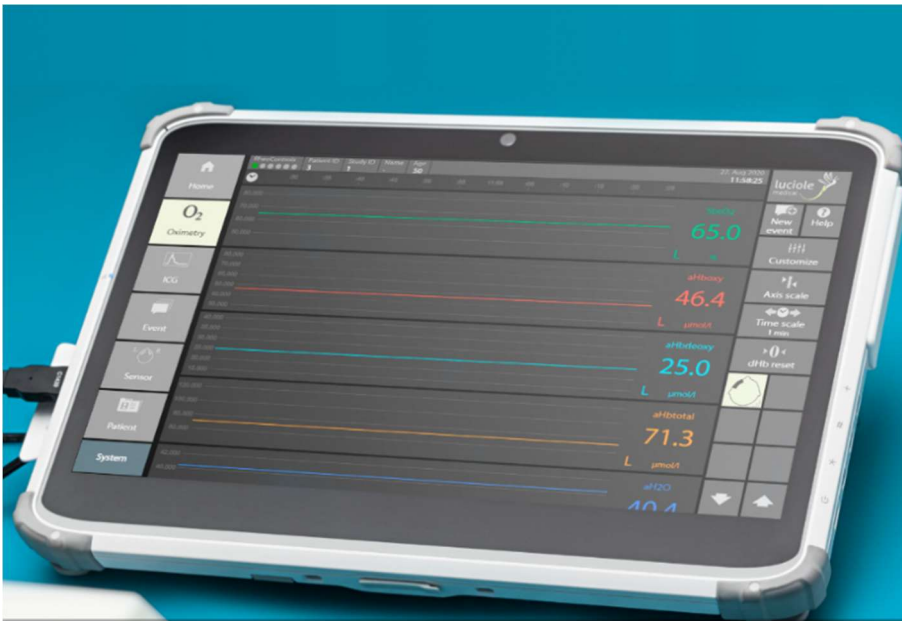
**Abb. 1:** RheoPatch® mit integriertem Sensor und zu konnektierendes Lichtkabel  
**Quelle:** (Luciole Medical AG, 2025a)

Über eine integrierte Diode erfolgt eine Abgabe von Licht im nahinfraroten Wellenlängenbereich. Das ins Gewebe eindringende Licht wird von unterschiedlichen Molekülen (Chromophoren) gebrochen. In Abhängigkeit der gebundenen O<sub>2</sub>-Moleküle haben insbesondere Oxyhämoglobin und Desoxyhämoglobin unterschiedliche Absorptionsspektren. Der Patch enthält zwei Optoden, welche die reflektierten Lichtwellen in unterschiedlichen Eindringtiefen intrakranial detektieren. Durch das Erfassen der unterschiedlichen Absorptionsspektren von Oxyhämoglobin und Desoxyhämoglobin können Rückschlüsse auf die zerebrale Sauerstoffsättigung gezogen werden. (Crespi, 2007; Denault et al., 2007). Zur bildlichen Verdeutlichung dient Abbildung 1.



**Abb. 2:** schematische Darstellung der Funktionsweise eines NIRS (A) erforderliche Positionierung der Elektroden über der A. cerebri anterior. (B) Signalübertragung beider Hemisphären über Optoden zu einem Display. (C) Signaltransduktion ausgehend von einer Diode und Detektion der zurückkommenden Lichtwellen durch zwei Optoden. (D) visualisierte Werte auf dem Bildschirm geben die zerebrale Sauerstoffsättigung der jeweiligen Hemisphäre an, als auch die Baseline (Referenzwerte der zu Beginn der Messung erhoben wurde).  
**Quelle:** (Denault et al., 2007)

Die mittels der Optoden gemessenen Werte wurden auf dem zugehörigen Monitor (RheoControl 3.0® Luciole Medical AG, Zürich, Schweiz) mit hierzu passender Software (RheoLity 2.6 Analytics Platform®, Luciole Medical AG, Zürich, Schweiz) visualisiert und gespeichert (Luciole Medical AG, 2025a).



**Abb. 3:** RheoLity 2.6 Analytics Platform®

**Quelle:** (Luciole Medical AG, 2025a)

Die CBF-Messung basiert auf der Kombination von NIRS und Indocyanidgrün-Dilutions Methode (Keller et al., 2011). Sie unterliegt einem spezifischen Algorithmus der es dem Hersteller erlaubt, valide Daten von extern über die Schädelkalotte zu erlangen, welche mit intrakraniellen Messungen verglichen wurden (Keller et al., 2015). Die durch Keller et al. beschriebene simultane Anwendung von intrazerebraler CBF-Sonde und NIRS-Optoden soll die extrazerebralen Signalkontaminationen minimieren bzw. herausrechnen, was einen annähernden Rückschluss auf die intrazerebrale Durchblutung zulässt (Keller et al., 2015). Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass die mit konventioneller NIRS gemessenen Blutflusswerte signifikant mit den absoluten Blutflusswerten im Hirngewebe korrelieren (Luciole Medical AG, 2025b).

Für das beschriebene NIRS-Verfahren, welches auf der Indocyanidgrün-Dilutions Methode basiert, sind spezifische Patient:innendaten maßgebend, welche vor den Messungen in die Software einzugeben sind. Hierzu gehören das Alter, die Größe, das Gewicht, das Geschlecht, sowie der Hämatokrit.

Zu definierten intraoperativen Zeitpunkten wurde im Verlauf der Messungen eine vorgegebene Menge an Indocyanidgrün (ICG) venös injiziert (25 mg/Messung) (siehe Studienablauf unter 2.5).

Indocyanidgrün ist ein Farbstoff, welcher im Nahinfrarotbereich (700-900nm) fluoresziert. Somit wird das ICG als Tracer benutzt und die ICG-Konzentration im Blut kann durch das NIRS-Signal sichtbar gemacht werden (Hopton et al., 1999).

ICG bindet an Plasmaproteine und verteilt sich nach Injektion innerhalb weniger Sekunden intravaskulär. Mit Hilfe der NIRS kann nun die optische Dichteveränderung/Konzentrationsänderung des ICG über die Zeit gemessen werden (Hopton et al., 1999).

Die Software nutzt hierfür die mean-transit-time (mtt), welche die Auswaschzeit des ICG beschreibt. Hierüber kann der zerebralen Blutfluss (CBF) und das zerebrale Blutvolumen (CBV) ermittelt werden (Forcione et al., 2020).





**Abb. 4:** Darstellung der RheoLity Software®, welche graphisch die Messung rund um die Injektion von ICG darstellt. Nach der Injektion steigt die Kurve (die optische Dichte des ICG) steil an um nach Erreichen eines Peaks langsam abzuflachen. Über die mean-transit-time wird der CBF und das CBV ermittelt.  
**Quelle:** Luciole Medical AG: [interne Geräteeinweisungspräsentation], PowerPoint-Präsentation, Bonn 2019

Soweit bekannt, stellt unsere Messung die erste intraoperative CBF und CBV-Bestimmung unter Extrempositionen dar.

### 2.3.2 Erweitertes hämodynamisches Monitoring

Um den Einfluss hämodynamischer und flussbasierter Parameter auf die zerebrale Sauerstoffversorgung durch Positionsänderung während der Narkose zu visualisieren, erfolgte die hämodynamische Datenerhebung mit Hilfe einer unkalibrierten Pulskontur Analyse über den FloTrac-Sensor® der EV1000-Plattform® der Firma Edwards (Edwards Lifesciences Corporation, Irvine, USA).

### FloTrac-Sensor

Wird an eine vorhandene arterielle Leitung angeschlossen



Erweiterte hämodynamische Parameter messen das Ansprechverhalten vor der Belastung

### Multifunktionale HemoSphere-Monitoring Plattform



Zeigt das Zusammenspiel erweiterter hämodynamischer Parameter an, um das Gleichgewicht zwischen Sauerstoffzufuhr und-verbrauch darzustellen

**Abb. 5:** EV1000 FloTrac-Sensor® und Monitoring Plattform® zur Erfassung hämodynamischer Parameter

**Quelle:** (Edwards Lifesciences Corporation, 2025)

Über einen arteriell einliegenden Katheter in der Arteria radialis ermittelt der FloTrac-Sensor® über das gemessene Schlagvolumen (SV [ml]) den mittleren arteriellen Druck (MAP [mmHg]), das Herzzeitvolumen (HZV [L/min]), die Schlagvolumenvariation (SVV [%]), als auch die zentralvenöse Sättigung (ScvO<sub>2</sub> [%]). In der schlussendlichen Betrachtung der ermittelten Parameter konzentrierten wir uns auf den MAP, den CI und die Pulsdruckamplitude (PP).

Auch bei dem EV1000® ist es vor der Messung unerlässlich spezifische Patient:innendaten (Alter, Größe, Gewicht, Geschlecht) zu hinterlegen, damit der Algorithmus greifen kann (Edwards Lifesciences Corporation, 2019, 2022a, 2022b).

#### 2.3.3 Prozessiertes EEG-Monitoring

Über der rechten Stirn der Patient:innen wird ein EEG Sensor (BIS Quatro-Sensor®, Medtronic, Meerbusch, Deutschland) angeklebt. Hierüber erfolgt die Erfassung des intraoperativen Roh-EEGs und des EMGs. Mittels eines hierauf entwickelten

automatischen validierten Narkoseinterpretationssystems werden Indexwerte (BIS) errechnet, die mit definierten Narkosetiefestadien übereinkommen (Peters und Wilhelm, 2018). Hierbei zielten wir Werte zwischen 40-60 an, welche für ein adäquates Narkosetiefestadium erforderlich sind. Hierfür nutzen wir ein BIS-Gerät der Firma Medtronic (BIS Vista, Medtronic GmbH, Meerbusch, Deutschland).



