

Aus der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie  
Direktor: Univ. Prof. Dr. med. Felix C. F. Schmitt  
des Fachbereiches Medizin der Philipps-Universität Marburg

**Pericapsular Nerve Group Block zur postoperativen Analgesie nach  
elektiver Hüft-Total Endoprothese Implantation**

Inaugural-Dissertation

Zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin dem Fachbereich  
Medizin der

Philipps-Universität Marburg vorgelegt von

**Konstantina Platanioti**

Aus Athen, Griechenland

Frankfurt, 2026

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:  
20.02.2026

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Prof. Dr. med. Hertl

Referent: Prof. Dr. med. Steinfeldt

Korreferent: Prof. Dr. med. Warnke

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Hintergrund und Zielsetzung .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Anatomie des Plexus lumbalis und Innervation des Hüftgelenks .....</b>	<b>7</b>
1.2.1 Plexus lumbalis .....	7
1.2.2. Innervation des Hüftgelenks .....	8
<b>1.3. Lokalanästhetika .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Der PENG-Block .....</b>	<b>12</b>
1.4.1 Durchführung und Wirkung des PENG-Blocks .....	12
1.4.2 Aktuelle Datenlage zur Effektivität des PENG-Blocks .....	15
<b>1.5. Zielsetzung.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Methodik.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Patientenkollektiv .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Studiendesign .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Studiengruppen .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Hypothese .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Endpunkte .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6 Pseudonymisierung .....</b>	<b>19</b>
<b>2.7 Messinstrumente .....</b>	<b>19</b>
2.7.1 Morphinäquivalent-Verbrauch (MEQ in Milligramm):.....	19
2.7.2. Numerische Ratingskala (NRS).....	19
<b>2.8 Durchführung der Allgemeinanästhesie .....</b>	<b>20</b>
<b>2.9 Durchführung des PENG-Blocks .....</b>	<b>21</b>
<b>2.10 Postoperative systemische Analgesie.....</b>	<b>23</b>
<b>2.11 Statistik .....</b>	<b>24</b>

<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Patientenverteilung.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Demographie.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Morphinäquivalent-Bedarf (MEQ) .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Numerische Ratingskala (NRS) .....</b>	<b>34</b>
3.4.1. Gesamter Schmerzverlauf.....	39
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 Ergebnisse im Kontext aktueller Literatur .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Limitationen .....</b>	<b>45</b>
<b>4.4 Schlussfolgerung für die klinische Praxis .....</b>	<b>46</b>
<b>5. Zukünftige Studien .....</b>	<b>47</b>
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>48</b>
<b>7. Summary .....</b>	<b>50</b>
<b>8. Literatur .....</b>	<b>52</b>
<b>9. Anhang.....</b>	<b>62</b>
<b>A) Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>62</b>
<b>B) Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>64</b>
<b>C) Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>65</b>

## 1. Einleitung

### 1.1. Hintergrund und Zielsetzung

In der Orthopädie und Unfallchirurgie ist die primäre Hüftendoprothetik (Hüft-TEP) eine der häufigsten Operationen, die mit relevanten postoperativen Schmerzen einhergeht (5, 14, 19, 63). Einen Baustein der postoperativen Schmerztherapie stellt die frühe postoperative Mobilisation der Patienten dar, womit sie nicht nur der Minimierung postoperativer Komplikationen, sondern auch der Verbesserung des funktionellen Ergebnisses dient (74). In diesem Kontext ist es von Relevanz, dass Patienten mit schmerzbedingten Mobilitätseinschränkungen eine verlängerte Rehabilitationszeit und somit eine verlängerte Krankenhausverweildauer aufweisen (14, 44). Somit erklärt sich die besondere Bedeutung effektiver analgetischer Konzeptionen für die Hüft-Endoprothetik im Rahmen der „Fast-track Chirurgie“ (3, 30, 36). Die rasche Mobilisation und Rekonvaleszenz der Patienten wird in der modernen Hüft-Endoprothetik in den Mittelpunkt gestellt. Die effektive Analgesie ist dazu eine Grundvoraussetzung, um verbesserte und dabei beschleunigte Prozesse zu ermöglichen. Perioperativ wird in der Regel eine systemische Analgesie mit der Kombination aus Opioiden und nicht steroidal Antirheumatika (NSAR) -wie z.B. Ibuprofen- eingesetzt. Als weitere Säule der Analgesie hat sich die Regionalanästhesie in den letzten Jahren als Ergänzung zu der systemischen Analgesie etabliert. Sie führt zur Einsparung von Medikamenten mit hohem Nebenwirkungspotential und reduziert somit das Risiko medikamentenassoziierter Komplikationen. Die Kombination aus Allgemeinanästhesie und peripheren Nervenblockaden führt zu einer Reduktion der intraoperativen Anästhetikadosierung und damit zu einer verkürzten Aufwachphase. Zusätzlich erzielt die Regionalanästhesie eine intra- und postoperative Einsparung von Opioiden und sie erreicht somit eine Minimierung von Nebenwirkungen wie postoperative Übelkeit, Erbrechen (PONV), Atemdepression, Sedierung,

Obstipation, kognitive Defizite und das postoperative Delir (11, 13, 18, 29, 43, 45, 55, 60, 62, 64, 76, 79). Sowohl ökonomische Aspekte wie Narkosemitteleinsparung als auch ökologische Aspekte wie die Reduktion von umweltschädlichen Emissionen kommen noch hinzu (60, 78). Die Regionalanästhesie bietet verschiedene Verfahren an. Unterschieden wird zwischen den neuraxialen Verfahren wie die Spinal- und die Periduralanästhesie und den peripheren Nervenblockaden.

Es gibt unterschiedliche periphere Nervenblockaden, die in der Endoprothetik und besonders bei den Hüft-TEP-Operationen zum Einsatz kommen (4). So sind der Fascia-iliaca-Compartment Block (FICB) und der N. femoralis Block zu nennen (17, 35, 68, 72). Sowohl die Blockade des N. femoralis als auch der FICB führen durch die Blockade der sensiblen Nervenanteile nicht nur zu einer effektiven Analgesie, sondern durch die Blockade der motorischen Fasern des N. femoralis auch zu einer motorischen Blockade der ventralen Oberschenkel- und Hüftmuskulatur. Daraus resultiert eine motorische Schwäche oder sogar Plegie des M. quadriceps. In der Folge kann -trotz effektiver Analgesie- die postoperative Mobilisation eingeschränkt oder unmöglich sein. Zusätzlich ist unter Beeinträchtigung der Motorik von einer erhöhten Sturzgefahr im Rahmen der Mobilisierung auszugehen (33, 35, 44).

Vor dem Hintergrund der Rehabilitation und der Kosteneffizienz ist eine Minimierung der Krankenhausverweildauer ein wichtiges Ziel. Dazu ist eine möglichst frühe Mobilisation erforderlich. In den letzten 20 Jahren haben sich Fast-Track-Konzepte entwickelt, nach denen eine Frühmobilisation ab dem Aufwachraum vorgesehen ist (30, 36). Die bisher üblichen Blockadeverfahren, die mit motorischen Blockaden einhergehen, sind aus den oben genannten Gründen für eine derartige Frühmobilisation kontraindiziert. Darauf basierend hat sich ein alternatives Konzept etabliert, welches von Motorik einschränkenden peripheren Nervenblockaden absieht. Im klinischen Alltag wird demnach lediglich eine lokale Infiltration mit Lokalanästhetika im

Operationsgebiet durchgeführt. Auch mit dieser Art „lokaler Anästhesie“ kann der Bedarf an postoperativer systemischer Analgesie durch Opiode reduziert werden (1, 2, 4, 40). Vorliegende Daten weisen jedoch darauf hin, dass die erzielte Analgesiequalität nicht jener von Nervenblockaden entspricht (1, 23, 25, 49, 50).

In den letzten Jahren wurden neue periphere Nervenblockaden entwickelt, bei denen die sensiblen Fasern isoliert blockiert werden. Motorische Einschränkungen sind dadurch auf ein Minimum reduziert und die Mobilisation ist somit weniger beeinträchtigt. Diese sogenannten „sensiblen“ Blockaden haben sich in den letzten Jahren für weitere Indikationen etabliert z.B. für die Knie-Endoprothetik, Clavicula Frakturen und Bauchwandchirurgie (28, 69, 81). L. Girón-Arango et al. haben 2018 eine vergleichbare sensible Blockade für die Hüft-Endoprothetik publiziert, die in den letzten Jahren Einzug in die Klinik gefunden hat (27). Die vorliegende Untersuchung überprüft auf Basis von retrospektiven Daten die postoperative analgetische Effektivität dieser relativ neuartigen Nervenblockade (PENG-Blockade) bei Patienten nach elektiver, totaler Hüftendoprothetik.

## **1.2. Anatomie des Plexus lumbalis und Innervation des Hüftgelenks**

### **1.2.1 Plexus lumbalis**

Der Plexus lumbalis wird aus Fasern des 12. Thorakalsegmentes und aus den ventralen Ästen der Lumbalsegmente (L1-L4) gebildet (9, 80). In der Regel beteiligen sich die Segmente L2-L4 an der Bildung von N. femoralis, N. obturatorius und N. cutaneus femoris lateralis (9, 80). Der Plexus verläuft nach seinem Austritt aus den Foramina intervertebralia, meist vom M. psoas bedeckt, nach peripher (9, 80). Nachdem sich bereits der N. iliohypogastricus und N. ilioinguinalis abgespalten haben, verlassen frühzeitig die Nn. genitofemoralis und cutaneus femoris lateralis den Pl. lumbalis (9, 80).

Der N. cutaneus femoris lateralis (L2/3) zieht über den M. iliopsoas medial der Spina iliaca anterior superior unter dem Leistenband hindurch und innerviert als rein sensibler Nerv die Haut der lateralen Oberschenkelseite (65). Der N. obturatorius (L2/4) verlässt den Plexus medial des M. psoas und zieht gemeinsam mit der V. und A. obturatoria durch den Canalis obturatorius zur Oberschenkelinnenseite (65). Bei einigen Menschen findet sich ein N. obturatorius accessorius, der die Hüftgelenkscapsel innerviert. Der N. obturatorius innerviert zusätzlich motorisch die Adduktoren des Oberschenkels (65). Der N. femoralis (L2/4) versorgt sensibel die Oberschenkel-Vorderseite sowie die Innenseite des Unterschenkels bis zum Sprunggelenk. Er zieht ventral des M. psoas unter dem Leistenband durch die Lacuna musculorum und ist motorisch für den M. quadriceps femoris, M. sartorius und M. pectineus zuständig (26, 56, 65).

### **1.2.2. Innervation des Hüftgelenks**

#### **Innervation der vorderen Hüftgelenkscapsel**

Der N. femoralis gibt Äste an die vordere Hüftgelenk-Kapsel ab. Diese werden in obere und untere Äste mit Ausgangspunkt am Ligamentum inguinale unterteilt (65, 71). Die oberen Äste entspringen direkt vom Hauptstamm des N. femoralis, sie verlaufen am lateralen Rand des M. psoas major und von dort durch den M. iliopsoas unterhalb des Leistenbandes (65, 71). Die oberen Äste innervieren alle vier Quadranten der vorderen Hüftgelenk-Kapsel, wobei in 15% der Fälle auch inferiore Äste den inferolateralen Teil mit innervieren (65, 71).

Der N. obturatorius ist in großem Umfang an der sensiblen Versorgung der Hüftgelenk-Kapsel beteiligt (71). Er entspringt aus dem Pl. lumbalis und verläuft am medialen Rand des M. iliopsoas nach kaudal (71). Von hier tritt er in das Becken ein und verläuft bis zum Canalis obturatorius (71). Der N. obturatorius

teilt sich direkt nach seinem Durchtritt durch den Canalis obturatorius in vordere und hintere Äste (71). Von den posterioren und anterioren Ästen gehen in unterschiedlichen Varianten Äste ab, die vor allem den inferomedialen und den inferolateralen Teil der vorderen Hüftgelenkscapsel innervieren (58, 71) (Abb.1).

Die Studienlage für das Vorliegen eines N. obturatorius accessorius ist heterogen. Kampa und Kollegen berichten über eine Inzidenz von 5% für das Vorliegen des N. obturatorius accessorius im Gegensatz zu Short und Kollegen, die in 53,8% der untersuchten Präparate einen vorliegenden Nerv gefunden haben (34, 71). Dieser Nerv versorgt anteromedial die vordere Kapsel des Hüftgelenkes (34, 71).

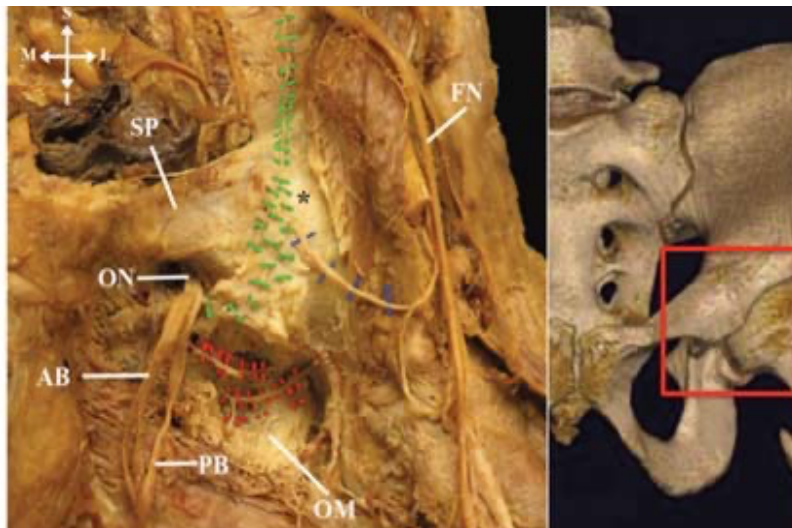


Abb. 1: Kadaverschnitt der Hüfte. Linkes Bild: Detaillierte Ansicht des roten Rechtecks. Ansicht von ventral. **SP**: Ramus superior Os pubis, **FN**: Nervus femoralis (blau), **ON**: Nervus obturatorius (rot), **ON**: Nervus obturatorius accesorius (grün). **AB**: vordere Äste des Nervus obturatorius, **PB**: posteriore Äste des Nervus obturatorius, **OM**: Obturatormembran. Short et al. (71)

## Innervation der posterioren Hüftgelenkskapsel

Die Innervation der hinteren Hüftgelenkskapsel ist weniger präzise untersucht als die Innervation der vorderen Kapsel des Hüftgelenks. Die Literatur beschreibt eine Versorgung mit Ästen aus dem N. ischiadicus, N. musculi quadratus femoris (NQF), N. gluteus superior und dem N. gluteus inferior (56). Der N. ischiadicus gibt einige Äste für die Innervation der hinteren Hüftgelenkskapsel ab (56). Diese Äste verlaufen zwischen der Sehne vom M. gemellus superior und M. obturatorius internus, um an die hintere Kapsel der Hüfte zu gelangen (56). Eine Kadaverstudie von Nagpal et al. (56) zeigte, dass der NQF hauptsächlich für die Innervation der hinteren Gelenk-Kapsel zuständig ist (s. Abb.2).

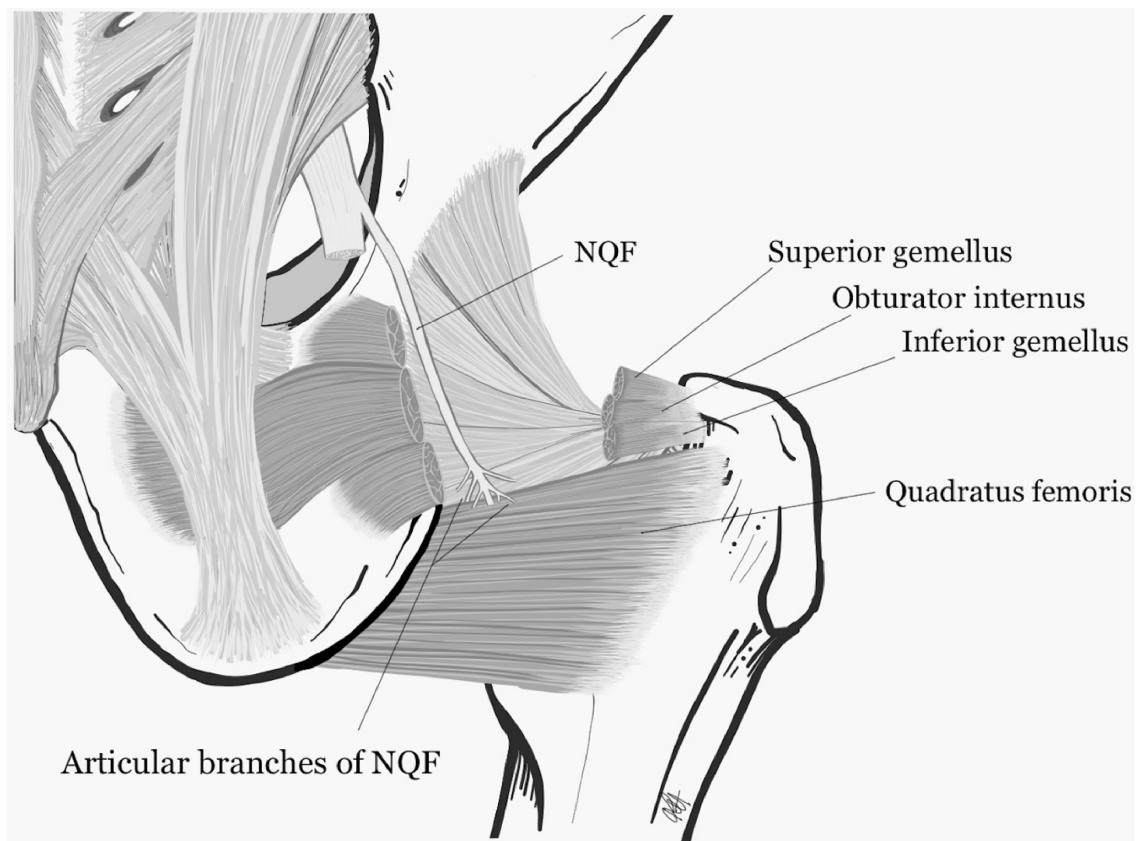


Abb. 2: Beitrag des N. quadratus femoris (NQF) zur Innervation der hinteren Hüftkapsel. Nagpal et al. (56)

### 1.3. Lokalanästhetika

Lokalanästhetika spielen eine entscheidende Rolle in der Regionalanästhesie. Diese Medikamente erwirken durch Blockade der schnellen Na<sup>+</sup>-Kanäle eine Unterbrechung der Nervenleitungsfunktion (6, 24). Die Verwendung von Lokalanästhetika zur Blockade von Nervenstrukturen bietet zahlreiche Vorteile, darunter eine schnellere postoperative Genesung, reduzierte Schmerzmittelbedarf und ein geringeres Risiko für Komplikationen, die mit einer Allgemeinanästhesie verbunden sind (6, 15, 24). Zu den gängigen Lokalanästhetika gehören Lidocain, Prilocain, Mepivacain, Bupivacain und Ropivacain, die je nach spezifischem Einsatzgebiet und gewünschter Dauer der Anästhesie ausgewählt werden (6, 24). Das Verständnis der Wirkungsweise, Dosierung und der potenziellen Risiken dieser Anästhetika ist unerlässlich für die Sicherheit und den Komfort des Patienten während medizinischer Eingriffe (24, 80). Lokalanästhetika sind aromatische Amine und lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen, diejenigen vom Amid-Typ (wie Lidocain, Ropivacain, Mepivacain) und die vom Ester-Typ (wie Procain) wobei die Zugehörigkeit zu diesen Gruppen keine Aussage über deren lokalanästhetische Potenz zulässt (80). Diese zwei Typen unterscheiden sich sowohl in ihre chemische Struktur, Wirkungseintritt und Wirkungsdauer als auch von der Wirkstärke und dem Nebenwirkungsprofil (80). Die Wahl des Lokalanästhetikums hängt von der Dauer und der Art des Eingriffs ab (80). Für die Eingriffe an der Hüfte kommen sowohl die langwirksamen als auch die kurzwirksamen Lokalanästhetika in Frage - je nach Wahl des Regionalanästhesie Verfahrens und Wunsch der postoperativen Analgesie-Dauer. Auch die Toxizität des Lokalanästhetikums kann von Bedeutung sein. So wurde zum Beispiel für Ropivacain (s. Abb. 3) eine bessere analgetische Potenz und geringere Toxizität im Vergleich zu anderen langwirksamen Lokalanästhetika gezeigt (15).

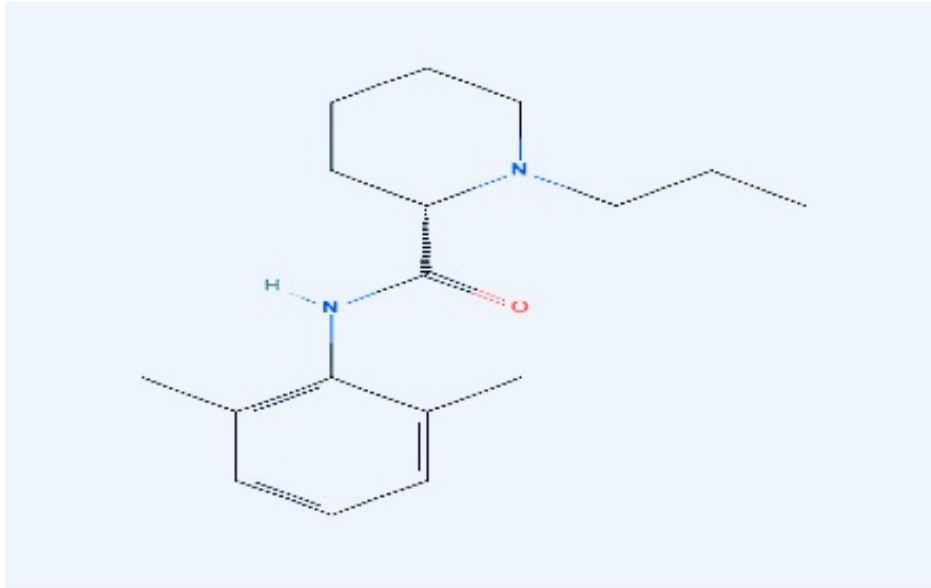


Abb. 3: Chemische Strukturformel des Ropivacains, (PubChem Compound Summary for CID 175805. Retrieved July 7,2024, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ropivacaine>)

## 1.4. Der PENG-Block

### 1.4.1 Durchführung und Wirkung des PENG-Blocks

Periphere Nerven-Blockaden wurden in den letzten Jahren immer relevanter für die perioperative Analgesie nach Implantation von Hüft- Endoprothesen (52, 3). Der PENG (Pericapsular nerve Group) -Block ist ein relativ neues Regionalanästhesie Verfahren und wurde 2018 von L. Girón-Arango et al. publiziert (27). Der PENG-Block fand in dieser klinischen Studie bei Patienten mit Hüftfrakturen seine Anwendung (27). Im Wesentlichen werden die sensiblen Äste des N. femoralis blockiert, die den anterolateralen Anteil der Hüftgelenkscapsel versorgen (27). Bei entsprechender Ausbreitung des Lokalanästhetikums werden zusätzlich die sensiblen Äste des N. obturatorius blockiert (27). Die Äste des N. obturatorius versorgen den anteromedialen Anteil der Hüftgelenkscapsel (27). Neueste anatomische Studien von Short et al. (71) haben dies bestätigt. Bei vorherigen histologischen Studien wurde entdeckt, dass der ventrale Anteil der Hüftkapsel überwiegend nozizeptive Fasern enthält im

Gegensatz zum dorsalen Anteil, der überwiegend Mechanorezeptoren besitzt (26, 56, 65).

Für die Durchführung der Blockade in der Studie von Girón et al. (27) waren die Patienten in Rückenlage positioniert. Es kam eine konvexe Ultraschall-Sonde (2-5 MHz) zum Einsatz (27). Zu Beginn wurde der Schallkopf transversal über der Spina iliaca anterior inferior (AIIS) aufgesetzt und durch Rotation der Sonde von 45° gegen den Uhrzeigersinn positioniert (s. Abb. 4).

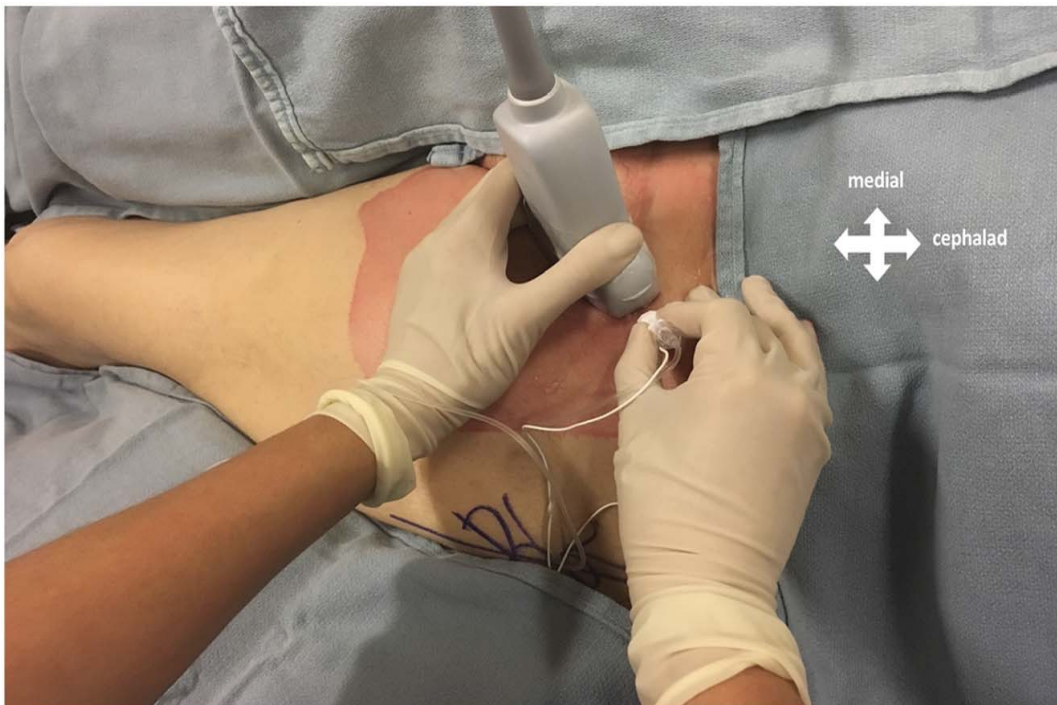


Abb. 4: Die Abbildung zeigt die Lagerung der Hüfte, die Positionierung der Ultraschallsonde und die Insertion der Nadel. L. Girón-Arango et al. (27)

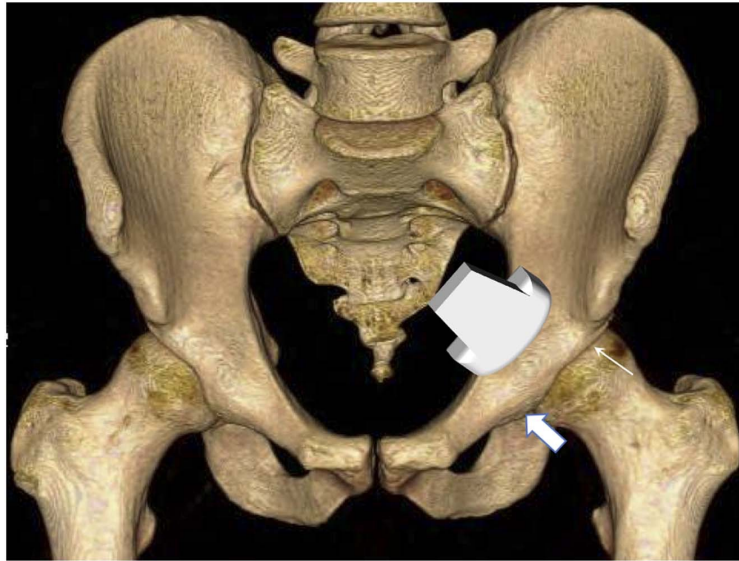


Abb. 5: Die knöcherne Region der Abbildung 4 wird hier mit der Positionierung der Sonde abgebildet. Schmäler Pfeil: Spina iliaca anterior inferior, dicker Pfeil: Eminentia iliopubica. L. Girón-Arango et al. (27)

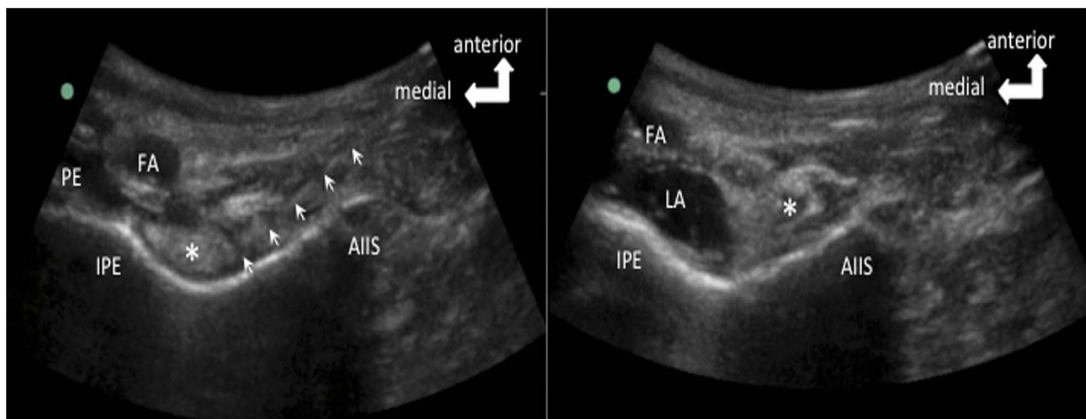


Abb. 6: Sonographisches Bild der Abbildung 4. Das linke Bild zeigt die Position der Nadel. Die Nadel ist durch die Pfeile gekennzeichnet. Das Bild auf der rechten Seite zeigt die Ausbreitung des Lokalanästhetikums (LA). FA steht für femoral Arterie; LA, lokales Anästhetikum; PE, pectineus Muskel; IPE, Eminentia iliopubica; AIIS, Spina iliaca anterior inferior; \*Psoas Sehne. L. Girón-Arango et al. (27)

Es wurde eine 22-Gauge, 80mm lange Kanüle benutzt und in der Schallebene von lateral nach medial bis unterhalb der Psoassehne bewegt (s. Abb. 6). Das Lokalanästhetikum wurde zwischen der Psoassehne und dem Ramus Pubis injiziert (s. Abb. 6).

#### **1.4.2 Aktuelle Datenlage zur Effektivität des PENG-Blocks**

Aktuelle Studien zur Effektivität der PENG-Blockade bei Patienten nach Hüft-Endoprothetik liefern unterschiedliche Ergebnisse. Eine Metaanalyse aus dem Jahr 2023 zeigte, dass der PENG-Block zu einem signifikant geringeren Opioidverbrauch innerhalb der ersten 24 Stunden führt (38). Es konnte allerdings keine signifikante Reduktion der Schmerz-Graduierung nach 12, 24 und 48 Stunden postoperativ gezeigt werden (38). Eine weitere Metaanalyse aus demselben Jahr zeigte, dass die PENG-Blockade zu einer besseren Schmerzkontrolle und einem geringeren Opioidverbrauch führt (77). Die aktuelle Evidenz reicht jedoch nicht aus, um die Wirksamkeit des PENG-Blocks abschließend zu bestätigen, weshalb weitere Studien mit größeren Stichproben erforderlich sind.

#### **1.5. Zielsetzung**

Mit dem vorliegenden Studienvorhaben sollen durch Analyse retrospektiver, klinischer Daten Erkenntnisse über mögliche Auswirkungen der PENG-Blockade auf den postoperativen Schmerzverlauf und den Bedarf an Analgetika bei Patienten nach elektiver Hüft-Implantation gewonnen werden. Außerdem soll die Qualität der postoperativen Analgesie innerhalb der ersten 48 Stunden sowie der kumulative Bedarf an systemischer, analgetischer Medikation als Morphinäquivalent (MEQ) überprüft werden. Zusätzlich ist die Qualität der Analgesie mittels der numerischen Ratingskala (NRS) in Ruhe und nach Belastung zu evaluieren.

## **2. Methodik**

### **2.1 Patientenkollektiv**

In der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik in Frankfurt am Main wurden insgesamt 309 Patienten aus dem Zeitraum 01.01.2021 bis zum 31.12.2022, bei denen eine primäre Hüft-Endoprothese implantiert wurde, in die vorliegende Studie eingeschlossen. Die Daten wurden der digitalen Krankenakte und dem Anästhesieprotokoll entnommen.

#### **Einschlusskriterien:**

- Patienten > 18 Jahre
- ASA (American Society of Anesthesiologists) 1-3
- Patienten die wegen Coxarthrose eine primäre Hüft-TEP Implantation erhalten
- OP-Zugang von ventral oder lateral

#### **Ausschlusskriterien:**

- BMI > 40
- Chronische Schmerzerkrankungen
- Fraktur
- Revisionsoperationen
- Patienten mit Spinalanästhesie
- Patienten mit neurologischen Defiziten
- Postoperative Aufnahme auf der Intensivstation

- Posttraumatische Hüft-TEP Implantation
- Sekundäre Hüft-TEP Implantation
- Notfalleingriffe

## **2.2 Studiendesign**

Es handelt sich um eine retrospektive, klinische Studie. Es soll die analgetische Effektivität der PENG-Blockade im Rahmen einer Operation zum primären, elektiven Hüftgelenkersatz bei Coxarthrose überprüft werden.

Ein positives Votum der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Hessen (Vorgangsnummer: 2024-3666-evBO) liegt vor.

## **2.3 Studiengruppen**

Alle Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten, wurden gemäß des angewendeten Analgesieverfahrens der Gruppe A oder der Gruppe P zugeordnet und später pseudonymisiert.