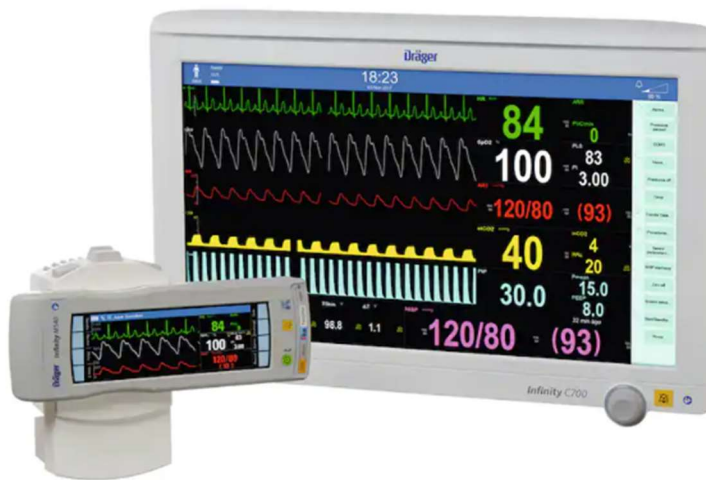
**Abb. 6:** BIS™ 2-Kanal-Monitor®  
**Quelle:** (Medtronic GmbH, 2025)



**Abb. 7:** BIS Quatro-Sensor® auf der Stirn eines Patienten über der dominanten Hemisphäre  
**Quelle:**(Peters und Wilhelm, 2018)

### 2.3.4 Dräger Patientenmonitor

Übrige Daten, welche standardmäßig während der Narkose über den Dräger-Patientenmonitor und Acute Care System (Patientenmonitor Infinity® M540, Dräger, Lübeck, Deutschland) erfasst und überwacht werden, wie das EKG, die Herzfrequenz, die periphere Sauerstoffsättigung, und das endexpiratorische CO<sub>2</sub>, wurden ebenfalls kontinuierlich mit aufgezeichnet.



**Abb. 8:** Patientenmonitor Infinity® M540 und Acute Care System

**Quelle:** (Dräger Medical Deutschland GmbH, 2025)

### 2.3.5 CNS (Component neuromonitoring System) Monitor®

Die unterschiedlichen medizinischen Geräte zur Erfassung der verschiedenen gefragten Parameter wurden durch den CNS Monitor® der Firma Neurovisio (Moberg CNS Monitor, Neurovisio, Soltau, Deutschland) in einem multimodalen System zusammengeführt. Hierdurch erlangten wir eine deutlich vereinfachte Übersicht der zu untersuchenden Daten. Mittels der dazugehörigen CNS Envision Software® (Neurovisio, Soltau, Deutschland) konnten die Daten extrahiert werden (Hamann, 2025).

### 2.3.6 6-item-screening Test

Vor der OP, zum Zeitpunkt der Einwilligung zur Teilnahme an der Studie, wurde jede/r Patient:in mittels des standardisierten 6-item-screening Test auf mögliche vorbestehende kognitive Einschränkungen getestet. Die Durchführung ist der Abbildung zu entnehmen (Krupp et al., 2018). Der Test ist kurz und zuverlässig und besitzt diagnostische Eigenschaften welche mit dem MMSE vergleichbar sind (Callahan et al., 2002).

**Ich nenne Ihnen 3 Dinge. Bitte warten Sie, bis ich alle 3 Wörter gesagt habe, und wiederholen Sie sie dann. Merken Sie sich die Wörter, denn ich frage Sie demnächst noch einmal danach. Bitte wiederholen Sie:**  
**(1. Wort) – (2. Wort) – (3. Wort)** z.B. „Auto – Blume – Ball“  
 (Maximal 3 Lernversuche → alle 3 Wörter richtig wiederholt? ☐ ja ☐ nein)

**Jetzt stelle ich Ihnen 3 Fragen:**

**Welches Jahr haben wir?** ☐ korrekt=1 ☐ nicht korrekt=0  
**Welchen Monat haben wir?** ☐ korrekt=1 ☐ nicht korrekt=0  
**Welchen Wochentag haben wir?** ☐ korrekt=1 ☐ nicht korrekt=0

**Wie hießen die 3 Dinge, die Sie sich merken sollten?**

**(1. Wort)** ☐ korrekt=1 ☐ nicht korrekt=0  
**(2. Wort)** ☐ korrekt=1 ☐ nicht korrekt=0  
**(3. Wort)** ☐ korrekt=1 ☐ nicht korrekt=0

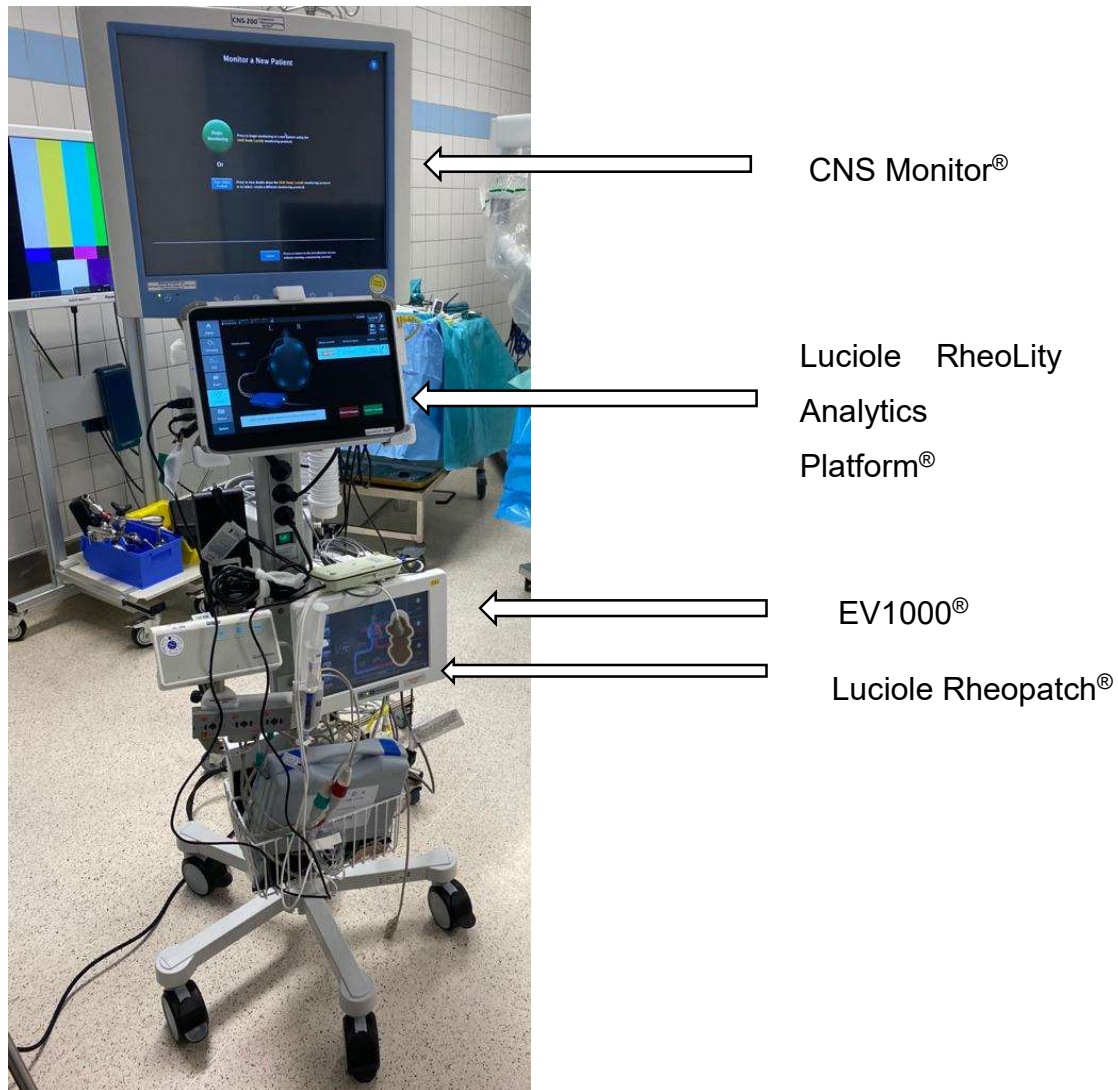
Anzahl der erreichten Punkte: \_\_\_\_ / 6

**Abb. 9 :** Durchführung des Six-Item Screeners

**Quelle:** (Krupp et al., 2018)

## 2.4 Studienablauf / Datenerhebung / Protokoll

Direkt nach Narkoseeinleitung mit Propofol, Fentanyl und Rocuronium zur neuromuskulären Blockade, erfolgte nach Intubation das Anbringen des Rheopatches® des NIRS, des BIS-Monitorings sowie eine invasive arterielle Blutdruckmessung.



**Abb. 10:** Geräteturm mit beschriebenen Geräten

**Quelle:** Eigene Abbildung während Datenerhebung

Nach einer Eichung aller Geräte wurde im CNS-Monitor eine Baseline als Referenzwert markiert. Direkt hierauf erfolgte im Anschluss eine Messung in neutraler Position des/der Patient:in mittels ICG-Injektion, um die Ausgangswerte des CBF und CBV zu ermitteln. Hierfür wurden 0,3 mg/kg KG ICG, maximal 25mg, über einen peripheren Venenzugang injiziert. In den sich hieran anschließenden 7 Minuten nach Injektion erfolgte die Messung (Injektions- und Auswaschzeit) der zerebralen Perfusionsparameter (ICG 1). Da die SbtO<sub>2</sub>-Messung während der Ermittlung der zerebralen Perfusionsparameter (Injektions-



und Auswaschzeit) softwarebedingt inaktiviert war, zeichneten wir die SbtO<sub>2</sub>-Werte, den MAP und den CI eine Minute vor der ICG-Injektion auf.

Fünf Minuten nach Erreichen der erforderlichen Operationsposition führten wir eine erneute Messung mittels ICG-Injektion durch (ICG 2), sowie nach einer Stunde in selbiger Position, kurz vor Ende der Operation (ICG 3). Nachdem die Neutralposition wieder etabliert war, erfolgte bei noch schlafenden Patient:innen nochmals eine letzte Messung (ICG 4).

Nach Extubation wurden alle Patient:innen in den Aufwachraum zur post-operativen Überwachung verlegt.

## 2.5 Messungen in Trendelenburgposition (HDT)

Die Messungen erfolgten bei operativen Eingriffen zur robotisch assistierte Prostatektomie- oder Hysterektomien in 20° HDT-Position. Da das operative Setting bei beschriebenen Eingriffen gut standardisiert ist konnten wir die Messungen OP-übergreifend an vergleichbaren Zeitpunkten durchführen.

## 2.6 Messungen in Beach-Chair-Position (BC)

Die Messungen erfolgten bei Patient:innen welche Operationen an der Schulter bekamen (Arthroskopie und Osteosynthese für proximale Humerusfrakturen) in > 45°. Das Setzen der Baseline und die erste Messung in Neutralposition erfolgte noch im Einleitungsraum.

## 2.7 Datenerhebung und Auswertung

Aus dem Luciole-Gerät (NIRS) mussten die Rohdaten gesondert extrahiert werden. Alle anderen hämodynamisch aufgezeichneten Daten konnten zur weiteren Analyse aus dem CNS-Monitor exportiert werden.