**Gruppe A:** Allgemeinanästhesie ohne PENG-Block (Kontrollgruppe)

**Gruppe P:** Allgemeinanästhesie mit PENG-Block (Untersuchungsgruppe)

## 2.4 Hypothese

Es wird erwartet, dass die Anästhesieart Einfluss auf den kumulativen Morphinäquivalentverbrauch (MEQ) hat.

**Nullhypothese:** Es liegt bezüglich des kumulativen Morphinäquivalentverbrauchs (MEQ) innerhalb der ersten 48 Stunden kein Unterschied zwischen der Gruppe A und der Gruppe P vor.

**Alternativhypothese:** Es liegt bezüglich des kumulativen Morphinäquivalentverbrauchs (MEQ) innerhalb der ersten 48 Stunden ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe A und der Gruppe P vor.

## 2.5 Endpunkte

Die Endpunkte der vorliegenden Studie werden in primäre und sekundäre Endpunkte unterteilt.

Primärer Endpunkt:

- Kumulative Menge an analgetischer Bedarfsmedikation (MEQ-Verbrauch in Milligramm) in den ersten 48 Stunden nach operativer Versorgung mit primärer, elektiver Hüft-Endoprothese.

Sekundäre Endpunkte:

- Schmerzintensität gemäß numerischer Rating Skala (NRS) von 0 bis 10 innerhalb der ersten 48 postoperativen Stunden in Ruhe und unter Belastung.
- Postoperativer kumulativer Opioidbedarf im Aufwachraum (MEQ-Verbrauch in Milligramm)

## **2.6 Pseudonymisierung**

Die für die Studie erfassten Daten wurden personenbezogen aus den oben genannten Quellen erfasst und mit einer Nummer versehen (pseudonymisiert) und in pseudonymisierter Form gespeichert und ausgewertet.

Die Pseudonymisierungsliste wird getrennt von den medizinischen und Studien-Daten (in elektronischer Form) mit personalisiertem, protokolliertem Zugriff im Studienzentrum aufbewahrt. Zugang zu den Daten haben nur die Studienleitung und die verantwortliche Doktorandin.

## **2.7 Messinstrumente**

### **2.7.1 Morphinäquivalent-Verbrauch (MEQ in Milligramm):**

Es wurde die Äquianalgesie für Piritramid, Parecoxib, Paracetamol, Metamizol, Oxycodon, Ibuprofen und Tilidin innerhalb der ersten 48 Stunden berechnet. Die postoperativ benötigten Opioid- und die Nicht-Opioid-Mengen wurden der digitalen Krankenakte des Patienten entnommen.

### **2.7.2. Numerische Ratingskala (NRS)**

Die Schmerzstärke und die Schmerzqualität wurden mithilfe einer 11-stufigen numerischen Skala erfasst. Eine Beschreibung des Schmerzes mit dem Wert 0 entsprach Schmerzfreiheit, während ein Maximum von 10 als der größte vorstellbare Schmerz definiert wurde. Die NRS-Werte wurden direkt postoperativ vom Pflegepersonal des Aufwachraums im Narkoseprotokoll eingetragen und später dem elektronischen Narkoseprotokoll entnommen. Das Pflegepersonal auf der Kranken-Station war für die restlichen NRS-Eintragungen in der elektronischen Krankenakte zuständig. Die NRS-Werte vor und nach der

Mobilisation wurden vom Personal der Abteilung für Physiotherapie in der elektronischen Krankenakte eingetragen.

## **2.8 Durchführung der Allgemeinanästhesie**

Alle Patienten wurden vor Beginn der PENG-Blockade gemäß den üblichen Standards auf ihre Vitalfunktionen überwacht. Dazu gehörte die Elektrokardiographie, die oszillometrische Blutdruckmessung und die pulsoxymetrische Sauerstoffsättigungsmessung. Alle Patienten erhielten zusätzlich mindestens einen peripheren venösen Zugang. Danach wurde mit der Vollnarkose begonnen. Die Narkoseeinleitung lief standardisiert mit einer intravenösen Gabe von 2-3 mg/kg KG Propofol (Propofol Baxter, Baxter Holding B.V. Niederlande), 0,3-0,5 µg/kg KG Sufentanil (Sufenta mite®, Piramal Critical Care GmbH, Deutschland) und 0,3-0,5 mg/kg KG Atracurium (Atracurium Hikma, Hikma Pharma GmbH, Deutschland). Vor der Gabe von Propofol erfolgte zusätzlich die intravenöse Verabreichung von 20 mg Lidocain 1% (Lidocain, B. Braun Melsungen AG, Deutschland). Anschließend wurden die Patienten intubiert und druckkontrolliert beatmet. Die Aufrechterhaltung der Narkose erfolgte inhalativ mit Sevofluran (Sevofluran Baxter, Baxter Deutschland GmbH, Deutschland) - außer bei Patienten mit vorbekannter ausgeprägter postoperativer Übelkeit und Erbrechen (PONV). Die Narkose bei diesen Patienten wurde mit einem Propofol-Perfusor aufrechterhalten. Eine Prophylaxe gegen PONV erfolgte gemäß Standard mit der intravenösen Gabe von 8 mg Dexamethason (Dexa-ratiopharm®, Ratiopharm GmbH, Deutschland) und der intravenösen Gabe von 1 mg Granisetron (Granisetron Kabi, Fresenius Kabi GmbH, Deutschland).

## **2.9 Durchführung des PENG-Blocks**

Die PENG-Blockade wurde in den Einleitungsräumen direkt nach der Intubation durch den zuständigen Assistenz- oder Facharzt der anästhesiologischen Abteilung der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Frankfurt durchgeführt. Der Block wurde in Rückenlage durchgeführt. Die Punktionsstelle wurde mit Octenidin (Octeniderm, Schülke & Mayr GmbH, Deutschland) wischdesinfiziert. Die sterile Abdeckung der Punktionsstelle wurde nach gültigem Standard durchgeführt. Die Ultraschallsonde wurde mit einem sterilen Überzug versehen (Safersonic® Safersonic Steriler Ultraschallbezug mit Klebefläche, Pajunk). Es wurde eine konvexe Ultraschallsonde (Venue™ von GE Healthcare, 2-5 MHz) in einer schrägen Ebene über der Spina iliaca inferior platziert und dann auf den Schambeinast ausgerichtet. In dieser Ansicht waren die A. femoralis und die V. femoralis, die Eminentia iliopubica und der M. Iliopsoas bzw. die Sehne des M. Iliopsoas identifizierbar (Abb. 7). Im Anschluß wurde steril eine 80 mm lange Kanüle für periphere Nervenblockaden (Sonoplex II Pajunk 22 G x 80 mm Facettenschliff) von lateral nach medial entlang der Schallebene eingeführt, bis sich die Nadelspitze zwischen der Sehne des M. iliopsoas und dem Os ilium befand (Abb. 8). Nach negativer Aspiration wurde unterhalb der Muskelfaszie ein Volumen von insgesamt 40 ml Ropivacain 0,2% verabreicht. Die negative Aspiration wurde alle 5 ml wiederholt, bis das gesamte Volumen verabreicht wurde. Ziel war die Anhebung der Sehne des M. iliopsoas nach Vollendung der Injektion (Abb. 9).

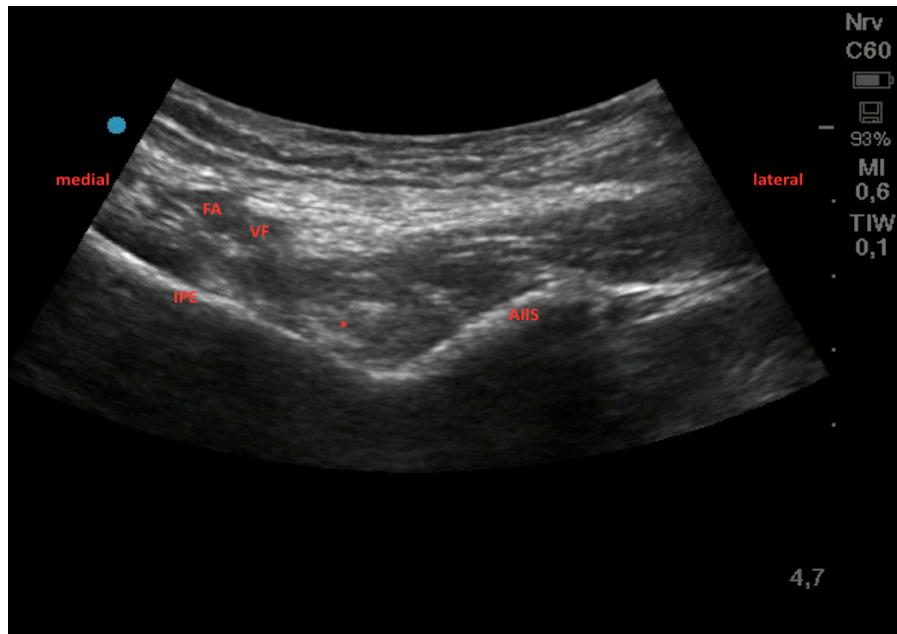


Abb. 7: FA, Arterie femoralis; VF, Vena femoralis; IPE, Eminentia iliopubica; \*Psoas Sehne; AIIS, Spina iliaca anterior inferior (BGU Frankfurt - Venue™ von GE HealthCare, USA)

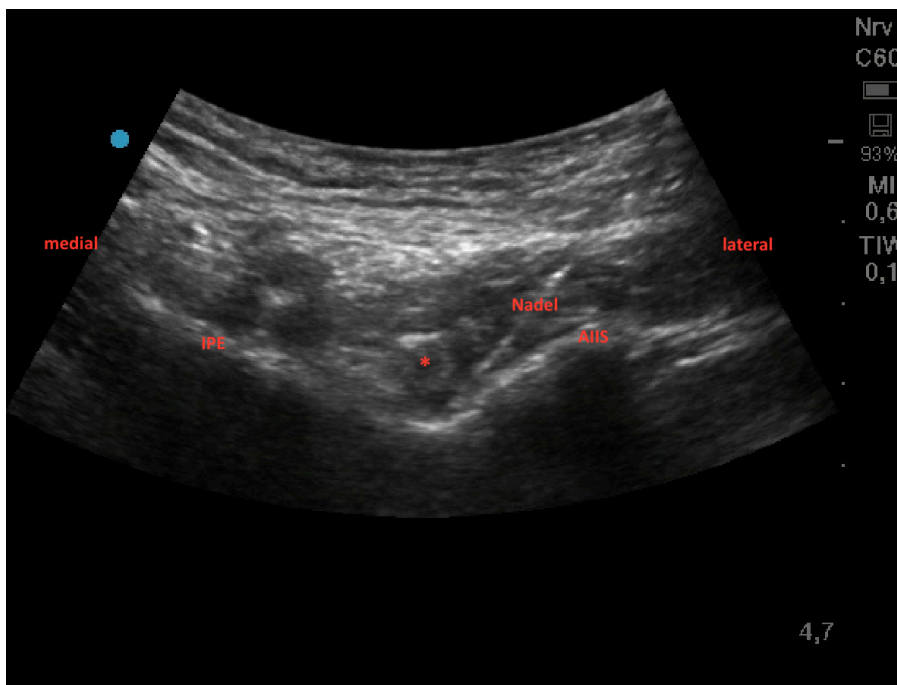


Abb. 8: Sonographisches Bild nach Einführen der Kanüle: IPE, Eminentia iliopubica; \*Psoas Sehne; AIIS, Spina iliaca anterior inferior (BGU Frankfurt - Venue™ von GE HealthCare, USA)

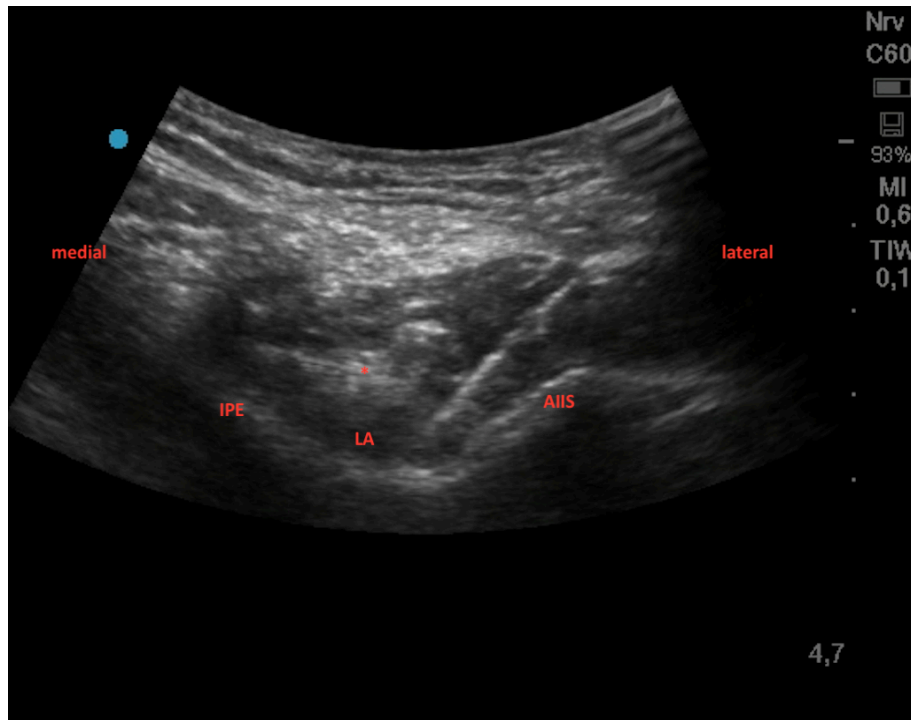


Abb. 9: Sonographisches Bild nach Injektion des Lokalanästhetikums: IPE, Eminentia iliopubica; \*Psoas Sehne; AIIIS, Spina iliaca anterior inferior; LA, Lokalanästhetikum (BGU Frankfurt - Venue™ von GE HealthCare, USA)

## 2.10 Postoperative systemische Analgesie

Zum Ende der Operation wurde Metamizol (Novaminsulfon-ratiopharm®, ratiopharm GmbH, Deutschland) gewichtsadaptiert im Rahmen einer multimodalen Analgesie verabreicht. Bei Unverträglichkeit von Metamizol oder anderen Kontraindikationen erfolgte die intravenöse Gabe von 40 mg Parecoxib (Dynastat®, Pfizer Pharma GmbH, Deutschland) als Kurzinfusion. Im Aufwachraum wurde die Basisanalgesie nach klinikeigenem Akutschmerzstandard mit Piritramid (Dipidolor® Injektionslösung, Piramal

Critical Care Deutschland GmbH), Paracetamol (Paracetamol-ratiopharm®, ratiopharm GmbH, Deutschland) und Parecoxib falls die intraoperative Gabe nicht erfolgte und bei manchen Patienten Oxycodon oral durchgeführt. Auf der Normalstation wurde die Basisanalgesie gemäß dem Schmerzstandards mit Metamizol 1 g p.o. und Paracetamol 1 g p.o. alle 6 Stunden oder Ibuprofen 800 mg p.o. alle 8 Stunden durchgeführt.

### **2.11 Statistik**

Die vorliegende Studie verfolgt das Ziel, anhand Analyse retrospektiver Daten, Erkenntnisse über mögliche Auswirkungen eines PENG-Blocks auf den postoperativen Schmerzverlauf und Analgetikabedarf zu gewinnen. Dabei steht die Berechnung möglichst stabiler Schätzer für die gewählten Zielgrößen unter den Bedingungen mit vs. ohne PENG-Block im Vordergrund. Des Weiteren soll der Einfluss verschiedener Parameter auf die Zielgrößen untersucht werden. Es wurden alle Patienten mit elektiver Hüft-Endoprothetik der Jahre 2021-2022 der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Frankfurt am Main einbezogen.

Bei einem geschätzten MEQ-Wert (24 Stunden) von ca. 50 mg (STD 18mg) in der Kontrollgruppe (ohne PENG-Block), einem geschätzten Analgetikabedarf (MEQ) mit PENG-Block von ca. 44 mg (STD 18mg) und einer 1:1,1 Gruppenallokation (PENG: Ohne PENG) ergibt sich bei einem alpha-Wert von 0,05, einer Power von 80% und einem Drop-out von ca. 10% eine Kontrollgruppen-Größe von 150 Patienten (ohne PENG) sowie eine Untersuchungs-Gruppen-Größe von 135 Patienten (mit PENG-Blockade). Die etwas größere Kontrollgruppe ergibt sich aus der höheren Anzahl von operierten Patienten aus 2021.

Die erhobenen Daten wurden unmittelbar bei deren Erhebung pseudonymisiert auf Papier und direkt in Excel (Microsoft® Excel® für Microsoft 365 MSO, Version 2404 Build 16.0.17531.20190, 64 Bit) überführt. Bei der Dateneingabe durch den

Doktoranden wurde die Dokumentation durch den Studienverantwortlichen überprüft.

Alle Analysen bei der vorliegenden retrospektiven Studie wurden in explorativer Intention durchgeführt. Kategoriale Variablen wurden mittels absoluter und relativer Häufigkeiten, stetige Variablen durch Mittelwert und Standardabweichung inklusive 95%-Konfidenzintervallen beschrieben. Gruppenvergleiche für stetige Endpunkte und Basisvariablen wurden mittels t-Test untersucht, für kategoriale Basisvariablen mit Exaktem Test nach Fischer. Der Einfluss weiterer Kovarianten auf die gewählten Endpunkte inklusive Moderator- bzw. Interaktionseffekten wird mittels multipler linearer Regressions- bzw. (ko)varianzanalytischer Modelle untersucht. Alle p-Werte wurden explorativ interpretiert. Die Auswertung erfolgt mit SPSS-Version 27.0 (SPSS Inc., Chicago Illinois).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Patientenverteilung

Im Zeitraum von 01/2021 bis 12/2022 wurden alle erwachsenen Patienten mit der Notwendigkeit einer primären Hüft-TEP Implantation in die Studie aufgenommen.

Insgesamt wurden 309 Patienten eingeschlossen. Die Kontrollgruppe (ohne PENG-Blockade) enthält 168 Patienten. Die Untersuchungsgruppe (mit PENG-Blockade) beinhaltet die Daten von 141 Patienten.

#### 3.2 Demographie

Die Kontrollgruppe (ohne PENG) weist durchschnittlich ein jüngeres Lebensalter als die Interventionsgruppe (PENG-Gruppe) auf (Abb. 10).

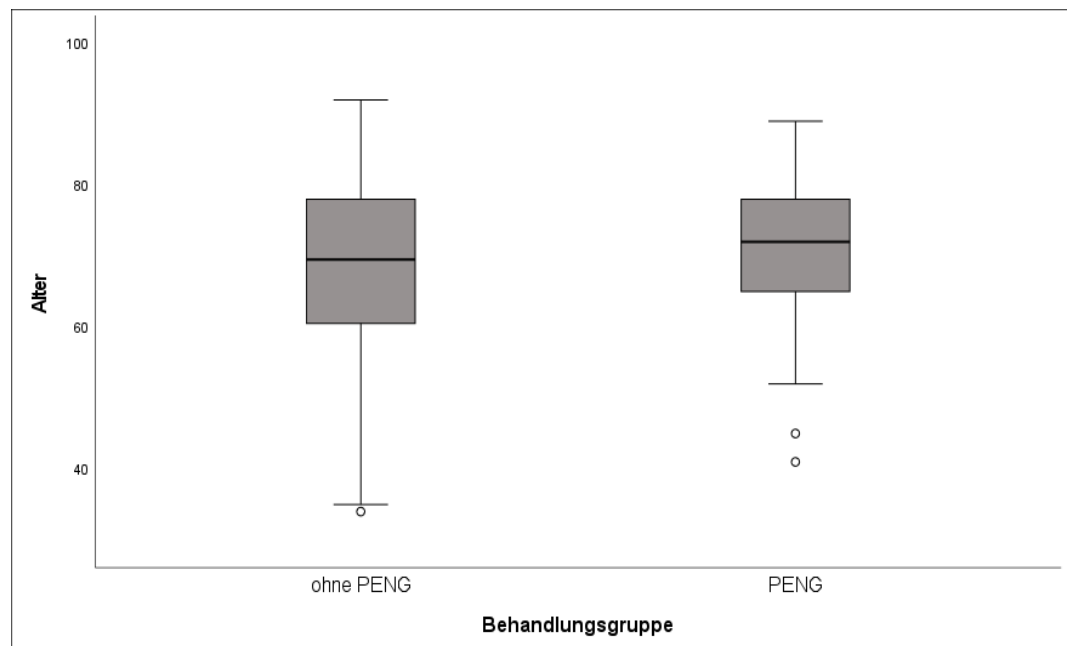


Abb. 10: Verteilung des Alters in der Interventions- und der Kontrollgruppe

Das durchschnittliche Alter der Kontrollgruppe (ohne PENG) lag bei 69 Jahren und der Interventionsgruppe (PENG-Gruppe) bei 71 Jahren. Die beiden Gruppen unterscheiden sich systematisch bezüglich der Verteilung der Variable Alter ( $p < 0.05$ ). (s. Tab. 1)

Parameter	Kontrolle	Intervention	p-Wert
<b>Gruppe</b> (n=Anzahl)	n=168	n=141	
<b>Geschlecht</b>	m: 78 (46,4%) w: 90 (53,6%)	m: 60 (42,6%) w: 81 (57,4%)	0,566
<b>Alter</b> (Mittelwert)	69	71	0,0496
<b>ASA- Klassifikation</b>  (American Society of Anesthesiologists)	1: 7 (4,2%) 2: 119 (70,8%) 3: 42 (25,0%)	1: 3 (2,1%) 2: 98 (69,5%) 3: 40 (28,4%)	0,520
<b>BMI</b> kg/m <sup>2</sup>  (Body-Mass-Index)	28,1	27,6	0,346

Tab. 1: Demographische Charakteristika der Kontroll- und der Interventionsgruppe (m: männlich, w: weiblich)

In Bezug auf das Geschlecht verteilen sich in der Kontrollgruppe 78 Männer (46,4%) und 90 Frauen (53,6%), während in der Interventionsgruppe 60 Männer (42,6%) und 81 Frauen (57,4%) vorliegen (s. Tab. 1, s. Abb. 11). Es gibt keinen signifikanten Unterschied (p-Wert: 0,566) in der Geschlechterverteilung zwischen den beiden Gruppen.

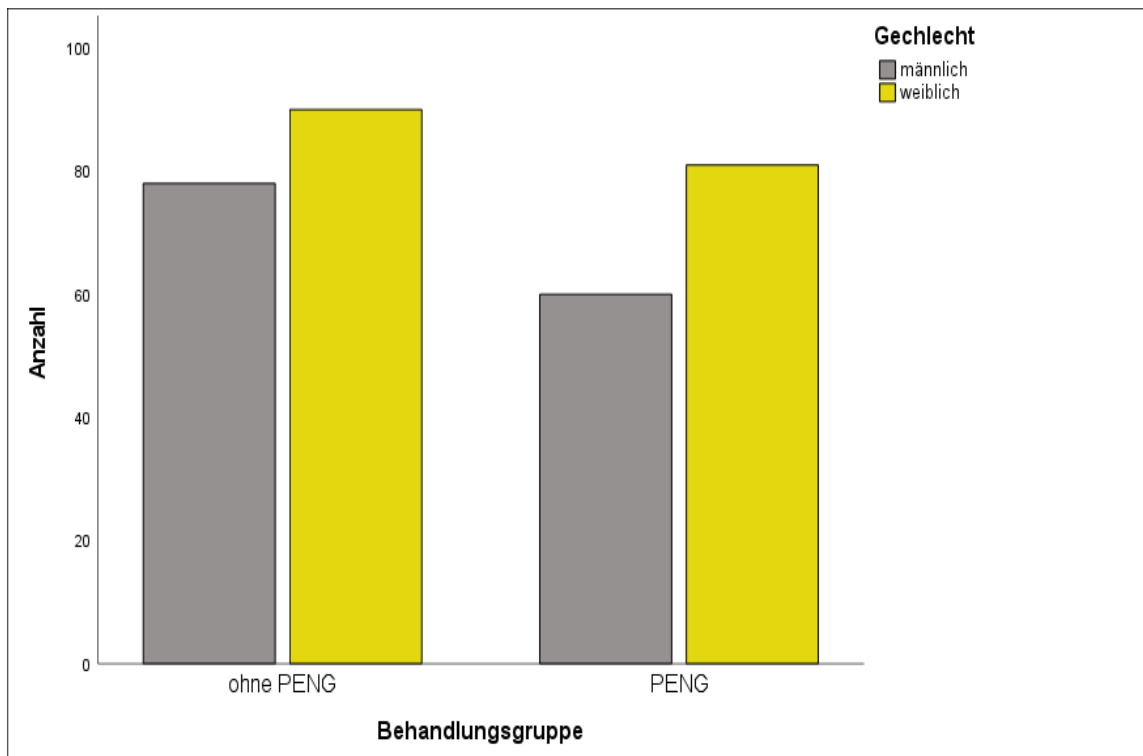


Abb. 11: Geschlechtsverteilung zwischen der Kontroll- (ohne PENG) und der Interventionsgruppe (PENG)

Darüber hinaus zeigt sich kein signifikanter Unterschied in der Verteilung des BMI (Body-Mass-Index) zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe ( $p > 0,05$ ). Der Mittelwert in der Kontrollgruppe beträgt  $28,1 \text{ kg/m}^2$  und in der Interventionsgruppe  $27,6 \text{ kg/m}^2$  (s. Tab. 1, Abb. 12).

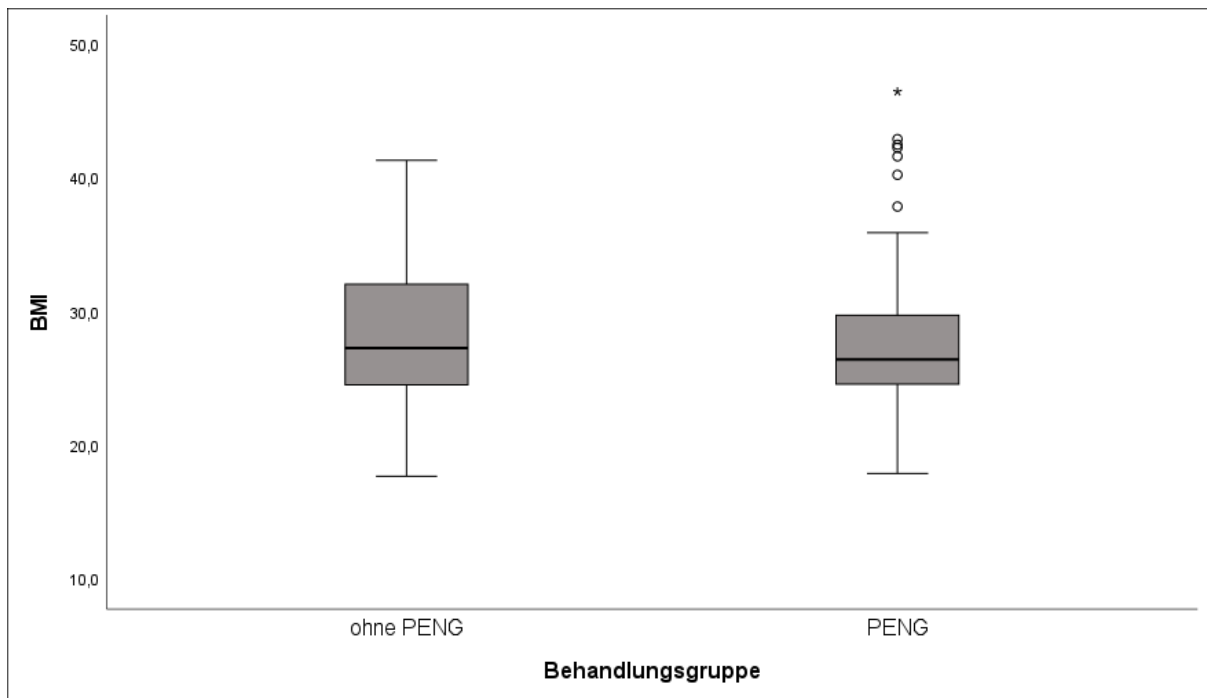


Abb. 12. Verteilung der Kontroll- (ohne PENG) und Interventionsgruppe (PENG) nach BMI (Body-Maß-Index)

### 3.3 Morphinäquivalent-Bedarf (MEQ)

Bei der Auswertung des MEQ-Bedarfs zeigt sich weder im Aufwachraum noch 48 Stunden postoperativ ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. (Mittelwert 86,79 mg vs. 90,54 mg, s. Tab. 2).

	Behandlungsgruppe	n	m	Standardabweichung
MEQ 48h post-OP	Kontrollgruppe	168	90,54	48,44
	Interventionsgruppe	141	86,79	46,02
MEQ PACU	Kontrollgruppe	168	21,48	15,83
	Interventionsgruppe	141	18,62	18,08

Tab. 2. Fallzahlen (n), Mittelwerte (m) und Standardabweichung von Morphinäquivalent (MEQ) postoperativ und im PACU (Aufwachraum) in der Kontroll- (ohne PENG) und Interventionsgruppe (PENG-Gruppe)

Der Vergleich des MEQ-Verbrauchs der Interventionsgruppe (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG) im Aufwachraum (PACU) zeigte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied (18,62 mg vs. 21,48 mg, s. Tab. 2).

Die oben dargestellten Ergebnisse sind als Boxplots noch graphisch dargestellt (s. Abb. 13 und Abb. 14).

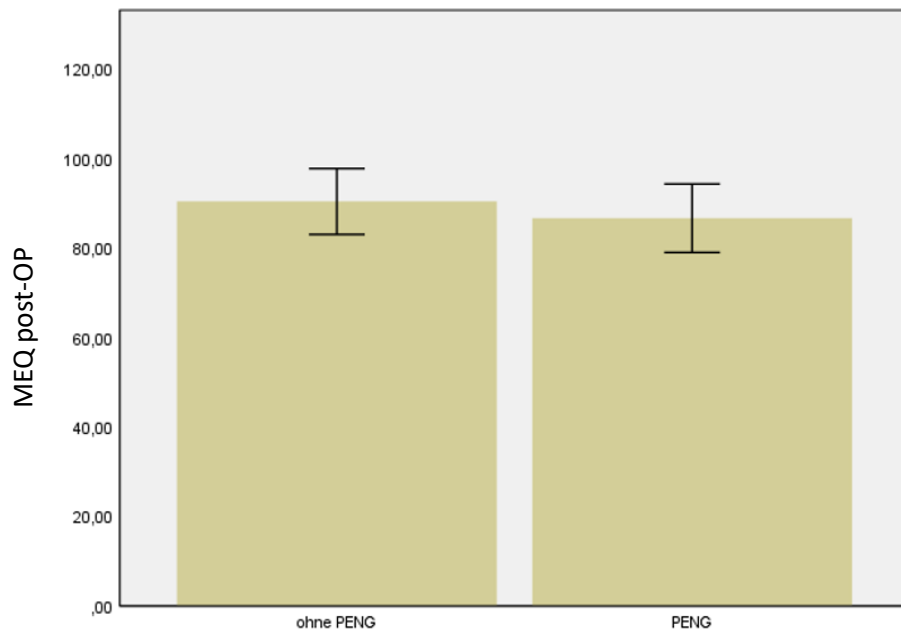


Abb.13: Vergleich der Mittelwerte der gesamten Morphinäquivalenzdosis (MEQ post-OP) zwischen der Interventions- (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG). Die Fehlerbalken zeigen das 95%-Konfidenzintervall.

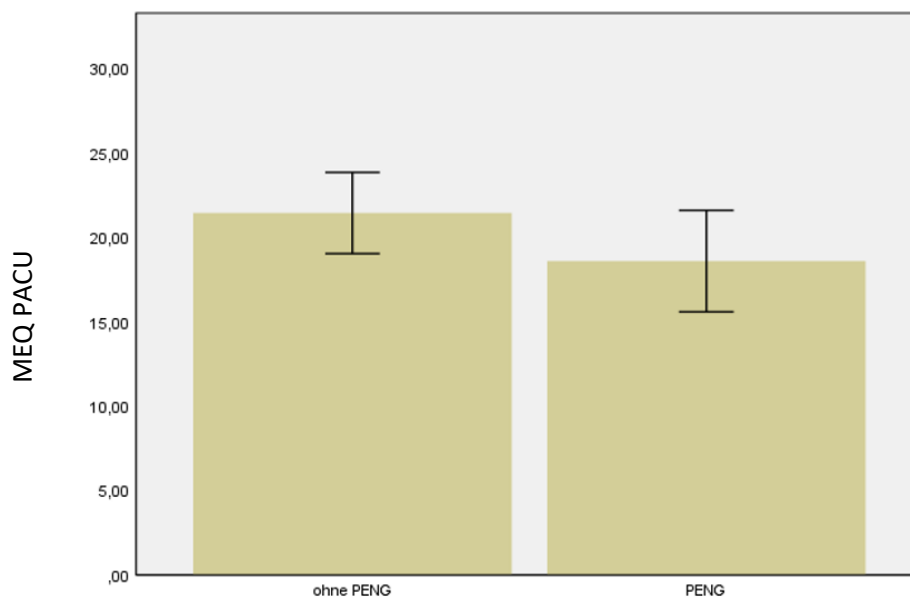


Abb. 14: Vergleich der Mittelwerte der Morphinäquivalenzdosis (MEQ) im Aufwachraum (PACU) zwischen der Interventionsgruppe (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG). Die Fehlerbalken zeigen das 95%-Konfidenzintervall

In Abhängigkeit vom Geschlecht lässt sich weder ein klinisch relevanter noch ein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf den MEQ-Bedarf bis zum Abschluss der Aufwachraumphase oder nach 48 Stunden feststellen (Abb. 15, Abb. 16).