Zu den Messungen (Baseline/ICG 1, ICG 2, ICG 3 und ICG 4/Neutral) der jeweiligen zerebralen Parameter (CBV, CBF und mtt) wurde der Mittelwert der hämodynamischen

Parameter im Zeitraum von einer Minute vor der ICG-Messung errechnet (SbtO<sub>2</sub>, MAP und CI), wie bereits in 2.4 beschrieben.

## 2.8 Statistische Auswertung

Die Daten umfassen mit der BC-Gruppe und der HDT-Gruppe insgesamt zwei Patient:innenkollektive, die einander gegenübergestellt wurden. Patient:innen bei denen mehr als eine ICG-Messung fehlte, wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen, um die Datenintegrität zu gewährleisten. Da es sich um Einzelmessungen pro Zeitpunkt handelt, führt dies zum Ausschluss von gesamten Patient:innen. Die weitere statistische Auswertung erfolgte mittels MATLAB R2022a (Mathworks, Natick, MA, USA).

Durch die kleine Fallzahl pro Gruppe wurden nicht-parametrische Tests angewandt um die Robustheit der Ergebnisse zu sichern. Hierbei wurde der zweiseitige t-Test angewendet, um den Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich des Alters, Gewicht und Dauer der Operation zu bestimmen.

Zur Identifizierung signifikanter Veränderungen im Vergleich zur Ausgangsmessung (Baseline) wurde ein zweiseitiger Mann-Whitney-U-Test verwendet, der es ermöglichte, Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen, ohne von Annahmen über die Verteilung der Daten abhängig zu sein.

Ein p-Wert von  $< 0,05$  galt als signifikant.

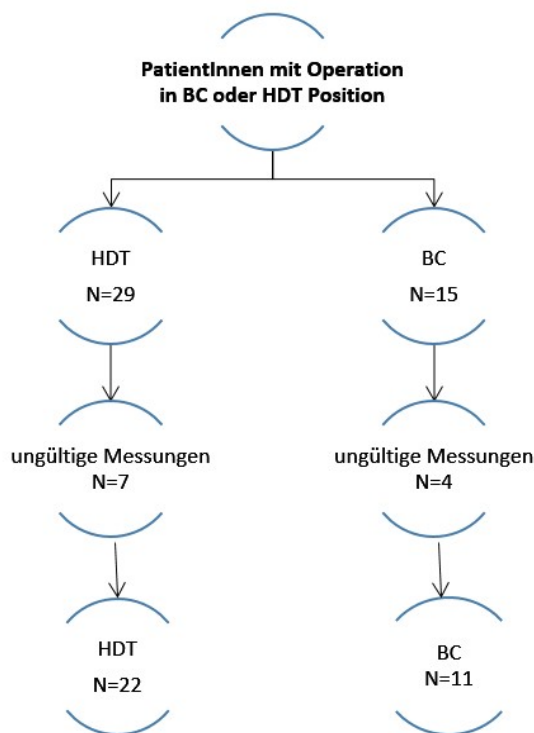


### 3. Ergebnisse

Insgesamt rekrutierten wir 44 Patient:innen wovon 29 der HDT-Gruppe und 15 der BC-Gruppe angehörten.

In Summe mussten 11 Patient:innen ausgeschlossen werden, da lediglich Patient:innen mit 4 validen Messungen (ICG 1-4) eingeschlossen werden konnten.

Nach Ausschluss der Patient:innen mit unvollständigen Messungen waren es letztendlich 22 Patient:innen in der HDT-Gruppe und 11 Patient:innen in der BC-Gruppe welche final in die statistische Analyse eingingen.



**Abb. 11:** Studienflowchart der eingeschlossenen Patient:innen

BC: beach chair position, HDT: head down tilt position

**Quelle:** Abbildung modifiziert nach Oremek MJ et al., 2024

Die spezifischen beschriebenen Charakteristika der eingeschlossenen Patient:innen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen (**Tab. 1**).

Der Median der ASA-Werte lag bei 2 in der HDT-Gruppe und bei 3 in der BC-Gruppe. Das mittlere Alter betrug in der HDT-Gruppe 63 ( $\pm 9$ ) Jahre und in der BC-Gruppe 70 ( $\pm 13$ ) Jahre. Die durchschnittliche Körpergröße aller Patient:innen betrug 171,3 cm, mit einer Spannweite von 153 cm bis 186 cm. Das mittlere Gewicht lag bei 88,4 kg, wobei die Werte von 38 kg bis 153 kg stark variierten.

In der HDT-Gruppe lag der Anteil männlicher Patienten bei 73 % ( $n=16$ ), und der Anteil weiblicher Patientinnen bei 27 % ( $n=6$ ). In der BC-Gruppe waren 64 % ( $n=7$ ) der eingeschlossenen Patientinnen weiblich und 36 % ( $n=4$ ) männlich, wobei 5 Patient:innen hierbei eine Schulter TEP (Totalendoprothese) bekamen und 6 eine Osteosynthese des Humerus. Die Operationsdauer (Schnitt-Naht) erstreckte sich im Mittel in HDT über  $201 \pm 34$  min und in BC über  $159 \pm 59$  min. Mit  $176 \pm 6$  cm in HDT und  $168 \pm 8$  cm in BC zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei der Größe der Patient:innen ( $p=0.024$ ). In Bezug auf das Gewicht (HDT  $92 \pm 23$  kg, BC  $75 \pm 25$  kg) konnte ebenfalls ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p < 0.001$ ). Auch bei der Dauer der OP zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $p=0.005$ ), wobei die Dauer der roboter-assistierten Operationen mit  $201 \pm 34$  min länger waren (BC  $159 \pm 59$  min).

Die Patient:innen der BC-Gruppe erhielten eine balancierte Kombinationsanästhesie, während die Patient:innen der HDT-Gruppe ausschließlich eine TIVA (totale intravenöse Anästhesie) bekamen, da die Standard-Prozedur bei robotischen Operationen TIVA-Narkosen vorsieht.

Die Patient:innen der BC-Gruppe wiesen einen geringeren Ausgangs-Hb von 9,2 ( $\pm 1,3$ ) g/dL auf, im Vergleich zu 12,8 ( $\pm 1,3$ ) g/dL der HDT-Gruppe. Hinsichtlich der Vorerkrankungen zeigten 82 % der Patient:innen der BC-Gruppe eine arterielle Hypertonie, während 45 % der Patient:innen der HDT-Gruppe daran erkrankt waren. An Diabetes Typ II waren in der HDT-Gruppe 3 von 22 Patient:innen erkrankt, während in der BC-Gruppe 2 von 11 Patient:innen erkrankt waren. Eine intraoperative Transfusion von Erythrozytenkonzentraten war in keiner der Gruppe erforderlich.

**Tab. 1:** Patient:innencharakteristika

	Head Down Tilt	Beach Chair
Geschlecht w (m), n	6 (16)	7(4)
Alter, Jahre	63 (9)	70 (13)
ASA Score	2 (1-3)	3 (1-3)
Größe, cm	176 (6)	168 (8)
Gewicht, kg	92 (23)	75 (25)
OP-Dauer, min	201 (34)	159 (59)
<b>Operation:</b>		
Prostatektomie, n (%)	16 (73)	
Gynäkologische OP, n (%)	6 (27)	
Schulter TEP, n (%)		5 (45)
Osteosynthese Humerus, n (%)		6 (55)
<b>Narkose:</b>		
Balancierte Anästhesie, n (%)	0 (0)	11 (100)
TIVA, n (%)	22 (100)	0 (0)
<b>Vorerkrankungen:</b>		
arterielle Hypertension n (%)	10 (45)	9 (82)
Diabetes Type II n (%)	3 (13)	2 (18)
Initiales Hämoglobin (g/dL)	12.8 (1.3)	9.2 (1.3)
Intraoperative Transfusion, n (%)	0 (0)	0 (0)

ASA Score ist als Median (mit Spannweite) angegeben, alle anderen Werte sind als Mittelwert ( $\pm$ Standardabweichung) oder n (%) angegeben.

ASA Score (American Society of Anesthesiologists-Klassifikation), TIVA (totale intravenöse Anästhesie)

**Quelle:** Tabelle modifiziert nach Oremek MJ et al., 2024

### 3.1 Beach Chair-Gruppe

Wie in **Tab. 2** zu sehen ist, konnten im Vergleich zur Ausgangsmessung (Baseline/ICG 1) in der BC-Gruppe keine signifikanten Veränderungen der zerebralen Perfusionsparameter festgestellt werden. Ein signifikanter Anstieg des Herzindex (CI) wurde bei ICG 3 ( $CI = 2,51 \pm 0,24 \text{ l/min/m}^2$ ) im Vergleich zur Ausgangsmessung beobachtet ( $CI = 2,06 \pm 0,57 \text{ l/min/m}^2$ ) ( $p=0,04$ ). In der seriellen Messung zeigten sich weder bei der  $SbtO_2$ , dem MAP, noch der Pulsdruckamplitude signifikante Veränderungen.

### 3.2 Trendelenburg-Gruppe

Im Gegensatz hierzu weisen die Ergebnisse der HDT-Gruppe eine signifikante Verringerung des zerebralen Blutflusses (CBF) zum Zeitpunkt der 2. (CBF =  $11,7 \pm 8,7$  ml/100g/min;  $p=0,055$ ) und 3. ICG-Messung (CBF =  $10,3 \pm 4,7$  ml/100g/min;  $p=0,049$ ) im Vergleich zur Ausgangsmessung (CBF =  $18,8 \pm 12,3$  ml/100g/min) auf. Der signifikant verringerte zerebrale Blutfluss wird zusätzlich durch die deutlich verlängerte Auswaschzeit des Indocyanidgrün (mtt) (mtt =  $28,4 \pm 7,9$  s versus  $21,9 \pm 6,9$  s;  $p=0,04$ ) zum Zeitpunkt der 3. ICG-Messung verdeutlicht.

Der mittlere arterielle Druck (MAP) in dieser Gruppe zeigte einen signifikanten Anstieg nach der Einnahme der HDT-Position bei ICG 2 (MAP =  $93 \pm 12$  mmHg;  $p<0,001$ ) und ICG 3 (MAP =  $85 \pm 8,5$  mmHg;  $p=0,006$ ) im Vergleich zur Ausgangsmessung (MAP =  $73,7 \pm 10$  mmHg), wobei kein Unterschied mehr zu verzeichnen ist sobald die Neutralposition wieder eingenommen wurde. Bei der Pulsdruckamplitude (PP) fallen die Werte mit Positionsänderung. So nimmt die Differenz zwischen systolischem und diastolischem Blutdruck zwischen ICG 2 (PP =  $46,8 \pm 9,2$  mmHg) und ICG 3 (PP =  $40,5 \pm 5,4$  mmHg) im Vergleich zur Baseline (PP =  $47,4 \pm 9,8$  mmHg) deutlich ab. Hierbei zeigte sich bei ICG 3 ein signifikanter Abfall ( $p=0,048$ ) im Vergleich zum Ausgangswert.