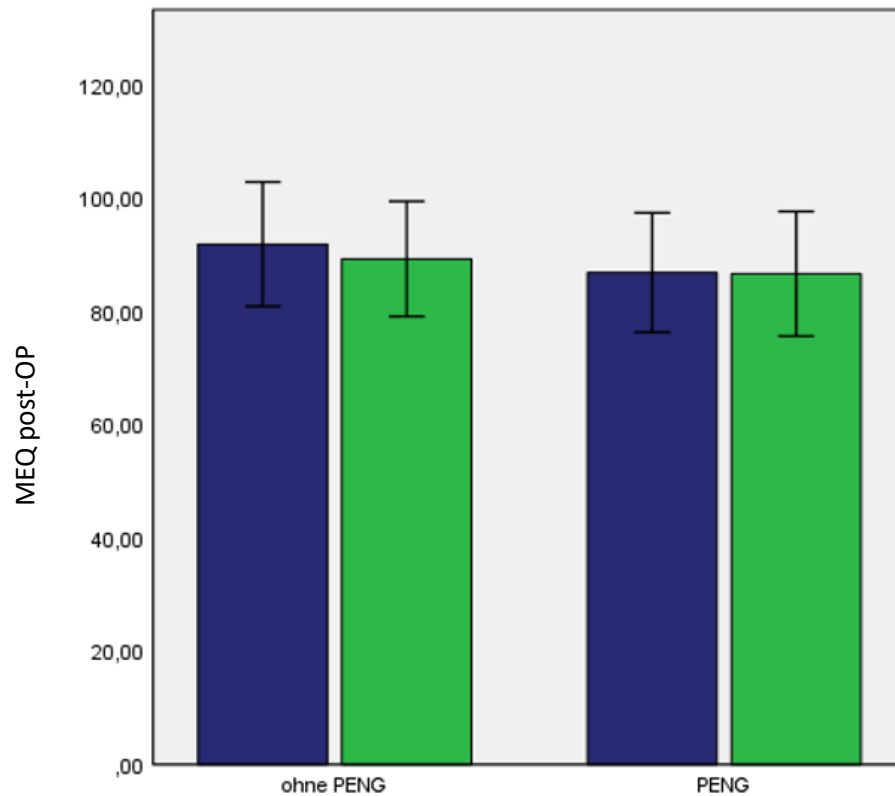


Abb. 15: Vergleich des Mittelwertes der postoperativen Morphinäquivalenzdosis (MEQ post-OP) zwischen der Interventionsgruppe (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG). Der blaue Balken entspricht den Männern und der grüne Balken den Frauen. Die Fehlerbalken zeigen das 95%-Konfidenzintervall.

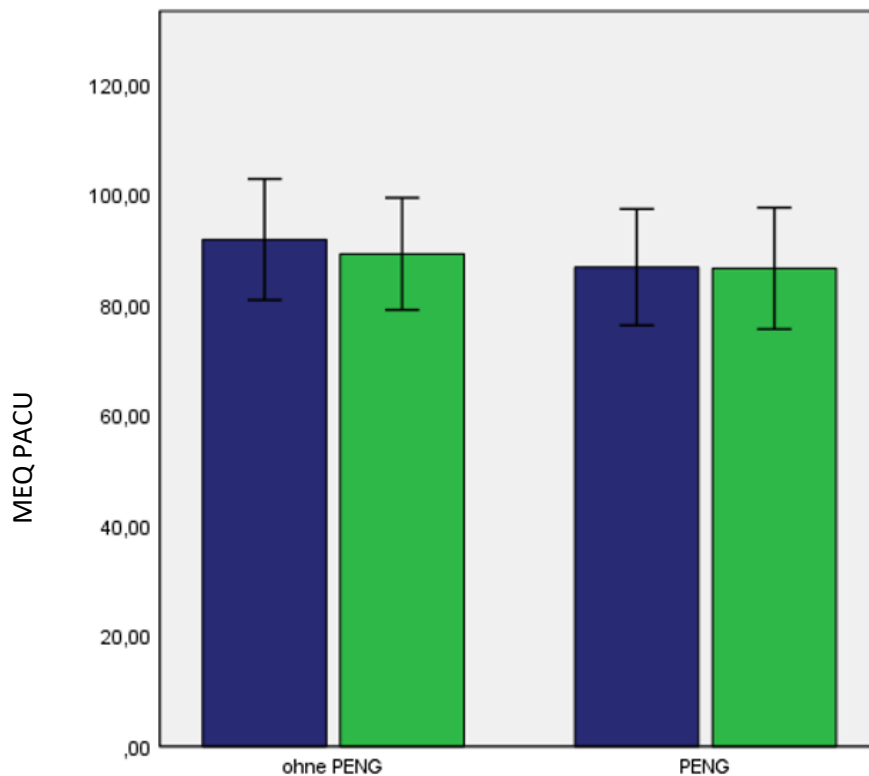


Abb. 16: Vergleich des Mittelwertes der Morphinäquivalenzdosis (MEQ) am OP-Tag im Aufwachraum (PACU) zwischen der Untersuchungsgruppe (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG) für jedes Geschlecht. Der blaue Balken entspricht den Männern und der grüne Balken den Frauen. Die Fehlerbalken zeigen das 95%-Konfidenzintervall.

Die geschätzte Mittelwertdifferenz der postoperativen Morphinäquivalenzdosis zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe liegt bei 3,75 (95 %-KI: -6,89 bis 14,39) und der Morphinäquivalenzdosis im Aufwachraum beträgt 2,85 (95 %-KI: -0,99 bis 6,7). In beiden Fällen sind die Unterschiede nicht signifikant (s. Tab. 3).

MEQ (Morphinäquivalent)	95%-Konfidenzintervall		p-Wert
	Untere Grenze	Obere Grenze	
Post-OP (48h)	-6,89	14,39	0,49
PACU	-0,99	6,70	0,15

Tab. 3: Differenzen zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe für den MEQ-Verbrauch (PACU: Post Anesthesia Care Unit)

### 3.4 Numerische Ratingskala (NRS)

Der mittlere maximale NRS-Wert an den OP-Tag für die Interventionsgruppe (PENG) unterscheidet sich mit einem Mittelwert von 2,22 von dem der Kontrollgruppe (ohne PENG). Die Kontrollgruppe zeigt ein Mittelwert von 2,66 (s. Tab. 4).

<b>NRS</b>	<b>Behandlungsgruppe</b>	<b>n</b>	<b>m</b>	<b>Standard- abweichung</b>
OP-Tag	ohne PENG	168	2,66	1,13
	PENG	141	2,22	1,04
1. Post-OP Tag	ohne PENG	168	2,61	1,11
	PENG	141	2,31	1,20
2. Post-OP Tag	ohne PENG	168	2,32	0,99
	PENG	141	2,21	1,14

Tab. 4: Mittelwerte (m) und Standardabweichungen, der maximalen Schmerzintensitätswerte (NRS max.) in der Kontroll- (ohne PENG) und Interventionsgruppe (PENG)

In Bezug auf die maximale Schmerzintensität sowohl am Operationstag als auch am ersten postoperativen Tag, ergibt sich in der Prüfung mittels Varianzanalyse einen signifikanten Unterschied der Interventions- und der Kontrollgruppe am Operationstag und am ersten postoperativen Tag (OP-Tag:  $F=13,35$ ,  $p<0.001$ ) (1. post-OP-Tag:  $F=5,96$ ,  $p=.02$ ) sowie des Geschlechts (OP-Tag:  $F=11,09$ ,  $p<0,001$ ) (1.post-OP-Tag:  $F=6,73$ ,  $p=.01$ ).

Die geschätzte Mittelwertdifferenz zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe für die maximale Schmerzintensität (NRS max.) am Operationstag beträgt 0,44 (95 % KI: 0,20 bis 0,68) und für den ersten postoperativen Tag beträgt 0,30 (95 % KI: 0,04 bis 0,56). An beiden Tagen gibt es ein signifikanter Unterschied (s. Tab.5).

NRS	95%-Konfidenzintervall		p-Wert
	Untere Grenze	Obere Grenze	
OP-Tag	0,20	0,68	0,00
1. post OP-Tag	0,04	0,56	0,02
2. post OP-Tag	-0,14	0,34	0,40

Tab. 5: Differenzen der Interventions- und der Kontrollgruppe bezogen auf die Mittelwerte der NRS max. (Numerische Rating Skala maximal) OP-Tag (Operationstag)

Die oben genannten Ergebnisse in Bezug auf die NRS-Mittelwerte sind noch graphisch dargestellt (s. Abb. 17).

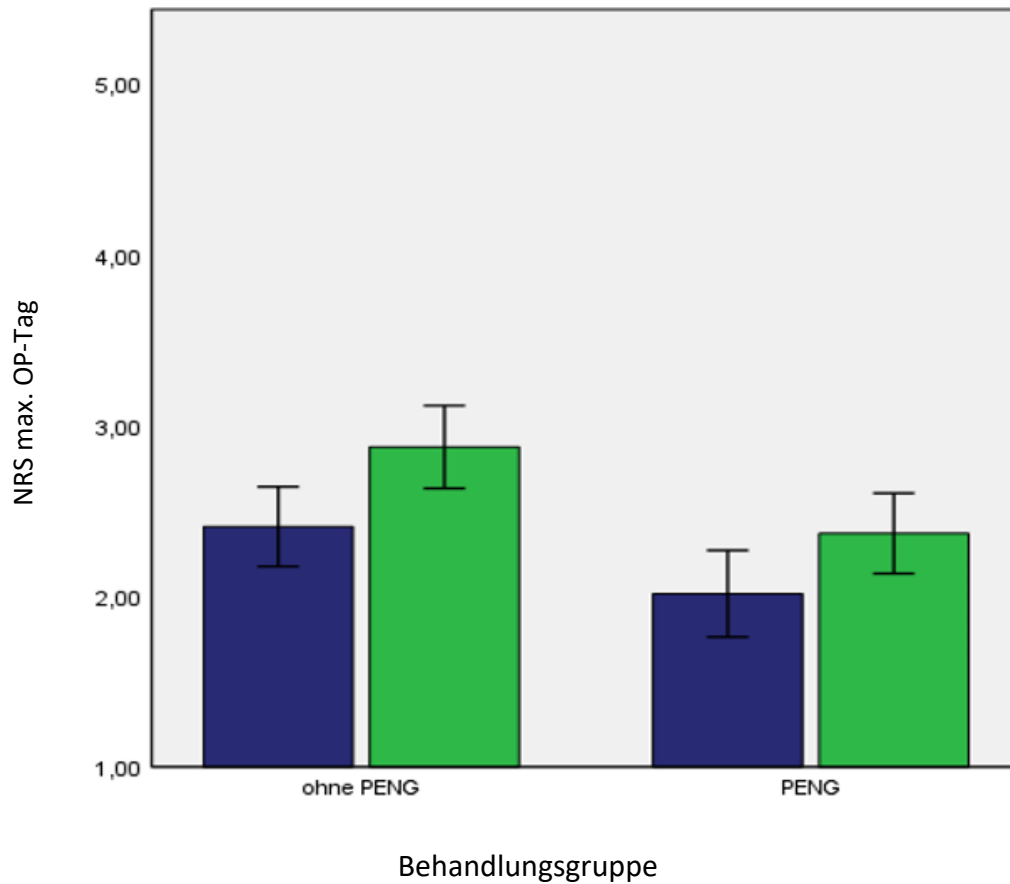


Abb. 17: Vergleich des Mittelwertes der maximalen Schmerzintensität (NRS max. OP-Tag) zwischen der Interventionsgruppe (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG) für jedes Geschlecht. Frauen werden durch den grünen Balken und Männer durch den blauen Balken dargestellt. Die Fehlerbalken zeigen das 95% Konfidenzintervall

Wie graphisch dargestellt, empfindet das weibliche Geschlecht sowohl am Operationstag als auch am ersten postoperativen Tag unabhängig von den Behandlungsgruppen stärkere Schmerzen als das männliche Geschlecht (s. Abb. 17, Abb. 18).

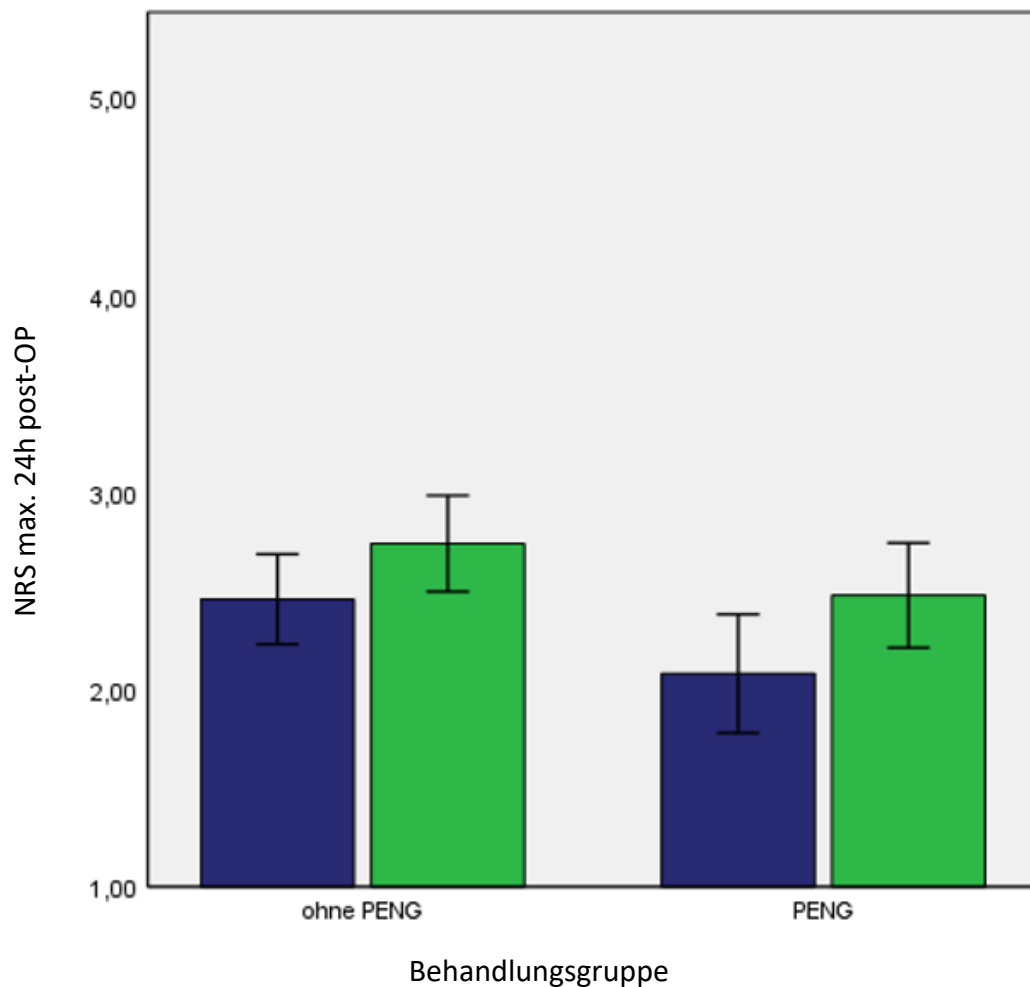


Abb. 18: Vergleich des Mittelwertes der maximalen Schmerzintensität (NRS max. 24Stunden post-OP) zwischen der Interventionsgruppe (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG) für jedes Geschlecht. Frauen werden durch den grünen Balken und Männer durch den blauen Balken dargestellt. Die Fehlerbalken zeigen das 95% Konfidenzintervall

In Bezug auf die maximale Schmerzintensität (NRS max.) am zweiten postoperativen Tag ergibt sich in der Prüfung mittels Varianzanalyse ein signifikanter Unterschied des Geschlechts (48 post-OP:  $F=11,51$ ,  $p=.001$ ).

Wie graphisch dargestellt empfindet das weibliche Geschlecht auch am zweiten postoperativen Tag unabhängig der Gruppe stärkere Schmerzen als das männliche Geschlecht (s. Abb.19).

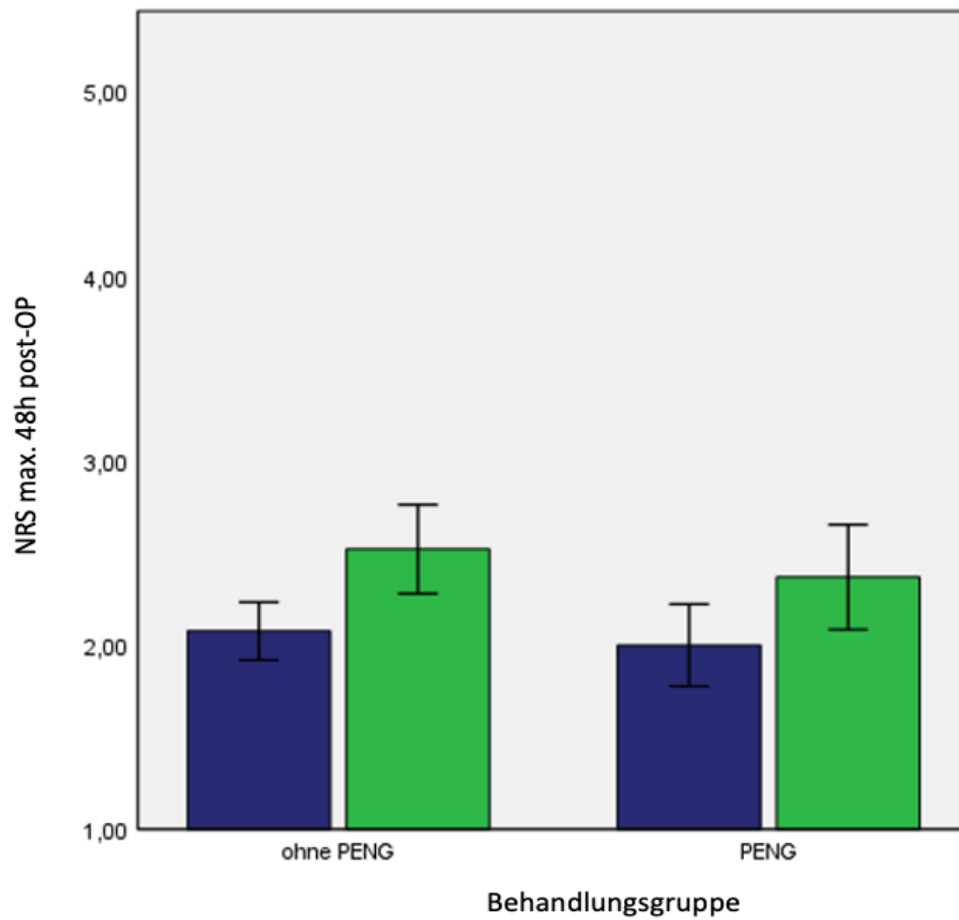


Abb. 19: Vergleich des Mittelwertes der maximalen Schmerzintensität 48 Stunden postoperativ (NRS max. 48 Stunden post-OP) zwischen der Interventionsgruppe (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG) für jedes Geschlecht. Frauen werden durch den grünen Balken und Männer durch den blauen Balken dargestellt. Die Fehlerbalken zeigen das 95% Konfidenzintervall

### 3.4.1. Gesamter Schmerzverlauf

Die Untersuchungsgruppe hatte initial am OP-Tag einen höheren Mittelwert der Schmerzintensität als die Kontrollgruppe. Beide Gruppen unterscheiden sich in Bezug auf dem NRS-Mittelwert nach 48 Stunden minimal. (s. Abb. 20).

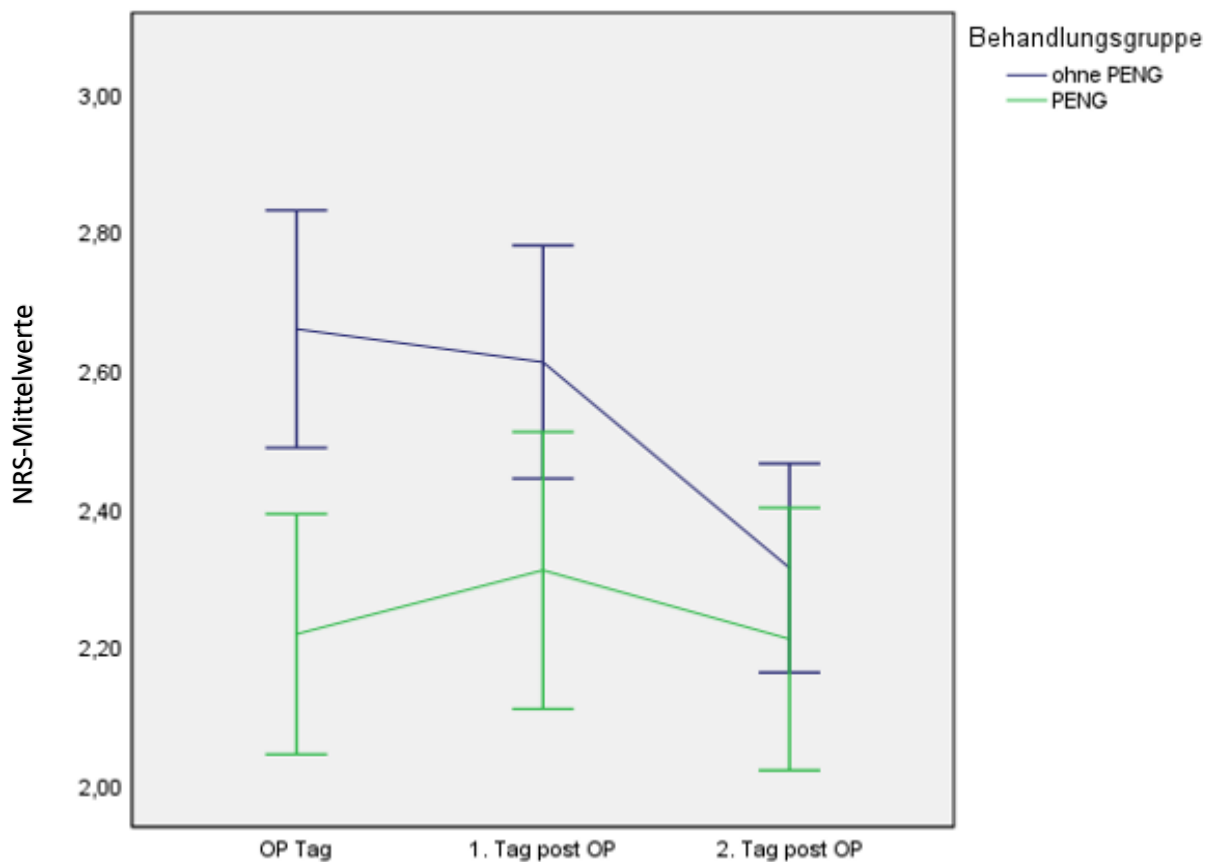


Abb. 20: Vergleich des Mittelwertes der maximalen Schmerzintensität (NRS-Mittelwerte) zwischen der Interventionsgruppe (PENG) und der Kontrollgruppe (ohne PENG). Die grüne Linie entspricht der PENG-Gruppe und die blaue Linie der Kontrollgruppe. Die Fehlerbalken zeigen das 95% Konfidenzintervall.

Die Schmerzintensität zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe unterscheidet sich am 2. Tag postoperativ im Gegensatz zum OP-Tag minimal.

## 4. Diskussion

### 4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der Studie wurden 309 Patienten mit der Indikation einer elektiven Hüft-Totalendoprothese (Hüft-TEP) einbezogen. Die Patienten wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Die Untersuchungsgruppe wurde als P-Gruppe (PENG-Gruppe) und die Kontrollgruppe als A-Gruppe (ohne PENG-Gruppe) bezeichnet.

Die demographischen Daten beider Gruppen in Bezug auf ASA-Klassifikation, Geschlecht und Body-Mass-Index (BMI) zeigten eine vergleichbare Zusammensetzung. In Bezug auf das Alter zeigte sich, dass die Kontrollgruppe ein durchschnittlich jüngeres Alter aufweist, mit einem p-Wert von 0,0496.

Für den kumulativen Morphinäquivalentverbrauch nach 48 postoperativen Stunden, konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden. Die Untersuchungsgruppe (PENG) zeigte einen Morphinäquivalent Mittelwert von 86,79 mg und die Kontrollgruppe (ohne PENG) einen Mittelwert von 90,54 mg. Der Morphinäquivalentverbrauch im Aufwachraum zeigte ebenfalls keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Untersuchungsgruppe mit einem Mittelwert von 18,62 mg und der Kontrollgruppe mit einem Mittelwert von 21,48 mg. Die Fehlerbalken (s. Abb. 19) verdeutlichen zudem eine gewisse individuelle Varianz innerhalb der Gruppen, was darauf hindeutet, dass der postoperative Schmerzmittelbedarf nicht ausschließlich vom PENG-Block oder vom Geschlecht abhängig ist.

Einen statistisch signifikanten Unterschied gab es in Bezug auf die maximalen Schmerzintensitätswerte (NRS-Werte) sowohl am Operationstag als auch 24 Stunden postoperativ. Der NRS-Mittelwert der Untersuchungsgruppe am OP-Tag war bei 2,22 und derjenige der Kontrollgruppe bei 2,66. Dieser statistisch signifikante Unterschied weist klinisch keine Relevanz auf. Der Vergleich der

maximalen NRS-Werte nach 24 Stunden postoperativ zeigte für die Untersuchungsgruppe einen mittleren NRS-Wert von 2,31 und für die Kontrollgruppe von 2,61 auf.

In Bezug auf die maximalen NRS-Werte gab es eine weitere Differenzierung, was das Geschlecht betrifft. Das weibliche Geschlecht hatte in beiden Gruppen höhere maximale NRS-Werte an allen Tagen als das männliche Geschlecht. Dieser Unterschied ist bei beiden Gruppen aufgetreten und steht wahrscheinlich nicht im Zusammenhang mit dem PENG-Block. Für die maximalen NRS-Werte nach 48 Stunden postoperativ gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied. Die Untersuchungsgruppe zeigte einen NRS-Mittelwert von 2,21 und die Kontrollgruppe einen NRS-Mittelwert von 2,32.

#### **4.2 Ergebnisse im Kontext aktueller Literatur**

Die derzeitige Datenlage zum kumulativen postoperativen Morphinverbrauch nach Hüftendoprothetik unter Einsatz einer PENG-Blockade ist inkonsistent. Eine im Jahr 2024 erschienene Metaanalyse weist auf einen signifikanten analgetischen Vorteil innerhalb der ersten 24 Stunden nach Operation hin (37). Diese Arbeit basiert auf dem Einschluss sämtlicher bis Juni 2023 publizierter randomisierter kontrollierter Studien mit höchstem Evidenzniveau.

Die Aussagekraft dieser Ergebnisse ist jedoch durch mehrere methodischen Einschränkungen limitiert. So war die Fallzahl in den einzelnen Primärstudien durchweg gering, was die statistische Power reduziert und die Generalisierbarkeit der Befunde einschränkt. Darüber hinaus bestanden erhebliche Unterschiede sowohl in der Dosierung als auch in der Auswahl systemischer Analgetika, was zu einer relevanten klinischen Heterogenität führte. Dieses Maß an Variabilität erschwert nicht nur die direkte Vergleichbarkeit der Daten, sondern wirft zudem kritische methodische Fragen hinsichtlich der Eignung zur statistischen „Poolbarkeit“ in einer Metaanalyse auf.

Einige Studien haben Bupivacain und andere Ropivacain als Lokalanästhetikum verwendet. Des Weiteren ergaben sich Unterschiede bezüglich der Definition von Kontrollgruppen. Einige Studien verglichen die PENG-Block-Gruppe mit einer Fascia Iliaca-Compartment-Block-Gruppe. Andere Autoren definierten Patienten mit einer Lokalanästhetika-Infiltration (LIA) als Kontroll-Gruppe. Beide Interventionen haben postoperativ einen Einfluss auf die Notwendigkeit von Rescue-Medikation im Sinne von Opioiden oder anderen systemischer Analgetika. Die primären Endpunkte betrafen bei allen Studien die NRS-Skala nach 6, 24 und 48 Stunden postoperativ und den kumulativen Opioidverbrauch (37).

Ähnliche Ergebnisse hat eine weitere Metaanalyse von Kim et al. aus dem Jahr 2023 gezeigt (38). In diese Studie wurden insgesamt fünf randomisierte kontrollierte Studien eingeschlossen, die die Effektivität des PENG-Blocks nach Hüft-Endoprothetik im Vergleich zu anderen peripheren Nervenblockaden oder LIA untersucht haben (38). Auch in der Metaanalyse von Kim et al. (38) wurde der Opioidverbrauch nach 24 Stunden und die Schmerzintensität (NRS) nach 12, 24 und 48 Stunden postoperativ verglichen. Kim et al. zeigten einen signifikant niedrigeren kumulativen postoperativen Opioidverbrauch nach 24 Stunden in der PENG-Gruppe, der jedoch nach 48 Stunden nicht mehr vorlag. Bezüglich der Schmerzangaben (NRS) wurde zu keinem Zeitpunkt ein Unterschied festgestellt.

Die Arbeitsgruppe von Mysore et al. hat retrospektiv die postoperative Analgesie mit PENG nach Hüft-Endoprothetik untersucht (54). Bei dieser Studie hatte die Untersuchungsgruppe als Intervention die Kombination von PENG-Block und LIA und die Kontrollgruppe nur eine LIA. Verglichen wurde der kumulative postoperative Morphinverbrauch nach 24 Stunden. Es konnte gezeigt werden, dass die PENG-Gruppe weniger Morphinäquivalentdosis benötigt hat als die LIA-Gruppe. In Bezug auf die maximalen NRS-Werte, konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden (54).

Eine kürzlich publizierte retrospektive Studie von Kinder et al. untersuchte 136 Patienten mit der Indikation für primär elektive Hüft-Endoprothetik (Hüft-TEP) (39). Alle Patienten erhielten eine LIA zur postoperativen Analgesie. Die Untersuchungsgruppe beinhaltete Patienten, die zusätzlich zur LIA einen PENG-Block vorwiesen. Verglichen wurden die postoperative Schmerzintensität (NRS) sowie der postoperative Morphinverbrauch bis zur Entlassung aus der Klinik (39). Der Vergleich der Schmerzintensität betraf die ersten zwei postoperativen Stunden. Bei der Studie gab es keinen signifikanten Unterschied weder in Bezug auf die NRS-Werte noch auf den gesamten perioperativen Morphinverbrauch (39). Zusätzlich wurde der Morphinäquivalent-Bedarf nach 90 Tagen verglichen. Auch hierbei ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. In Bezug auf den ersten Mobilisationszeitpunkt zeigte sich ein Vorteil für die Untersuchungsgruppe. Nach der PENG-Blockade lag dieser im Mittel bei 3,0 Stunden postoperativ versus 4,9 Stunden in der Kontrollgruppe. Weiterhin wiesen die Patienten mit erhaltener PENG-Blockade weitere Gehstrecken auf als die Patienten der Kontroll-Gruppe. In der retrospektiven Studie von Kinder et al. (39) lagen keine Angaben bezüglich der Lokalanästhetikadosierung für die LIA oder für die PENG-Blockade vor. Außerdem verwendeten Kinder et al. (39) einen posterioren operativen Zugang, der nach Nagpal et al. (56) und Pun et al. (65) mit dem PENG-Block nur eine eingeschränkte analgetische Abdeckung erfährt. Das Versorgungsgebiet des PENG-Blocks ist gemäß Nagpal et al. (56) und Pun et al. (65) auf den vorderen und lateralen Bereich der Hüfte limitiert. Somit ist die Durchführung des PENG-Blocks für diese Art des operativen Zugangs nur eingeschränkt zu empfehlen.

Mehrere klinische Studien und Fallserien zeigen, dass der PENG-Block eine signifikante Schmerzreduktion bei Patienten mit Hüftfrakturen bewirken kann. Dies wurde besonders bei älteren Patienten beobachtet, bei denen andere Regionalanästhesie Blockaden wie z.B. der Fascia iliaca Block weniger effektiv waren. Eine weitere Studie von Sahoo et al. aus dem Jahr 2021 (67) hat die präoperative analgetische Wirkung des PENG-Blocks bei Patienten mit

Hüftfrakturen untersucht. Auch bei dieser Studie wurde 30 Minuten nach Injektion die Schmerzintensität in Ruhe und nach passiver Bewegung der Hüfte verglichen. Es wurde gezeigt, dass die Patienten, die den PENG-Block erhalten haben, signifikant weniger Schmerzen empfunden haben als diejenigen Patienten ohne PENG-Block. Ähnliche Ergebnisse hat die Studie von Tang et al. (73) gezeigt. Sie stellten fest, dass die Durchführung des PENG-Blocks bei älteren Patienten mit Hüftfrakturen eine Reduktion der Schmerzintensität bis 12 Stunden postoperativ ermöglicht. Der PENG-Block scheint präoperativ eine effektive Linderung der Schmerzen zu bewirken.

Der PENG-Block scheint besonders bei älteren Patienten mit Hüftfrakturen, eine wichtige Rolle für eine Opioid sparende Analgesie zu spielen. Dies hat eine Gruppe von Fontes et al. (20) gezeigt, wo ältere Patienten mit Hüftfrakturen in der Notaufnahme behandelt wurden. Die Patienten mit PENG-Block hatten bis über 12 Stunden eine effektivere Analgesie als die Patienten ohne PENG-Block.

Somit ist allen genannten Studien gemeinsam, dass sie keine Kontrollgruppen vorweisen, in denen eine isolierte systemische Therapie als analgetisches Konzept vorlag. Somit wird deutlich, dass der alleinige analgetische Effekt des PENG-Blocks durch keine der bisherigen Studien quantifizierbar ist.