Signifikante Veränderungen im Herzindex (CI) wurden nicht beobachtet. Auch für die zerebrale Sauerstoffsättigung (SbtO<sub>2</sub>) konnte im Vergleich zur Ausgangsmessung trotz reduziertem CBF keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Auch das zerebrale Blutvolumen zeigte keine Änderungen.

**Tab. 2:** Hämodynamische und zerebrale Parameter der Patient:innen in HDT und BC

	Baseline/ ICG 1	ICG 2	p	ICG 3	p	Neutral/ ICG 4	p
<b>HDT</b>							
MAP, mmHg	73.7 (10)	93 (12)	<b>10<sup>-5</sup></b>	85 (8.5)	<b>0.006</b>	71 (10)	0.49
PP, mmHg	47.4 (9.8)	46.8 (9.2)	0.87	40.5 (5.4)	<b>0.048</b>	44.5 (6.7)	0.80
CI, l/min/m <sup>2</sup>	2.2 (0.5)	1.95 (0.61)	0.22	2.1 (0.4)	0.65	2 (0.6)	0.25
SbtO <sub>2</sub> , %	69.8 (3.3)	71 (2.8)	0.22	70.2 (2.8)	0.61	68.8 (3.5)	0.29
CBF, ml/100g/min	18.8 (12.3)	11.7 (8.7)	<b>0.055</b>	10.3 (4.7)	<b>0.049</b>	14.7 (7.3)	0.48
CBV, ml/100g	5.8 (3.5)	4.3 (2.2)	0.49	4.9 (2.9)	0.75	4.75 (2.1)	0.68
MTT, s	21.9 (6.9)	26.9 (10.5)	0.08	28.4 (7.9)	<b>0.04</b>	20.9 (5.6)	0.34
<b>BC</b>							
MAP, mmHg	81 (19)	70.34 (7)	0.25	73 (7)	0.58	83 (10)	0.77
PP, mmHg	58.8 (28.7)	67.2 (13.6)	0.22	64.2 (13.7)	0.51	60 (1.73)	0.64
CI, l/min/m <sup>2</sup>	2.06 (0.57)	2.32 (0.27)	0.06	2.51 (0.24)	<b>0.04</b>	2.63 (0.70)	0.18
SbtO <sub>2</sub> , %	66.5 (3.5)	64 (4)	0.33	65 (3)	0.8	66 (0)	0.85
CBF, ml/100g/min	17 (14)	22 (17)	0.74	23 (15)	0.81	24 (0)	0.82
CBV, ml/100g	4 (3)	4 (3)	0.71	4 (1)	0.78	4 (0)	0.55
MTT, s	15 (4)	16 (7)	0.62	14 (6)	0.74	10 (0)	1

Die numerischen Werte sind Mittelwerte ( $\pm$  Standardabweichung). Der P-Wert ist in Relation zur Baseline (ICG 1) angegeben

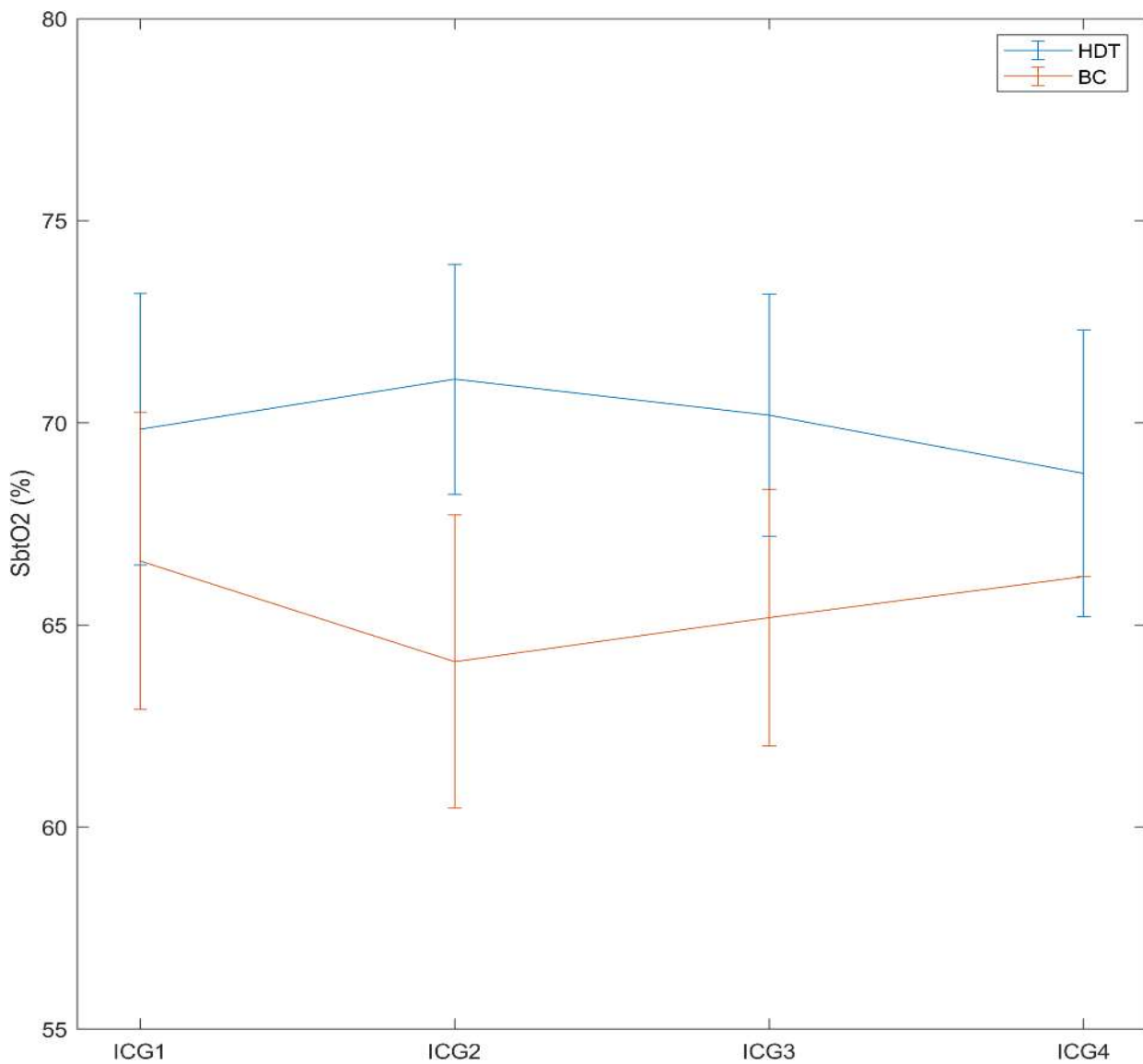
BC: beach chair position (Strandstuhl Position), CBF, cerebral blood flow (zerebraler Blutfluss), CBV: cerebral blood volume (zerebrales Blutvolumen), CI: cardiac index (Herzindex), HDT: head down tilt position (Trendelenburgposition), MAP: mean arterial pressure (mittlerer arterieller Druck), MTT: mean transit time (mittlere Durchgangszeit), PP: Pulse pressure Amplitude (Pulsdruckamplitude), SbtO<sub>2</sub>: brain tissue oxygen saturation (zerebrale Sauerstoffsättigung), ICG: Indocyanidgrün.