In der von mir vorgelegten retrospektiven Untersuchung wurde der Einfluss des PENG-Blocks auf den gesamten postoperativen Morphinäquivalent-Verbrauch und die maximale postoperative Schmerzintensität über 48 Stunden analysiert. Gemäß den erhobenen Daten ergab sich für den MEQ-Bedarf nach 48 Stunden kein Vorteil für die Patienten, die eine PENG-Blockade erhielten ( $p=0,49$ ). Das Ergebnis des Morphinäquivalentverbrauchs unterscheidet sich von den oben genannten Studien. Dazu sind mehrere Faktoren zu nennen. Erstens, im Gegensatz zu der Studie von Mysore et al. (54) wurde in der vorliegenden Studie der kumulativ Morphinäquivalentverbrauch nach 48 Stunden statt nach 24 Stunden errechnet. Zweitens, die Wahl der Lokalanästhetika für die Durchführung des PENG-Blocks war unterschiedlich. In der Vergleichsstudie von

Mysore et al. (54) wurde Bupivacain als Lokalanästhetikum eingesetzt. Somit wurde ein potenteres und länger wirksames Medikament als Ropivacain untersucht. Die vorliegende Studie setzte Ropivacain als Lokalanästhetikum ein. Die Hypothese, dass der PENG-Block den postoperativen Analgetikabedarf über 48 Stunden signifikant zu reduzieren vermag, wurde in der vorliegenden Untersuchung somit nicht bestätigt.

Bei Betrachtung der vorliegenden Literatur, die sich auf die Analgesie nach Hüftfrakturen konzentriert, lässt sich feststellen, dass der PENG-Block eine wichtige Rolle bei der Versorgung der Patienten mit Hüftfrakturen spielt.

#### **4.3 Limitationen**

Bei der Interpretation der vorliegenden Ergebnisse sind einige Limitationen zu berücksichtigen. Da es um eine retrospektive Studie handelt, ist eine fehlerhafte Dokumentation nicht auszuschließen. Bei der Studie war unterschiedliches sowohl ärztliches als auch pflegerisches Personal involviert. Es lagen -gemäß dem retrospektiven Studien-Designs- keine Studienprotokolle vor, wie es bei einer prospektiven Studie der Fall gewesen wäre. Des Weiteren sind gewisse Gewohnheiten, was die Verabreichung der Analgetika betrifft, ebenso nicht auszuschließen. Der Akut-Schmerz-Standard hat sich im Jahr 2022 verändert, so dass alle Patienten nach Hüft-Endoprothetik, vor Entlassung aus dem Aufwachraum, Oxycodon 10 mg oral erhalten haben. Die Gabe von 10 mg Oxycodon p.o. war im Jahr 2021 als Bedarfsmedikation im Akut-Schmerzstandard hinterlegt und wurde nicht regelmäßig verabreicht. Dadurch haben in der Summe alle Patienten der Untersuchungsgruppe schon im Aufwachraum standardmäßig einen höheren Morphinäquivalentverbrauch vorgewiesen. Außerdem ist die Gabe des intravenösen Opioids Piritramid durch das anästhesiologische Pflegepersonal direkt nach Eintreffen des Patienten im Aufwachraum ohne Abfrage der Schmerzintensität ein durchaus routiniertes

Verhalten. Dasselbe gilt auch für die peripheren Stationen, auf denen der Akut Schmerzstandard ohne Abfrage der Schmerzskala zum Teil angewendet wird.

Eine weitere Limitation stellt die Messung der Schmerzintensität dar. Diese beruht auf der subjektiven Einschätzung der Patienten, was das Risiko von Verzerrungen durch individuelle Interpretationen in sich trägt. Zudem wurden psychologische Faktoren wie Angst und Depression, die das Schmerzerleben beeinflussen können, nicht untersucht.

In der vorliegenden Studie war die Konzentration von Ropivacain mit 0,2% niedriger als bei den Vergleichsstudien, in denen dasselbe Medikament -jedoch mit unterschiedlicher Konzentration- benutzt wurde. Die Wirkungsdauer von Ropivacain schwankt zwischen 6 und 12 Stunden, so dass nach 48 Stunden keine Wirkung vom Lokalanästhetikum zu erwarten ist.

#### **4.4 Schlussfolgerung für die klinische Praxis**

Die vorliegende Arbeit widmete sich der Fragestellung, ob die Anwendung des PENG-Blocks einen Einfluss auf den postoperativen Bedarf an Morphinäquivalenten und auf die postoperative Schmerzintensität (NRS) über 48 Stunden hat. Die Ergebnisse zeigten, dass weder der gesamte Morphinverbrauch noch die Schmerzintensität nach 48 Stunden mit der Durchführung des PENG-Blocks signifikant reduziert, werden konnten.

Diese Erkenntnisse, relativieren die in der Literatur diskutierte, potenzielle analgetische Überlegenheit des PENG-Blocks im Hinblick auf den Bedarf an Morphinäquivalenten. Dennoch sollte die klinische Entscheidung über den Einsatz des PENG-Blocks nicht ausschließlich auf der Basis des gesamten Analgetikaverbrauchs getroffen werden. Weitere Faktoren wie der intraoperative Opioid- und Anästhetikaverbrauch, der Zeitpunkt der

Mobilisationsfähigkeit der Patienten und mögliche Nebenwirkungen sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

Zukünftige prospektive, randomisierte Studien mit größeren Fallzahlen, einer detaillierten Erhebung von Schmerzparametern sowie mit einer längerfristigen Nachbeobachtung sind notwendig, um den Stellenwert des PENG-Blocks in der postoperativen Schmerztherapie fundiert beurteilen zu können.

## **5. Zukünftige Studien**

Da bisherige Studien methodische Mängel in Bezug auf die Homogenität von Patientengruppen, weder eine adäquate Randomisierung und Kontrolle aufweisen noch eine praxisnahe Indikation und Anwendung der PENG-Blockade zeigen, empfiehlt es sich, entsprechende randomisiert-kontrollierte Studien mit spezifischen Patienten-Kollektiven durchzuführen. Zukünftige Studien sollten die standardisierte Erfassung funktioneller Endpunkte wie die zeitnahe Mobilisation oder die Inzidenz von Stürzen mit einbeziehen. Insbesondere zum Sturzrisiko im Zusammenhang mit der PENG-Blockade liegen keine Studien vor. Viele bisherige Studien, die die Ausbreitung des Lokalanästhetikums untersuchten, basieren auf Leichenmodellen. Es wäre praxisnaher, wenn diese Frage in klinischen Studien mit Hilfe von MRT- oder 3D-CT-Bildgebungen beantwortet werden würde.

Insgesamt wird die Wirksamkeit der PENG-Blockade als vielversprechend eingestuft, wobei zukünftige, methodisch adäquat konzipierte Studien notwendig sind, um seine Indikation im perioperativen Management der Hüftendoprothetik umfassend zu bewerten.

## 6. Zusammenfassung

**Einleitung:** Hüftendoprothetik geht häufig mit erhöhtem Einsatz von Opioiden einher. Der PENG-Block könnte als Regionalanästhesieverfahren eine Opioid-sparende Schmerztherapie ermöglichen. Bisherige Studien zeigten unterschiedliche Ergebnisse in Bezug auf den Bedarf an Morphinäquivalenten nach der Durchführung des PENG-Blocks. Ziel der vorliegenden Studie war es, als primären Endpunkt, den Morphinäquivalentverbrauch und als sekundären Endpunkt den NRS-Wert 48 Stunden nach elektiver Hüftendoprothetik zu untersuchen.

**Material und Methodik:** Es wurden insgesamt 309 Patienten nach Hüftendoprothetik in eine retrospektive Studie eingeschlossen. Es lagen 141 Patienten in der Interventionsgruppe (PENG-Block) und 168 Patienten in der Kontrollgruppe (ohne PENG-Block) vor. Die Interventionsgruppe hat nach der Allgemeinanästhesie einen PENG-Block mit 40ml Ropivacain 0,2% erhalten. In der Kontrollgruppe erfolgte keine Nerven-Blockade. Die maximale Schmerzintensität (NRS) sowie der gesamte Morphinäquivalentverbrauch (MEQ) im mg wurden über 48 Stunden erhoben.

**Ergebnisse:** Die Ergebnisse zeigten, dass der durchschnittliche Bedarf an Morphinäquivalenten in der PENG-Gruppe statistisch nicht geringer war als in der Kontrollgruppe. Der Vergleich der Schmerzintensität (NRS) zeigten sich statistisch signifikant geringere Schmerzen am Operationstag und 24 Stunden postoperativ nach Einsatz der PENG-Blockade.

**Schlussfolgerung:** Diese Studie deutet darauf hin, dass die Anwendung der PENG-Blockade in dem untersuchten Kollektiv keinen signifikanten Einfluss auf den postoperativen Morphinäquivalentbedarf hat. Gleichwohl bleibt offen, ob sich in anderen Patientengruppen, bei unterschiedlichen operativen Eingriffen oder in Kombination mit weiteren Regionalanästhesieverfahren ein klarer

Nutzen dieser Technik nachweisen lässt. Mehrere prospektive, randomisierte Studien sind notwendig, um diese Frage zu beantworten.

## 7. Summary

**Introduction:** Total hip arthroplasty (THA) is frequently associated with increased opioid use in the postoperative period. The pericapsular nerve group (PENG) block may offer an opioid-sparing approach to pain management as a regional anesthesia technique. Previous studies have shown varying results regarding the need for morphine equivalents following the use of the PENG block. The aim of the present study was to evaluate, as the primary outcome, the morphine equivalent consumption and, as the secondary outcome, the maximum NRS Score within 48 hours after elective total hip arthroplasty.

**Materials and Methods:** A total of 309 patients who underwent elective total hip arthroplasty were included in this retrospective study. 141 patients received a PENG block (intervention group), and 168 patients did not (control group). The intervention group received a PENG block with 40 ml of 0.2% ropivacaine after general anesthesia, while the control group received only general anesthesia without any regional block. Maximum pain intensity was recorded using the Numerical Rating Scale (NRS), and total morphine equivalent (MEQ) consumption in milligrams was measured over a 48-hour postoperative period.

**Results:** The results showed that the average morphine equivalent consumption in the PENG group was not statistically lower than in the control group. However, the comparison of pain intensity (NRS) revealed statistically significantly lower pain levels on the day of surgery and 24 hours postoperatively in the group that received the PENG block.

**Conclusion:** This study indicates that the use of the PENG block in the investigated cohort does not have a significant impact on postoperative morphine equivalent consumption. However, it remains unclear whether this technique may demonstrate a clear benefit in other patient populations, different surgical procedures, or in combination with additional regional

anesthesia techniques. Several prospective, randomized trials are required to address this question.

## 8. Literatur

1. Affas F, Nygard BA, Stiller CO, Wretenberg P, Olofsson C. Pain control after total knee arthroplasty: a randomized trial comparing local infiltration anaesthesia and continuous femoral block. *Acta Orthopaedica* 2011; 82:441-447.
2. Affas F. Local Infiltration analgesia in knee and hip arthroplasty efficacy and safety. *Scand J Pain*.2016 13:59-66.
3. Anger M, Valovska T, Beloeil H, Lirk P, Joshi GP, Van de Velde M, Raeder J; PROSPECT Working Group\* and the European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy. PROSPECT guideline for total hip arthroplasty: a systematic review and procedure-specific postoperative pain management recommendations. *Anaesthesia*. 2021 76(8):1082-1097.
4. Balocco AL, Class E, Lopez A, Van Herreweghe I. Selective periarticular blocks for postoperative pain after hip and knee arthroplasty. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2021 34(4):544-552.
5. Barrack RL, Paprosky W, Butler RA, Palafox A, Szuszczewicz E, Myers L (2000) Patient's perception of pain after total hip arthroplasty. *J Arthroplast* 15:590-596.
6. Becker, D. E. & Reed, K. L. (2012). Local anesthetics: review of pharmacological considerations. *Anesth Prog*, 59(2), 90-101.
7. Ben Aziz M, Mukhdomi J. Pericapsular Nerve Group Block. 2023 Feb 28. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan.
8. Berlioz BE, Bojaxhi E. PENG Regional Block (Archived). 2024 Oct 7. In: StatPearls (Internet). Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan.
9. Birnbaum J. Albrecht R. *Ultraschallgestützte Regionalanästhesie 2013, Auflage 2*.Springer Verlag.
10. Bugada D, Bellini V, Lorini L, Mariano ER: Update on selective regional analgesia for hip surgery patients. *Anaesthesiology Clinic*. 2018, 36:403-415.
11. Bugada D, Lorini LF, Lavand'homme P. Opioid free anesthesia: evidence for short and long-term outcome. *Minerva Anesthesiol*. 2021 87(2):230-237.

12. Cascorbi I, Sorge J, Strumpf M. Praktische Schmerzmedizin-Analgetika und Koanalgetika in der Schmerzmedizin. I. Cascorbi, J. Sorge, M. Strumpf 12.12.2008.
13. Cunningham DJ, LaRose M, Zhang G, Patel P, Paniagua A, Gadsden J, Gage MJ. Regional Anesthesia Associated With Decreased Inpatient and Outpatient Opioid Demand in Tibial Plateau Fracture Surgery. *Anesth Analg.* 2022 134(5):1072-1081.
14. De Luca ML, Ciccarello M, Martorana m, Infantino D, Letizia Mauro G, Bonarelli S, Benedetti MG. Pain monitoring and management in a rehabilitation setting after total joint replacement. *Medicine (Baltimore).* 2018 Oct;97(40).
15. Dony, P., Dewinde, V. Vanderik, B. , Cuignet, O. Gautier, P., Legrand, E. , Lavand d'homme, P. & De Kock, M. (2000). The comparative toxicity of ropivacaine and bupivacaine at equipotent doses in rats. *Anesth Analg,* 91(6), 1489-1492.
16. Dosing Guidelines for Acetaminophen and selected NSAID's (<http://www3.us.elsevierhealth.com/PAIN/pdfChart2a.pdf>) Elsevier Health. Mosby. 1999 Retrieved 2022-11-22.
17. Fan X, Cao F, Lou A. Femoral nerve block versus fascia iliaca block for pain control in knee and hip arthroplasties: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2021 9;100(14).
18. Fanelli A, Balzani E, Memtsoudis S, Abdallah FW, Mariano ER. Regional anesthesia techniques and postoperative delirium: systematic review and meta-analysis. *Minerva Anesthesiol.* 2022 ;88(6):499-507.
19. Ferrara, Carta S, Fortina M, Scipio D, Riva A, Di Giacinto S. Painful hip arthroplasty: definition. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism* 2011;8: 19-22.
20. Fontes GM, Perez MV, Miashiro EH, Neto AIS, Grigio TR, Rodrigues LHS. Pericapsular Hip Block Guided by Ultrasonography in Elderly People with Hip Fracture in the Emergency Sector: Clinical Trial. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo).* 2024 10;59(2).

21. Fujino T, Odo m, Okada H, Takahashi S, Kikuchi T. Continuous pericapsular nerve group for postoperative pain management in total hip arthroplasty: report of two cases. *JA Clin Rep.* 2021 7;7(1):22.
22. Gan, T.J., Belani, K. G., Bergese, S., et al. (2020). Fourth consensus guidelines for the management of postoperative nausea and vomiting. *Anesthesia & Analgesia*, 131, 411-448.
23. Ganapathy S. Wound/intra-articular infiltration or peripheral nerve blocks for orthopedic joint surgery: efficacy and safety issues. *Curr Opin Anaesthesiol* 2012; 82:441-447.
24. Garmon EH, Huecker MR. Topical, Local and Regional Anesthesia and Anesthetics. (Updated 2023 Aug 28.) In: *StatPearls (Internet)*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan.
25. Geiselman, Matthew T. et al. Does the use of an intra-Articular Local Anesthetic Injection During Total Hip Arthroplasty Reduce Patient reported Pain Scores or Patient Opioid Consumption? *The journal of Arthroplasty*, 10.1016/j.arth. 2021.12.014,37,4, (748-754).
26. Gerhardt M, Johnson K, Atkinson R, et al. Characterisation and classification of the neural anatomy in the human hip joint. *Hip Int.* 2012; 22:75-81.
27. Girón-Arango L, Peng PWH, Chin KJ, Brull R, Perlas A. Pericapsular Nerve Group (PENG) Block for Hip Fracture. *Reg Anesth Pain Med.* 2018 ;43(8):859-863.
28. Graglia S, Kornblith A. Point-of-care ultrasound-guided regional anaesthesia: the superficial cervical plexus block for a patient with a clavicle fracture. *Emerg Med J.* 2023 ;40(10):694-697.
29. Greenstein AS, Gorczyca JT. Orthopedic Surgery and the Geriatric Patient. *Clin Geriatric Med.* 2019 ;35(1):65-92.
30. Greimel F, Schiegl J, Meyer M, Grifka J, Maderbacher G. Fast-Track-Endoprothetik [Fast-Track-Arthroplasty]. *Orthopadie (Heidelb).* 2024 ;53(2):117-126.
31. Henson DW, Scott CEH, Macfarlane AJR. Regional analgesia for total hip arthroplasty and Schwartz's paradox. *Br J Anaesth.* 2023 ;130(6):650-654.

32. Huang Y, Lu Y, Wang J, Lu Q, Bao HF, Liu L, Dong CS. Effect of Pericapsular Nerve Group Block with Different Concentrations and Volumes of Ropivacaine on functional Recovery in Total Hip Arthroplasty: A Randomized, Observer-Masked, Controlled Trial. *J Pain Res.* 2024; 17:677-685.
33. Jakobsson J, Johnson MZ. Perioperative regional anaesthesia and postoperative longer-term outcomes. *F1000Res.* 2016 Oct 11;51000 Faculty Rev-2501.
34. Kampa RJ, Prasthofer A, Lawrence-Watt DJ, Pattison RM. The internervous safe zone for incision of the capsule of the hip: a cadaver study. *J Bone Joint Surg Br* 2007; 89: 971-6.
35. Kanadli H, Dogru S et al. Comparison of the efficacy of femoral nerve block and fascia iliaca compartment block in patients with total knee replacement. *Minerva Anesthesiol.* 2018 ;84(10):1134.
36. Kaye AD, Urman RD, Cornett EM, Hart BM, Champ A, Gayle JA, Fox CJ. Enhanced recovery pathways in orthopedic surgery. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2019;35(Suppl 1): S35-S39.
37. Ke J, Yang Y, Cao Y, Wang Y, Lin C. Efficacy and safety of pericapsular nerve group block in total hip arthroplasty: a meta-analysis and systematic review. *Minerva Anesthesiol.* 2024 ;90(3):200-209.
38. Kim E, Shin WC, Lee SM, Choi MJ, Moon NH. Efficacy of Pericapsular Nerve Group Block for Pain Reduction and Opioid Consumption after Total Hip Arthroplasty: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Hip Pelvis.* 2023 ;35(2):63-72.
39. Kinder KD, Stambough JB, Barnes CL, Porter A, Mears SC, Stronach BM. Pericapsular Nerve Group Block Did Not Reduce Postoperative Pain or Opioid Use After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2024 ;39(9S1): S112-S116.
40. Kuchálik J, Granath B, Ljunggren A, Magnuson A, Lundin A, Gupta A. Postoperative pain relief after total hip arthroplasty: a randomized, double-blind comparison between intrathecal morphine and local infiltration analgesia. *Br J Anaesth.* 2013; 111:793-799.

41. Kukreja P, Avila A, Northern T, Dangle J, Kolli S, Kalagara H. A retrospective Case Series of Pericapsular Nerve Group (PENG) Block for Primary Versus Revision Total Hip Arthroplasty Analgesia. *Cureus*. 2020, 19;12(5): e8200.
42. Kukreja P, Uppal V, Kofskey AM, Feinstein J, Northern T, Davis C, Morgan CJ, Kalagara H. Quality of recovery after pericapsular nerve group (PENG) block for primary total hip arthroplasty under spinal anaesthesia: a randomised controlled observer-blinded trial. *Br J Anaesth*. 2023 ;130(6):773-779.
43. Ladka KS, Patorno E, Huybrechts KF, et al. Variations in the use of perioperative multimodal analgesic therapy. *Anesthesiology*. 2016; 124:837-45.
44. Lam CF, Hsieh SY, Wang JH, Pan HS, Liu XZ, Ho YC, Chen TY. Incidence and characteristic analysis of in-hospital falls after anesthesia. *Perioper Med (Lon)*. 2016, 23,5:11.
45. Lavernia C, D' Apuzzo M, Hernandez VH, Lee DJ (2005) Patient-perceived outcomes in thigh pain after primary arthroplasty of the hip. *Clin Orthop Relat Res* 441:268-273.
46. Lehmann KA, Paral F, Sabatowski R. Postoperative Schmerztherapie mit Hydromorphon und Metamizol. Eine prospektiv randomisierte Untersuchung im Rahmen der intravenösen patientenkontrollierten Analgesie (PCA) [Postoperative pain therapy with hydromorphone and metamizole. A prospective randomized study in intravenous patient-controlled. *Anaesthesist*. 2001 ;50(10):750-6.
47. Lin C, Darling C, Tsui BCH. Practical Regional Anesthesia Guide for Elderly Patients. *Drugs Aging*. 2019 ;36(3):213-234.
48. Lin DY, B. Brown, C. Morrison, N. S. Fraser, Ch. S.L. Choice, M. G. Cehic, D. H. McLeod, M. D. Henningsen, N. Sladojevic, H. M. Kroon, R. L. Jaarsma. The pericapsular Nerve Group Block (PENG) combined with Local Infiltration Analgesia (LIA) compared to Placebo and LIA in hip arthroplasty surgery: a Multi-Center double-blinded randomized-controlled trial. *BMC Anesthesiology* (2022) 22:252.

49. Lou ZY, Yu QP, Zeng WN, Xiao Q, Chen X, Wang HY, Zhou Z. Adductor canal block combined with local infiltration analgesia with morphine and betamethasone show superior analgesic effect than local infiltration analgesia alone for total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022, 19;23(1):468.
50. Lunn TH, Husted H, Solgaard S, Kristensen BB, Otte KS, Kjersgaard AG et al. Intraoperative local infiltration analgesia for early analgesia after total hip arthroplasty - a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Reg Anesth Pain Med* 2011; 36:424-429.
51. Martin W, Koselowske G, Töberich H, Kerkmann T, Mangold B, Augustin J. Pharmacokinetics and absolute bioavailability of ibuprofen after oral administration of ibuprofen lysine in man. *Biopharm Drug Dispos.* 1990 11(3):265-278.
52. Memtsoudis, S. G., Cozowicz, C., Bekkeris, J., Bekere, D., Liu, J., Soffin, E. Sharrock, N. E. (2021). Peripheral nerve block anesthesia/analgesia for patients undergoing primary hip and knee arthroplasty: recommendations from the International Consensus on Anesthesia-Related Outcomes after Surgery (ICAROS) group based on a systematic review and meta-analysis of current literature. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, 46(11), 971-985.
53. Memtsoudis, S. G., Poeran, J., Zubizarreta, N., Cozowicz, C., Mörwald, E. E., Mariano, E. R., & Mazumdar, M. (2018). Association of multimodal pain management strategies with perioperative outcomes and resource utilization: a population-based study. *Anesthesiology*, 128(5), 891-902.
54. Mysore K. Sancheti SA, Howell SR, Ballah EE, Sutton JL, Uppal V. Postoperative analgesia with pericapsular nerve group (PENG) block for primary total hip arthroplasty: a retrospective study. *Can J Anaesth.* 2020 ;67(11):1673-1674.
55. Nafziger An, Barkin RI. Opioid Therapy in Acute and chronic Pain. *J Clin Pharmacol.* 2018 ;58(9):1111-1122.

56. Nagpal AS, Brennick C, Occhialini AP, Leet JG, Clark TS, Rahimi OB, Hulk K, Bickelhaupt B, Eckmann MS. Innervation of the Posterior Hip Capsule: Cadaveric Study. *Pain Med.* 2021, 21;22(5):1072-1079.
57. Ng A, Swami A, Smith G, Emembolu J. Early analgesic effects of intravenous parecoxib and rectal diclofenac following laparoscopic sterilization: a double-blind, double-dummy randomized controlled trial. *J Opioid Manag.* 2008 ;4(1):49-53.
58. Nielsen ND, Greher M, Moriggl B et al. Spread of injectate around hip articular sensory branches of the femoral nerve in cadavers. *Acta Anaesthesiol Scand* 2018; 62: 1001-6.
59. Nielsen, S., Degenhardt, L., Hoban, B. And Gisev, N. (2014). Comparing opioids: A guide to estimating oral morphine equivalents (OME) in research. Technical Report No. 329 Sydney: National Drug and Alcohol Research Centre, University of NSW.
60. Oder da GM, Evans RS, Lloyd J, et al. Cost of opioid-related adverse drug events in surgical patients. *J Pain Symptom Manage* 2003;25(3):276-83.
61. Pai, Poonam MD, MS, FASA; Amor, Daniel MD; Lai, Yan H.FASA,CBA,Lac;Echevarria, Ghislaine C. MD,MS.Use and Clinical Relevancy of pericapsular Nerve Block (PENG) in Total Hip Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-analysis. *The Clinical Journal of Pain* 2024,40(5): p 320-332.
62. Pascarella G, Costa F, Del Buono R, Pulitanò R, Strumia A, Piliego C, De Quattro E, Cataldo R, Agrò FE, Carassiti M; collaborators. Impact of the pericapsular nerve group (PENG) block on postoperative analgesia and functional recovery following total hip arthroplasty: a randomised, observer-masked, controlled trial. *Anaesthesia.* 2021 ;76(11):1492-1498.
63. Pilz V., Hanstein T., Skripitz R., Projections of primary hip arthroplasty in Germany until 2040, *Acta Orthopaedica* 2018; 89(3):308-313.
64. Postler A, Neider J, Gunther KP, Kirschner S. Incidence of early postoperative cognitive dysfunction and other adverse events in elderly patients undergoing

- elective total hip replacement (THR). *Arch Gerontol Geriatric*. 2011;53(3):328-333.
65. Pun M, Ng T, Vermeylen K, Tran J. Innervation of the hip joint: implications for regional anaesthesia and image-guided interventional pain procedures. *BJA Educ*.2024 ;24(6):191-202.
66. Reza PC, Garcia PD, Vasquez MG, et al. Pericapsular nerve group block for hip surgery. *Minerva Anesthesiol* 2020; 86:463-5
67. Sahoo RK, Jadon A, Sharma SK, Nair AS. Pericapsular nerve group (PENG) block for hip fractures: Another weapon in the armamentarium of anesthesiologists. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2021 ;37(2):295-296.
68. Sara B, Trish H, Lansdown A, McHardy PG, Gollish J, Kiss A, KaustovL, Choi S. Ultrasound-guided suprainguinal fascia iliaca compartment block and early postoperative analgesia after total hip arthroplasty:a randomised controlled trial. *Br J Anaesth*.2024 ;133(1):146-151.
69. Sharma P, Chand T, Saxena A, Bansal R, Mittal A, Shrivastava U. Evaluation of postoperative analgesic efficacy of transversus abdominis plane block after abdominal surgery: A comparative study. *J Nat Sci Biol Med*. 2013 ;4(1):177-180.
70. She C, Liu H. The efficacy of Pericapsular nerve group block for reducing pain and opioid consumption after total hip arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2024, 8;19(1):229.
71. Short AJ, Barnett JJG, Gofeld M, et al. Anatomic Study of Innervation of the Anterior Hip Capsule: Implication for Image-Guided Intervention. *Regional Anesthesia & Pain Medicine* 2018 ;43:186-192.
72. Simić A, Neseck Adam V, Rošić D, Kočet N, Svetec M, Herceg A, Keranović A, Rašić Ž. peripheral nerve blocks for hip fractures in emergency medicine. *Acta Clin Croat*. 2022 ;61(Suppl 1):78-83.
73. Tang Y, Zhang X, Yi S, Li D, Guo H, Liu Y, Liu J, Kong M. Ultrasound-guided pericapsular nerve group (PENG) block for early analgesia in elderly patients with

- hip fractures: a single-center prospective randomized controlled study. *BMC Anesthesiol.* 2023, 23;23(1):383.
74. Tazreean R, Nelson G, Twomey R. Early mobilization in enhanced recovery after surgery pathways: current evidence and recent advancements. *J Comp Eff Res.* 2022 ;11(2):121-129.
75. Vamshi C, Sinha C, Kumar A et al. Comparison of the efficacy of pericapsular nerve group block (PENG) block versus suprainguinal fascia iliaca block (SFICB) in total hip arthroplasty: A randomized control trial. *Indian J Anaesth.*2023;67(4):364-369.
76. Vasilevskis EE, Han JH, Hughes CG, Wesley E. Epidemiology and risk for delirium across hospital settings. *Best Practice and Research Clinical Anaesthesiology* 2012; 26: 277-87.
77. Wang Y, Wen H, Wang M, Lu M. The Efficiency of ultrasound-guided pericapsular nerve group block for pain management after hip surgery: a meta-analysis. *Pain Ther.* 2023;12(1):81-92.
78. Weber, B., Weber, J., Eberhart, L., & Knoth, S. (2020). Fokus - Narkose und Umwelt. *Anästhesiologie Intensivmedizin Notfallmedizin Schmerztherapie*, 55, 720-730.
79. Wick EC, Grant MC, Wu Cl. Postoperative Multimodal Analgesia Pain Management With Nonopioid Analgesics and Techniques: A Review.*JAMA Surg.* 2017, 1;152(7):691-697.
80. Wulf H., Van Aken H. Niesel Chr. *Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie* 3. Auflage 2010.
81. Zheng FY, Liu YB, Huang H, Xu S, Ma XJ, Liu YZ, Chu HC. The impact of IPACK combined with adductor canal block under ultrasound guidance on early motor function after total knee arthroplasty. *Braz J Anesthesiol.* 2022 ;72(1):110-114.
82. Zheng J, Pan D, Zheng B, Ruan X. Preoperative pericapsular nerve group (PENG) block for total hip arthroplasty: a randomized, placebo-controlled trial. *Reg Anesth Pain Med.* 2022 ;47(3):155-160.

83. Zheng L, Jo Y, Hwang J, Rhim H, Park E, Oh C, Lee J, Noh C, Hong B, Lee J. Comparison of the analgesic efficacy of periarticular infiltration and pericapsular nerve group block for total hip arthroplasty: a randomized, non-inferiority study. *Ann Palliat Med.* 2022 ;11(4):1222-1230.

## 9. Anhang

### A) Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Kadaverschnitt der Hüfte	9
Abb. 2	Innervation der hinteren Hüftkapsel	10
Abb. 3	Chemische Strukturformel des Ropivacains	12
Abb. 4	Lagerung der Hüfte für den PENG-Block	13
Abb. 5	Schematische Darstellung der Abb. 4	14
Abb. 6	Sonographisches Bild vom PENG-Block	14
Abb. 7	Sonographisches Bild der Strukturen des PENG-Blocks	22
Abb. 8	Sonographisches Bild nach Einführen der Kanüle	22
Abb. 9	Sonographisches Bild mit Verteilung des Lokalanästhetikums	23
Abb. 10	Altersverteilung in den Behandlungsgruppen	26
Abb. 11	Geschlechtsverteilung in den Behandlungsgruppen	28
Abb. 12	Verteilung der Kontroll- und Interventionsgruppe nach BMI	29
Abb. 13	Vergleich des Mittelwertes der gesamten MEQ-Dosis	31
Abb. 14	Vergleich des Mittelwertes der MEQ-Dosis im PACU	31
Abb. 15	Vergleich des Mittelwertes der MEQ-Dosis post-OP	32
Abb. 16	Geschlechtsvergleich des Mittelwertes der MEQ-Dosis im PACU	33
Abb. 17	Geschlechtsvergleich des Mittelwertes der NRS max. OP-Tag	36

Abb. 18	Geschlechtsvergleich des Mittelwertes des NRS max. 24h post-OP	37
Abb. 19	Geschlechtsvergleich des Mittelwertes des NRS max. 48h post-OP	38
Abb. 20	Gesamtvergleich der NRS max. Mittelwerte	39

## B) Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Demographische Charakteristika der Kontroll- und der Interventionsgruppe	27
Tab. 2	Morphinäquivalente (MEQ) postoperativ und im Aufwachraum (PACU)	30
Tab. 3	Differenzen der Behandlungsgruppen für den MEQ-Verbrauch	33
Tab. 4	Maximale Schmerzintensität (NRS)	34
Tab. 5	Differenzen der Behandlungsgruppen bezogen auf die Mittelwerte der NRS max.	35

### C) Abkürzungsverzeichnis

AIIS	Spina iliaca anterior inferior
ASA	American Society of Anesthesiologists
BMI	Body Mass Index
cm	centimeter
et al.	et alii
FA	Arteria femoralis
FICB	Fascia Iliaca Compartment Block
FV	Vena femoralis
IPE	Eminentia iliopubica
i.v.	intravenös
kg	kilogramm
LIA	Lokale Infiltrationsanästhesie
LA	Lokalanästhetikum
max.	maximum
MEQ	Morphinäquivalent
MHZ	Megahertz
mg	milligram
mm	millimeter
M	Musculus
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
N	Nervus
NRS	Numerische Ratingskala
NSAR	Nichtsteroidale Antirheumatika
PACU	Post Anesthesia Care Unit
PENG	Pericapsular Nerve Group (Block)
PONV	Postoperative Nausea and Vomiting
p.o.	per os
s. Abb.	siehe Abbildung

SPSS    Statistical Package for the Social Sciences

s. Tab.    siehe Tabelle

TEP    Totalendoprothese

µg    Mikrogramm

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, mich bei allen Menschen zu bedanken, die mich bei der Umsetzung dieser Doktorarbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Thorsten Steinfeldt, für die Überlassung des Themas zu dieser Arbeit, seine wertvolle unermüdliche Betreuung und Motivation.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. med. Marx für seine wertvolle Hilfe, die mir ermöglicht hat, diese Arbeit zu realisieren.

Außerdem möchte ich besonders meinen Kollegen Pravash Regmi für seine tatkräftigen Hilfe und moralische Unterstützung danken.

Zuletzt danke ich meine Familie, die mir stets Mut zugesprochen hat und für die erforderliche Geduld, die sie mir in dieser Zeit entgegengebracht hat.