**Quelle:** Tabelle modifiziert nach Oremek MJ et al., 2024

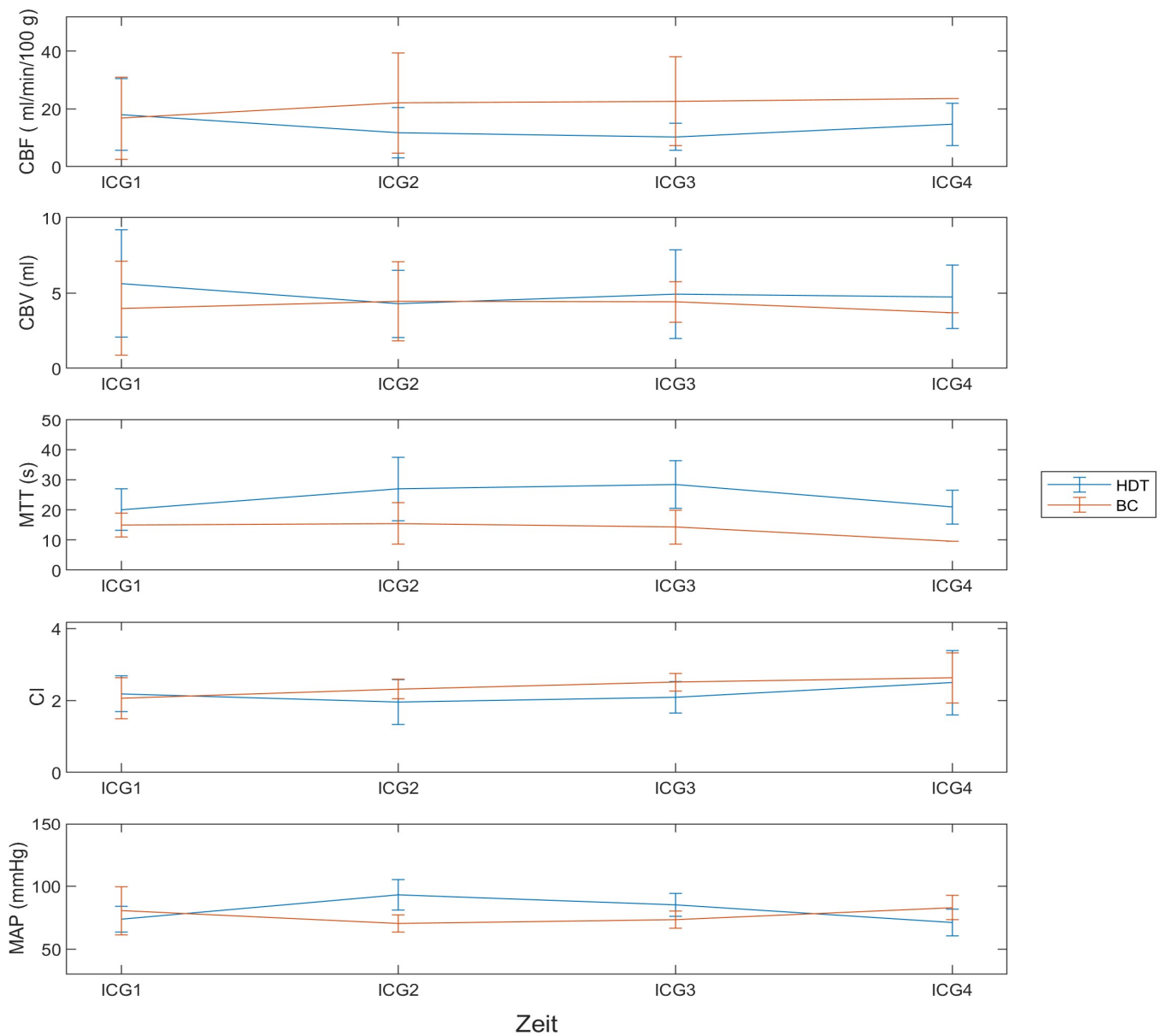
### 3.3 Gegenüberstellung von BC vs HDT

Bei der Ausgangsmessung (ICG 1) wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede in den gemessenen hämodynamischen oder zerebralen Parametern zwischen den beiden Gruppen (BC vs. HDT) festgestellt. Für die zerebrale Sauerstoffsättigung (SbtO<sub>2</sub>) wies die HDT-Gruppe zu Beginn einen signifikant höheren Wert (SbtO<sub>2</sub> = 69,8 $\pm$ 3,3 %) im Vergleich zur BC-Gruppe auf (SbtO<sub>2</sub> = 66,5 $\pm$ 3,5 %), (p=0,02), was in **Abb. 12** graphisch veranschaulicht ist. Dieser Unterschied spiegelt sich nicht in den gemessenen Werten des CBF der beiden Gruppen wieder (siehe **Abb. 13**). Die Pulsdruckamplitude zeigt bereits bei der Ausgangsmessung (ICG 1) in HDT (PP =

47,4±9,8 mmHg) geringere Werte als in BC (PP = 58,8±28,7 mmHg); (p=0,52) und weist wie bereits beschrieben einen signifikanten Abfall (PP = 46.8±9.2 mmHg) im Vergleich zur BC-Gruppe (PP = 67.2 ±13.6 mmHg); (p=0,001) bei ICG 2 auf. Zum Zeitpunkt der dritten Messung ist der Unterschied der Pulsdruckamplitude im Vergleich von BC (PP = 64.2±13.7 mmHg) zu HDT (PP = 40.5±5.4 mmHg) ebenfalls signifikant (p=0,0001). Zum Zeitpunkt der 4. Messung nähern sich die Werte wieder an, sodass hier keine Signifikanz mehr zu ermitteln ist (p=0,18), bleiben jedoch deutlich unter denen (PP = 44.5 ±6.7 mmHg) der BC-Position (PP = 60 ±1.73 mmHg) (siehe **Abb. 14**).



**Abb. 12:** Zerebrale Sauerstoffsättigung der BC- und HDT-Gruppe im Vergleich  
 BC: beach chair position (Strandstuhl Position), HDT: head down tilt position (Trendelenburgposition), ICG: Indocyanidgrün, SbtO<sub>2</sub>: brain tissue oxygensaturation (zerebrale Sauerstoffsättigung)

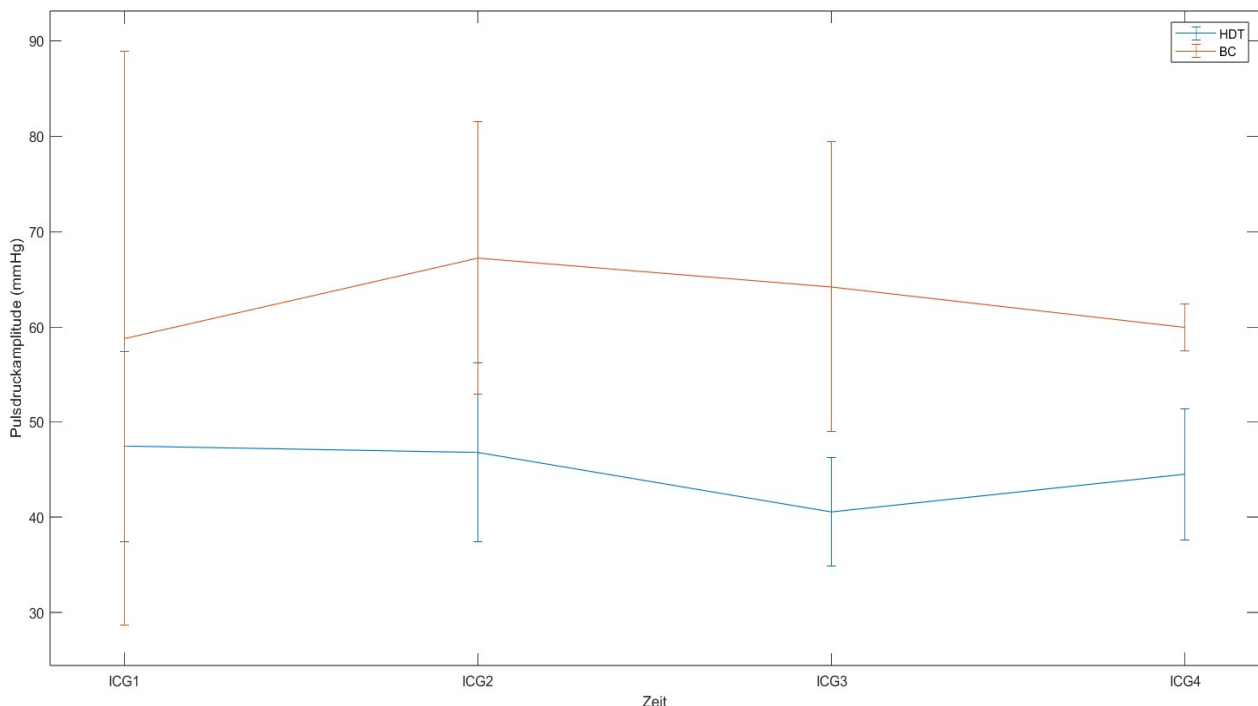


**Abb. 13:** Globale und zerebrale hämodynamische Parameter zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten

BC: beach chair position (Strandstuhl Position), CBF: cerebral blood flow (zerebraler Blutfluss), CBV: cerebral blood volume (zerebrales Blutvolumen), CI: cardiac Index (Herzindex), HDT: head down tilt position (Trendelenburgposition), ICG: Indocyanidgrün, MAP: mean arterial pressure (mittlerer arterieller Druck), mtt: mean transit time (mittlere Durchgangszeit)

**Quelle:** Abbildung modifiziert nach Oremek MJ et al., 2024





**Abb. 14:** Pulsdruckamplitude als Wert von systolischen–diastolischen Blutdruckwert als Treiber der Perfusion.

BC: beach chair position (Strandstuhl Position), HDT: head down tilt position (Trendelenburgposition), ICG: Indocyanidgrün

**Tab. 3:** Vergleich der Pulsdruckamplitude in HDT und BC

	Baseline/ ICG 1	ICG 2	ICG 3	Neutral/ ICG 4
<b>HDT</b>				
PP, mmHg	47.4 (9.8)	46.8 (9.2)	40.5 (5.4)	44.5 (6.7)
<b>BC</b>				
PP, mmHg	58.8 (28.7)	67.2 (13.6)	64.2 (13.7)	60 (1.73)
<b>p-Wert HDT vs BC</b>	0.53	<b>0.0014</b>	<b>0.0001</b>	0.187

Die numerischen Werte sind Mittelwerte ( $\pm$  Standardabweichung)

BC: beach chair position (Strandstuhl Position), HDT: head down tilt position (Trendelenburgposition), PP: Pulse pressure Amplitude (Pulsdruckamplitude)

## 4. Diskussion

In dieser Studie konnten wir zeigen, dass in der BC-Position der CBF aufrecht erhalten bleibt, während in HDT der CBF signifikant verringert ist. Diese Änderungen korrelieren jedoch nicht mit den ermittelten SbtO<sub>2</sub> Parametern, welche unverändert bleiben.

### 4.1 Beach Chair-Position

Das erhöhte Risiko für zerebrale Perfusions- und Oxygenierungsstörungen welche durch die Einnahme der BC-Position besteht (Laflam et al., 2015; Moerman et al., 2012), konnte durch unsere Daten nicht gestützt werden. Vielmehr bestärken unsere Resultate die Aussage von Duhem et al., dass durch Positionseinnahme der venöse Druck sinkt und der vaskuläre Widerstand sich verringert, sodass sich konsekutiv ein reduzierter zerebraler Perfusionsdruck einstellen kann (Duhem et al., 2021). So konnten wir eine geringe, jedoch nicht signifikante, Erhöhung des CBF nach Einnahme der BC-Position verzeichnen, was auf eine kompensatorische Reaktion hindeuten kann.

Ein möglicher Erklärungsansatz wäre, dass die hämodynamischen Änderungen bei Positionsänderung zu geringfügig sind, als dass Sie eine Auswirkung auf die zerebrale Perfusion und Oxygenierung hätten. Der unveränderte CBF könnte aber auch zeigen, dass die zerebrale Autoregulation intakt ist und die hämodynamischen Änderungen kompensiert werden.

Skytiti et al. (Skytiti et al., 2019) konnte zeigen, dass die Blutflussgeschwindigkeit in den Carotiden während des Pneumoperitoneums bei Cholezystektomie-Operationen abnahm, jedoch bei Oberkörperhochlagerung keinen weiteren Änderungen unterlag. Dies könnte auf das Herzzeitvolumen als unabhängiger Prädiktor des CBF hindeuten. Der Anstieg des CI nach BC-Positions-Einnahme ist demnach auf eine mögliche autonome Regulation als Antwort auf den reduzierten vaskulären Widerstand zurückzuführen. Auch der leichte Anstieg in der Pulsdruckamplitude bestärkt diese Annahme, wenn auch die Werte hierfür nicht signifikant sind.

## 4.2 Head-Down-Tilt-Position

Im Gegenzug könnte der von uns beobachtete signifikant reduzierte CBF während der 2. und 3. ICG-Messung in HDT auf den erhöhten venösen Rückstrom und den steigenden vaskulären Widerstand zurückzuführen sein (Zeuzem-Lampert et al., 2019). Ein sich einstellender erhöhter intrakranieller Druck ist mit zunehmender Dauer der HDT-Position denkbar möglich. So konnten wir, ausgehend vom 2. Messzeitpunkt, eine leichte weitere Abnahme des CBF zum 3. Messzeitpunkt verzeichnen.

Es ist bekannt, dass der regionale CBF durch den MAP, den ICP, den CO<sub>2</sub>-Partialdruck, die kortikale Aktivierung und den ZVD beeinflusst wird (Claassen et al., 2021; Hoiland et al., 2019). Durch die Positionseinnahme steigt der ZVD und es kommt zu einer Zunahme der Vorlast mit konsekutiv steigenden MAP (Hirvonen et al., 1995), sinkender Herzfrequenz und Pulsdruckamplitude. So liegen mit steigender Vorlast weniger Blutdruckschwankungen vor. Das zusätzlich etablierte Kapnoperitoneum begünstigt steigende pCO<sub>2</sub>-Werte, welche zu einer Vasodilatation der zerebralen Arterien führen können. In Folge kann das zerebrale Blutvolumen steigen (Claassen et al., 2021). Die Einnahme der HDT-Position, der konsekutiv erhöhte ZVD und das etablierte Kapnoperitoneum können zu einem erhöhten ICP führen mit folglich verminderten CBF (Robba et al., 2016).

Wie bereits zu Beginn der Diskussion erwähnt, korreliert die signifikante Abnahme des CBF jedoch nicht mit den ermittelten SbtO<sub>2</sub> Werten, was mit den Ergebnissen von Tange et al. (Tange et al., 2010) übereinstimmt.

Der CI zeigte bei unseren Messungen kaum eine Änderung.

Am Ende der OP sollte nach Einnahme der Neutralposition der ZVD wieder im Normbereich liegen. Der inzwischen eventuell erhöhte intrakranielle Druck kann noch über eine gewisse Zeit bestehen bleiben. Den sich nur langsam rückbildenden ICP visualisierten Sahay et al. mittels sonografischer Messung des Diameters des Nervus opticus, welcher auch 5 Minuten nach Rückkehr in Neutralposition und CO<sub>2</sub>-Desufflation nicht seinen Ausgangsdiameter wieder erreicht hat (Sahay et al., 2018).

Der CBF in wieder eingenommener Neutralposition zeigt bei unserer Studienpopulation zwar keine signifikante Verringerung, jedoch eine geringfügige Reduzierung im Vergleich zum Ausgangswert. Dies könnte auf einen möglich bestehenden vorübergehend

erhöhten intrakraniellen Druck hinweisen, kann aber auch durch die Narkose und deren hämodynamischen Auswirkungen (Slupe und Kirsch, 2018) bedingt sein.

#### 4.3 Gegenüberstellung der Studiengruppen

Bei dem Vergleich der Studiengruppen fällt auf, dass die SbtO<sub>2</sub>-Werte in der HDT-Gruppe zu Beginn der OP höher sind, nicht aber der CBF. Diese Differenz kann möglicherweise mit dem Patient:innenkollektiv erklärt werden. So ist die Studienpopulation der BC-Gruppe älter und weist einen geringeren Hb als auch vermehrt arterielle Hypertonie auf. Nachweislich hat ein geringer Hb einen negativen Einfluss auf die zerebrale Oxygenierung (Floyd et al., 2003), wobei die Auswirkung in unserer Population noch nicht so groß ist, als dass der erniedrigte Hb zu einem erhöhten kompensatorischen CBF führt. Delis et al. konnten zeigen, dass über NIRS ermittelte fallende zerebrale Sauerstoffsättigungswerte mit abfallenden Hämoglobinwerten übereinstimmen (Delis et al., 2023), was unseren Erklärungsansatz für die unterschiedlichen SbtO<sub>2</sub>-Ausgangswerte stützt.

Bereits bei Anästhesie Induktion wiesen die Patient:innen der HDT-Gruppe geringere Werte hinsichtlich der Pulsdruckamplitude auf und es konnte ein signifikanter Abfall während der zweiten und dritten Messung verzeichnet werden, was durch den erhöhten venösen Rückfluss und die steigende Vorlast erklärbar ist (Hirvonen et al., 1995).

Da vor allem die Patient:innen der BC-Gruppe an Hypertonie erkrankt sind, ist es nachvollziehbar, dass eine erhöhte Pulsdruckamplitude in der BC-Gruppe bereits in den Ausgangsmessungen vorliegt. Die PP ist ein Wert der die Dehnbarkeit der großen Arterien widerspiegelt und steigt bei vorliegender arterieller Hypertonie (Moya-Amengual et al., 2023).

Die Patient:Innen der HDT-Gruppe wiesen im Vergleich zur BC-Gruppe signifikant höhere Körpergewichte und Körpergrößen auf. Eine mögliche Ursache hierfür könnte in der unterschiedlichen Geschlechterverteilung zwischen den Gruppen liegen. So ist der männliche Anteil in der HDT-Gruppe deutlich höher, was auch durch den operativen Eingriff Prostatektomie bedingt ist.

#### 4.4 Mögliche Erklärungen für divergierende Ergebnisse

Die von Schramm et al. beschriebene positionsbedingt beeinträchtigte zerebrale Autoregulation mit kompromittierter zerebraler Perfusion und folgendem möglichen Hirnödem (Schramm et al., 2014), können wir mit unseren Resultaten nicht bestätigen, da das CBV allzeit unverändert blieb. Jedoch zeigte sich in erwähnter Studie auch erst nach 145 min HDT eine Beeinträchtigung der zerebralen Autoregulation, wohingegen die Operationszeit unserer HDT-Studiengruppe mit durchschnittlich 201 min (Schnitt-Naht) nicht sehr viel länger war, um wesentliche Änderungen ggf. detektieren zu können.

Schlussendlich zeigen unsere Ergebnisse zwar in HDT einen verringerten CBF bei steigenden MAP und geringerer Pulsdruckamplitude, jedoch ist die zerebrale Oxygenierung unverändert.

Bezüglich der zerebralen Oxygenierung in HDT existiert eine sehr widersprüchliche Studienlage. So konnten Kalmar et al. (Kalmar et al., 2012) keinen Zusammenhang zwischen HDT und einer verringerten zerebralen Perfusion herstellen, jedoch mit einer erhöhten zerebralen Oxygenierung. Auch Park et al. (Park et al., 2009) haben einen Anstieg der zerebralen Oxygenierung in HDT in Zusammenhang mit dem Kapnoperitoneum beobachtet. Lahaye et al. (Lahaye et al., 2015) hingegen beschreiben zerebrale Sauerstoffsättigungsabfälle in HDT.

Diese widersprüchliche Studienlage lässt vermuten, dass Änderungen des CBF nicht adäquat durch die zerebrale Oxymetrie präsentiert werden.

Eine mögliche Erklärung hierfür können technische Variationen der einzelnen NIRS-Geräte sein. Abweichungen in der Leistungsfähigkeit zerebraler Oxymeter wurden bereits von Bickler und Kollegen dokumentiert (Bickler et al., 2013).

Das von uns genutzte Luciole-Gerät soll mithilfe eines in vorausgegangenen Studien entwickelten Algorithmus extrakranielle Signalkontaminationen minimieren. Hierbei wurden die Messungen über den Rheopatch® mit gleichzeitig vorgenommenen intrakraniellen Messungen verglichen (Keller et al., 2015; Keller et al., 2011). Jedoch ist es wahrscheinlicher, dass extrakranielle Kontaminationen weiterhin eine signifikante Rolle spielen und die Ergebnisse beeinflussen (Soehle et al., 2024).

Es bleibt ebenfalls zu bedenken, dass die zerebralen Parameter lediglich über dem Gebiet der Arteria cerebri media links abgenommen werden und nur bedingt als globale Parameter für die gesamte zerebrale Perfusion angenommen werden können.

#### 4.5 Einfluss der Anästhesie auf die Studienergebnisse

In einer Studie an wachen Patient:innen konnte gezeigt werden, dass unterschiedlich eingenommene HDT-Positionen trotz entsprechend höherem ICP bei extremerer HDT-Position, weder einen Einfluss auf den CBF, noch auf die zerebrale Autoregulation haben (Kato et al., 2022). Rückschließend kann vermutet werden, dass der erniedrigte CBF in unserer Studienpopulation unter anderem auf die Narkose zurückzuführen ist, da hierunter der zerebrale Metabolismus gesenkt wird und in Folge der CBF abnimmt (Slupe und Kirsch, 2018).

Ebenfalls hat die Narkose einen Einfluss auf die autonome Baroreflexregulation worüber auch die Kontrolle des zerebralen Blutflusses erfolgt. Die adaptive Erhöhung der Herzfrequenz und Erhöhung des Gefäßtonus zur Aufrechterhaltung des MAP kann durch die Anästhesie nachweislich abgeschwächt sein (Larsen et al., 2014).

#### 4.6 Postoperative neurologische Beeinträchtigung

Mittels des 6-item-screening Tests konnten wir mögliche vorbestehende kognitive Einschränkungen ermitteln bzw. ausschließen. Klinisch ergaben sich post-operativ keine neurologisch signifikanten Beeinträchtigungen, was mit den Resultaten von Park et al. übereinstimmt (Park et al., 2024).

Bezüglich der BC-Gruppe existieren einzelne Berichte über schwerwiegende neurologische postoperative Defizite (Salazar et al., 2019). Salazar et al. berichtet über eine systematische Überprüfung der Literatur hinsichtlich neurokognitiven Defiziten post-operativ nach Beach Chair-Lagerungen. Hier wird das Risiko mit 0,004% angegeben. Entsprechend ist es nicht verwunderlich, dass wir durch unsere Ergebnisse eine negative neurologische Beeinflussung nicht bestätigen können.

#### 4.7 Limitationen der Studie

Schlussendlich bringt unsere Studie einige Limitationen mit sich. So ist zum einen die final eingeschlossene Studienpopulation von 33 Patient:innen (22 HDT und 11 BC) relativ klein.

Durch anfänglich bestehende Störanfälligkeiten bei den NIRS Messungen konnten nicht alle inkludierte Patient:innen (n=44) in die Auswertung eingeschlossen werden.

Aufgrund des Einsatzes von bipolaren operativen Instrumenten kam es vor allem am Anfang der Studie durch die Elektrizität zu Messartefakten, sodass uns nicht alle erforderlichen Messungen vorlagen. In Folge nutzten wir im weiteren Studienablauf chirurgisch bedingt günstigere Zeiträume, in denen weniger elektrokoaguliert wurde, für die NIRS Messungen. Ab diesem Zeitpunkt erlangten wir valide Messungen.

Zudem weisen die Gruppen sehr heterogene Charakteristika auf. So waren im Schnitt die Patient:innen der BC-Gruppe älter und kränker. Die BC-Gruppe hatte präoperativ einen geringeren Hb im Vergleich zu der HDT-Gruppe, was zu möglichen kardiozirkulatorischen Kompensationsmechanismen führen kann. Ebenso hatten 82 % der BC-Patient:innen eine arterielle Hypertonie, was ebenfalls die zerebrale Autoregulation und mögliche Kompensationsmechanismen beeinflussen kann (Immink et al., 2004).

Zudem bekamen die Studiengruppen unterschiedliche Narkoseregime, was einen Einfluss auf die Interpretation der Resultate haben kann. So bekamen alle Patient:innen der HDT-Gruppe eine TIVA, während die BC-Gruppe eine balancierte Anästhesie erhielt. Das etablierte Kapnoperitoneum in Addition zu der HDT-Position kann ebenfalls einen Einfluss auf die gemessenen Parameter ausüben. Leider konnten wir das etCO<sub>2</sub> nicht im Nachgang aus unseren Daten extrahieren.

Zusammenfassend ist ein Vergleich der beiden Gruppen aufgrund der unterschiedlichen Gruppencharakteristika schwierig, beziehungsweise sollten die Resultate mittels einer größeren und homogenen Studienpopulation mit standardisiertem Narkoseprotokoll, bestätigt werden.

#### 4.8 Perspektiven für weiterführende Forschung

Um den zerebralen Blutfluss intraoperativ noch genauer detektieren zu können, wäre die Kombination eines NIRS mit der Indocyanidgrün-Dilutionsmethode und dem transkraniellen Doppler (TCD) denkbar. So könnte man zusätzlich über die transkraniellen Schallfenster die zerebrale Blutflussgeschwindigkeit sonografisch quanti-und qualifizieren und sie mit den ermittelten NIRS-Werten vergleichen.

Ein zusätzlich durchgeführtes paced breathing unter PPV-Beatmung könnte die zerebrale Autoregulation intraoperativ zuverlässiger quantifizieren, da durch unterschiedliche

Frequenzen Blutdruckänderungen entstehen welche einen Einfluss haben auf den zerebralen Blutfluss (Sperna Weiland et al., 2017).



## 5. Zusammenfassung

Die Ergebnisse unserer Studie konnten unsere Hypothese der möglichen zerebralen Minderperfusion aufgrund des erniedrigten arteriellen Druckes in BC-Position und der entgegengesetzten erhöhten Perfusion in HDT, nicht bestätigen.

Mittels NIRS und Indocyanidgrün-Dilution konnten wir erstmalig im operativen Setting zeigen, dass es zu einer signifikanten Abnahme des CBF in HDT-Position kommt, während in BC-Position der CBF unverändert bleibt. Der reduzierte CBF in HDT ist durch den erhöhten ZVD und den erhöhten ICP erklärbar, während in BC der venöse Druck sinkt und der zerebrale Perfusionsdruck offensichtlich kompensiert wird.

Die zerebrale Oxygenierung weist keine Änderungen auf, was möglicherweise auf eine intakte Autoregulation hinweisen kann. Die inkonsistenten Ergebnisse aus anderen Studien (Kalmar et al., 2012; Lahaye et al., 2015; Park et al., 2009) zeigen, dass die zerebrale Oxymetrie nicht direkt mit dem CBF korreliert und durch technische Variationen in den NIRS-Geräten beeinflusst werden kann (Bickler et al., 2013).

Auch wurde das neurologische Outcome der Patient:innen durch die Extrempositionen während der Operationen nicht beeinträchtigt.

Zur Bestätigung unserer Ergebnisse bedarf es einer prospektiv randomisierten Studie welche ein größeres und homogeneres Patient:innenkollektiv einschließt. Zudem sind standardisierte Anästhesieprotokolle empfehlenswert.

Vor allem bei Operationen welche eine deutlich längere OP-Zeit und Extrempositionen erfordern, könnte das NIRS mit der ICG-Dilutions-Methode genaueren Aufschluss geben über sich anbahnende mögliche kompromittierende zerebrale Perfusionsereignisse. Demzufolge könnte die Patient:innensicherheit und auch das neurologische Outcome mithilfe des zusätzlichen Monitorings verbessert werden.

## 6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: RheoPatch® mit integriertem Sensor und zu konnektierendes Lichtkabel.	13
Abbildung 2: schematische Darstellung der Funktionsweise eines NIRS .....	14
Abbildung 3: RheoLity 2.6 Analytics Platform® .....	15
Abbildung 4: Darstellung der RheoLity Software® .....	17
Abbildung 5: EV1000 FloTrac-Sensor® und Monitoring Plattform® .....	18
Abbildung 6: BIS™ 2-Kanal-Monitor® .....	19
Abbildung 7: BIS Quatro-Sensor® .....	19
Abbildung 8: Patientenmonitor Infinity® M540 und Acute Care System.....	20
Abbildung 9: Durchführung des Six-Item Screeners .....	21
Abbildung 10: Geräteturm mit beschriebenen Geräten .....	22
Abbildung 11: Studienflowchart der eingeschlossenen Patient:innen .....	25
Abbildung 12: Zerebrale Sauerstoffsättigung der BC- und HDT-Gruppe im Vergleich...	31
Abbildung 13: Globale und zerebrale hämodynamische Parameter .....	32
Abbildung 14: Pulsdruckamplitude .....	33

## 7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patient:innencharakteristika .....	27
Tabelle 2: Hämodynamische und zerebrale Parameter .....	29
Tabelle 3: Vergleich der Pulsdruckamplitude in HDT und BC .....	33

## 8. Literaturverzeichnis

- Azevedo E, Castro P. Cerebral autoregulation. In: Csiba L, Baracchini C, Hrsg. Manual of Neurosonology. Cambridge: Cambridge University Press, 2016: 215-227
- Bickler PE, Feiner JR, Rollins MD. Factors affecting the performance of 5 cerebral oximeters during hypoxia in healthy volunteers. *Anesth Analg*. 2013; 117: 813-823
- Brassard P, Labrecque L, Smirl JD, Tymko MM, Caldwell HG, Hoiland RL, Lucas SJE, Denault AY, Couture EJ, Ainslie PN. Losing the dogmatic view of cerebral autoregulation. *Physiol Rep*. 2021; 9: e14982
- Callahan CM, Unverzagt FW, Hui SL, Perkins AJ, Hendrie HC. Six-item screener to identify cognitive impairment among potential subjects for clinical research. *Med Care*. 2002; 40: 771-781
- Casati A, Fanelli G, Pietropaoli P, Proietti R, Tufano R, Montanini S, Collaborative Italian Study Group on Anaesthesia in Elderly P, Danelli G, Nuzzi M, Mentegazzi F, Torri G, Martani C, Spreafico E, Fierro G, Pugliese F, De Cosmo G, Aceto P, Servillo G, Monaco F. Monitoring cerebral oxygen saturation in elderly patients undergoing general abdominal surgery: a prospective cohort study. *Eur J Anaesthesiol*. 2007; 24: 59-65
- Claassen J, Thijssen DHJ, Panerai RB, Faraci FM. Regulation of cerebral blood flow in humans: physiology and clinical implications of autoregulation. *Physiol Rev*. 2021; 101: 1487-1559
- Crespi F. Near-infrared spectroscopy (NIRS): a non-invasive in vivo methodology for analysis of brain vascular and metabolic activities in real time in rodents. *Curr Vasc Pharmacol*. 2007; 5: 305-321
- Delis A, Bautz D, Ehrentraut H, Doll K, Randau TM, Strauss AC, Habicht I, Guresir E, Bogatsch H, Kranke P, Wittmann M, Meybohm P, Velten M. Effects of Different Hemoglobin Levels on Near-Infrared Spectroscopy-Derived Cerebral Oxygen Saturation in Elderly Patients Undergoing Noncardiac Surgery. *Transfus Med Hemother*. 2023; 50: 270-276
- Denault A, Deschamps A, Murkin JM. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. 2007; 11: 274-281
- Dräger Medical Deutschland GmbH, 2025: Infinity® Acute Care System. [https://www.draeger.com/de\\_de/Products/Infinity-Acute-Care-System](https://www.draeger.com/de_de/Products/Infinity-Acute-Care-System) (Zugriffsdatum: 20.3.2025)
- Duhem H, Moore JC, Rojas-Salvador C, Salverda B, Lick M, Pepe P, Labarere J, Debaty G, Lurie KG. Improving post-cardiac arrest cerebral perfusion pressure by elevating the head and thorax. *Resuscitation*. 2021; 159: 45-53
- Edwards Lifesciences Corporation, 2025: FloTrac system. <https://www.edwards.com/de/devices/Hemodynamic-Monitoring/FloTrac> (Zugriffsdatum: 20.03.2025)

- Floyd TF, McGarvey M, Ochroch EA, Cheung AT, Augoustides JA, Bavaria JE, Acker MA, Pochettino A, Detre JA. Perioperative changes in cerebral blood flow after cardiac surgery: influence of anemia and aging. *Ann Thorac Surg.* 2003; 76: 2037-2042
- Forcione M, Chiarelli AM, Davies DJ, Perpetuini D, Sawosz P, Merla A, Belli A. Cerebral perfusion and blood-brain barrier assessment in brain trauma using contrast-enhanced near-infrared spectroscopy with indocyanine green: A review. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2020; 40: 1586-1598
- Greene NH, Lee LA. Modern and Evolving Understanding of Cerebral Perfusion and Autoregulation. *Adv Anesth.* 2012; 30: 97-129
- Grune F, Klimek M. Cerebral blood flow and its autoregulation - when will there be some light in the black box? *Br J Anaesth.* 2017; 119: 1077-1079
- Hamann T, 2025: CNS Monitor. <https://www.neurovisio.de/moberg-icu/> (Zugriffsdatum: 4.3.2025)
- Hirvonen EA, Nuutinen LS, Kauko M. Hemodynamic changes due to Trendelenburg positioning and pneumoperitoneum during laparoscopic hysterectomy. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1995; 39: 949-955
- Hoiland RL, Fisher JA, Ainslie PN. Regulation of the Cerebral Circulation by Arterial Carbon Dioxide. *Compr Physiol.* 2019; 9: 1101-1154
- Hopton P, Walsh TS, Lee A. Measurement of cerebral blood volume using near-infrared spectroscopy and indocyanine green elimination. *J Appl Physiol (1985).* 1999; 87: 1981-1987
- Immink RV, van den Born BJ, van Montfrans GA, Koopmans RP, Karemaker JM, van Lieshout JJ. Impaired cerebral autoregulation in patients with malignant hypertension. *Circulation.* 2004; 110: 2241-2245
- Joshi B, Ono M, Brown C, Brady K, Easley RB, Yenokyan G, Gottesman RF, Hogue CW. Predicting the limits of cerebral autoregulation during cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg.* 2012; 114: 503-510
- Kalmar AF, Dewaele F, Foubert L, Hendrickx JF, Heeremans EH, Struys MM, Absalom A. Cerebral haemodynamic physiology during steep Trendelenburg position and CO<sub>2</sub> pneumoperitoneum. *Br J Anaesth.* 2012; 108: 478-484
- Kato T, Kurazumi T, Konishi T, Takko C, Ogawa Y, Iwasaki KI. Effects of -10 degrees and -30 degrees head-down tilt on cerebral blood velocity, dynamic cerebral autoregulation, and noninvasively estimated intracranial pressure. *J Appl Physiol (1985).* 2022; 132: 938-946
- Keller E, Froehlich J, Baumann D, Bocklin C, Sikorski C, Oberle M, Muser M. Detection of delayed cerebral ischemia (DCI) in subarachnoid haemorrhage applying near-infrared spectroscopy: elimination of the extracerebral signal by transcutaneous and intraparenchymatous measurements in parallel. *Acta Neurochir Suppl.* 2015; 120: 243-247
- Keller E, Froehlich J, Muroi C, Sikorski C, Muser M. Neuromonitoring in intensive care: a new brain tissue probe for combined monitoring of intracranial pressure (ICP) cerebral blood flow (CBF) and oxygenation. *Acta Neurochir Suppl.* 2011; 110: 217-220

Krupp S, Seebens A, Kasper J, Willkomm M, Balck F. [Validation of the German version of the 6item screener : Brief cognitive test with broad application possibilities]. Z Gerontol Geriatr. 2018; 51: 275-281

Laflam A, Joshi B, Brady K, Yenokyan G, Brown C, Everett A, Selnes O, McFarland E, Hogue CW. Shoulder surgery in the beach chair position is associated with diminished cerebral autoregulation but no differences in postoperative cognition or brain injury biomarker levels compared with supine positioning: the anesthesia patient safety foundation beach chair study. Anesth Analg. 2015; 120: 176-185

Lahaye L, Grasso M, Green J, Biddle CJ. Cerebral tissue O2 saturation during prolonged robotic surgery in the steep Trendelenburg position: an observational case series in a diverse surgical population. J Robot Surg. 2015; 9: 19-25

Larsen SL, Lyngeraa TS, Maschmann CP, Van Lieshout JJ, Pott FC. Cardiovascular consequence of reclining vs. sitting beach-chair body position for induction of anesthesia. Front Physiol. 2014; 5: 187

Lassen NA. Cerebral blood flow and oxygen consumption in man. Physiol Rev. 1959; 39: 183-238

Luciole Medical AG, 2025a: Products. <https://luciolemedical.com/products> (Zugriffsdatum: 20.3.2025)

Luciole Medical AG, 2025b: Technology. <https://luciolemedical.com/technology#innovation> (Zugriffsdatum: 20.3.2025)

Maerz DA, Beck LN, Sim AJ, Gainsburg DM. Complications of robotic-assisted laparoscopic surgery distant from the surgical site. Br J Anaesth. 2017; 118: 492-503

Mankovsky BN, Piolot R, Mankovsky OL, Ziegler D. Impairment of cerebral autoregulation in diabetic patients with cardiovascular autonomic neuropathy and orthostatic hypotension. Diabet Med. 2003; 20: 119-126

Medtronic GmbH, 2025: Überwachung des Gehirns. <https://www.medtronic.com/covidien/de-de/products/brain-monitoring/bis-tiva.html> (Zugriffsdatum: 20.3.2025)

Moerman A, Meert F, De Hert S. Cerebral near-infrared spectroscopy in the care of patients during cardiological procedures: a summary of the clinical evidence. J Clin Monit Comput. 2016; 30: 901-909

Moerman AT, De Hert SG, Jacobs TF, De Wilde LF, Wouters PF. Cerebral oxygen desaturation during beach chair position. Eur J Anaesthesiol. 2012; 29: 82-87

Moya-Amengual A, Ruiz-Garcia A, Pallares-Carratala V, Serrano-Cumplido A, Prieto-Diaz MA, Segura-Fragoso A, Cinza-Sanjurjo S, researchers of the Is. Elevated pulse pressure and cardiovascular risk associated in Spanish population attended in primary care: IBERICAN study. Front Cardiovasc Med. 2023; 10: 1090458

Ozgun A, Sargin A, Karaman S, Gunusen I, Alper I, Askar FZ. The relationship between the Trendelenburg position and cerebral hypoxia inpatients who have undergone robot-assisted hysterectomy and prostatectomy. Turk J Med Sci. 2017; 47: 1797-1803

- Park EY, Koo BN, Min KT, Nam SH. The effect of pneumoperitoneum in the steep Trendelenburg position on cerebral oxygenation. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2009; 53: 895-899
- Park JH, Park I, Yoon J, Sim Y, Kim J, Lee SK, Joo B. Mesial temporal atrophy in preoperative MRI rather than steep Trendelenburg position is associated with postoperative delirium in patients undergoing a major urologic surgery. *Int Urol Nephrol*. 2024; 56: 1543-1550
- Paulson OB, Strandgaard S, Edvinsson L. Cerebral autoregulation. *Cerebrovasc Brain Metab Rev*. 1990; 2: 161-192
- Peters L, Wilhelm W. Neuromonitoring. In: Wilhelm W, Hrsg. *Praxis der Anästhesiologie*. 1.Auflage Auflage. Berlin: Springer, 2018: 219-220
- Robba C, Cardim D, Donnelly J, Bertuccio A, Bacigaluppi S, Bragazzi N, Cabella B, Liu X, Matta B, Lattuada M, Czosnyka M. Effects of pneumoperitoneum and Trendelenburg position on intracranial pressure assessed using different non-invasive methods. *Br J Anaesth*. 2016; 117: 783-791
- Sahay N, Sharma S, Bhadani UK, Singh A, Sinha C, Sahay A, Ranjan A, Agarwal M. Effect of Pneumoperitoneum and Patient Positioning on Intracranial Pressures during Laparoscopy: A Prospective Comparative Study. *J Minim Invasive Gynecol*. 2018; 25: 147-152
- Salazar DH, Davis WJ, Ziroglu N, Garbis NG. Cerebral Desaturation Events During Shoulder Arthroscopy in the Beach Chair Position. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2019; 3: e007
- Schramm P, Treiber AH, Berres M, Pestel G, Engelhard K, Werner C, Closhen D. Time course of cerebrovascular autoregulation during extreme Trendelenburg position for robotic-assisted prostatic surgery. *Anaesthesia*. 2014; 69: 58-63
- Skytjoti M, Elstad M, Sovik S. Internal Carotid Artery Blood Flow Response to Anesthesia, Pneumoperitoneum, and Head-up Tilt during Laparoscopic Cholecystectomy. *Anesthesiology*. 2019; 131: 512-520
- Slupe AM, Kirsch JR. Effects of anesthesia on cerebral blood flow, metabolism, and neuroprotection. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2018; 38: 2192-2208
- Soehle M, Langer J, Schindler E, Manekeller S, Coburn M, Thudium M. Effect of Extracerebral Contamination on Near-infrared Spectroscopy as Revealed during Organ Donation: A Prospective Observational Study in Brain-dead Organ Donors. *Anesthesiology*. 2024; 140: 231-239
- Sperna Weiland NH, Hermanides J, Hollmann MW, Preckel B, Stok WJ, van Lieshout JJ, Immink RV. Novel method for intraoperative assessment of cerebral autoregulation by paced breathing. *Br J Anaesth*. 2017; 119: 1141-1149
- Tange K, Kinoshita H, Minonishi T, Hatakeyama N, Matsuda N, Yamazaki M, Hatano Y. Cerebral oxygenation in the beach chair position before and during general anesthesia. *Minerva Anesthesiol*. 2010; 76: 485-490
- Zeuzem-Lampert C, Groene P, Brummer V, Hofmann-Kiefer K. [Cardiorespiratory effects of perioperative positioning techniques]. *Anaesthesist*. 2019; 68: 805-813

## 9. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin unter der Betreuung von Prof. Dr. med. Martin Söhle und PD Dr. med. Marcus Thudium durchgeführt.

An der Konzeption und dem Studiendesign war ich maßgeblich beteiligt. Die Patient:innenrekrutierung und Datenerhebung erfolgte hauptsächlich durch mich unter Supervision von PD Dr.med. Marcus Thudium.

Ebenfalls konnte ich erfolgreich die Daten mit Unterstützung durch die Firma Luciole und Moberg aus beschriebenen Geräten extrahieren.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Anleitung durch Dr. med. Oremek und nach Beratung durch Leonie Weinhold aus dem Institut für medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie der Universität Bonn durch mich.

Eine ausgeweitete Analyse und Interpretation in meiner Arbeit erfolgte durch mich.

Bei der schriftlichen Erstellung der Arbeit verwendete ich ChatGPT, um die Ausdrucksweise und Lesbarkeit zu verbessern. Entsprechend erstellte Passagen wurden überprüft.

Ich versichere, die Dissertationsschrift selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.



## 10. Veröffentlichung

Teile der Inhalte der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in der folgenden Publikation veröffentlicht:

Oremek MJ and von Barga A et al. Regional cerebral blood flow is compromised during robotic surgery in the Trendelenburg position, but not during surgery in the beach chair position: an observational study. British Journal of Anaesthesia, 2024 Oct; 133(4): 896-898.

<https://doi.org/10.1016/j.bja.2024.06.035>

## 11. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen mitwirkenden Personen bedanken, welche es möglich gemacht haben, dass diese Studie durchgeführt und publiziert werden konnte.

Besonders bei meinem Betreuer PD Dr. med. Marcus Thudium möchte ich mich bedanken, welcher mich schon im praktischen Jahr auf das zu untersuchende Thema aufmerksam gemacht hat, immer mit Antworten auf meine Fragen bereitstand und in jeglicher Hinsicht eine große Unterstützung war.

Auch gilt mein ausdrücklicher Dank meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Martin Söhle. Insbesondere möchte ich hier die Unterstützung während des Vortrages unserer Publikation auf dem Euroanesthesia 2024 hervorheben.

Des Weiteren gilt mein Dank Dr. med. Maximilian Oremek, welcher vor allem bei der statistischen Auswertung und der Publikation unserer Studie mitgewirkt hat.

Ebenso gilt mein Dank Leonie Weinhold des Instituts für medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie, welche zusätzlich bei der statistischen Auswertung geholfen hat.

Auch der Anästhesiepflege möchte ich danken, dass Sie während der Datenerhebung die Geduld aufgebracht haben gemeinsam mit mir das Monitoring an die Patient:innen anzubringen, auch wenn es viel Aufwand war.

Meiner Familie danke ich vor allem für die Geduld und insbesondere danke ich meinem Mann, Maximilian von Barga, welcher nicht nur einmal meine Dissertation durchgelesen und korrigiert hat.