

Aus der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin
(Akademischer Vertreter: Prof. Dr. Norbert Weiler)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Einfluss tiefer Muskelrelaxation auf den Druck der Dammregion und die Gelenkspaltweite in
Hüftgelenksarthroskopien

Eine prospektive klinische Studie

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Artur Kotov
aus Biškek, Kirgisistan

Kiel (2021)

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Thomas Ledowski, Royal Perth Hospital, UWA Anaesthesiology

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Babak Moradi, Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie

Tag der mündlichen Prüfung: 03.02.2022

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 04.11.2021

gez.: Prof. Dr. Martin Albrecht

Prof. Dr. Franziska Theilig

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| <u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u> | III |
| <u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u> | V |
| <u>1 EINLEITUNG</u> | 1 |
| 1.1 FRAGESTELLUNG | 1 |
| 1.2 ANATOMIE DES NERVUS PUDENDUS | 2 |
| <u>2 MATERIAL UND METHODEN</u> | 6 |
| 2.1 PHARMAKA | 6 |
| 2.2 INSTRUMENTARIUM ZUR DRUCKMESSUNG | 6 |
| 2.2.1 AUSWERTUNGSPROGRAMM PRESSURE MAT ANALYSIS 2.0 | 10 |
| 2.3 EXTENSIONSTISCH | 11 |
| 2.4 RELAXOMETER | 13 |
| 2.5 C-BOGEN | 14 |
| 2.6 PATIENTEN | 16 |
| 2.7 ANÄSTHESIE | 17 |
| 2.8 PROTOKOLL 1- DRUCKMESSUNG DER DAMMREGION | 17 |
| 2.8.1 LAGERUNG | 17 |
| 2.8.2 DRUCKMESSUNG | 19 |
| 2.8.3 AUSWERTUNG DER DRUCKMESSUNG | 19 |
| 2.9 PROTOKOLL 2- MESSUNG DER GELENKSPALTWEITE IM HÜFTGELENK | 20 |
| 2.9.1 LAGERUNG | 20 |
| 2.9.2 MESSUNG DER GELENKSPALTWEITE | 21 |
| 2.9.2.1 Messung 1 | 21 |
| 2.9.2.2 Messung 2 | 23 |
| 2.9.2.3 Messung 3 | 24 |
| 2.10 STATISTIK | 24 |
| <u>3 ERGEBNISSE</u> | 25 |

| | | |
|------------|---|------------------|
| 3.1 | DEMOGRAFISCHE DATEN | 25 |
| 3.2 | DRUCKMESSUNG | 25 |
| 3.3 | MESSUNG DER GELENKSPALTWEITE | 25 |
| 4 | <u>DISKUSSION</u> | <u>27</u> |
| 5 | <u>ZUSAMMENFASSUNG</u> | <u>32</u> |
| 6 | <u>LITERATURVERZEICHNIS</u> | <u>34</u> |
| 8 | <u>ANHANG</u> | <u>38</u> |
| 8.1 | DESKRIPTIVE STATISTIK VON PROTOKOLL 1 UND 2 | 38 |
| 8.1.1 | TABELLE 1- PATIENTENVERTEILUNG NACH BIOLOGISCHEM GESCHLECHT | 38 |
| 8.1.2 | TABELLE 2- KÖRPERGEWICHT, -GRÖÖE UND ALTER DER PATIENTEN | 38 |
| 8.2 | ERGEBNISSE VON PROTOKOLL 1- DRUCKMESSUNG DER DAMMREGION | 39 |
| 8.2.1 | TABELLE 3- DURCHSCHNITTS- UND MAXIMALDRUCKMESSWERTE UNTER TRAKTION OHNE UND MIT MUSKELRELAXATION | 39 |
| 8.3 | ERGEBNISSE VON PROTOKOLL 2- MESSUNG DER GELENKSPALTWEITE IM HÜFTGELENK | 40 |
| 8.3.1 | TABELLE 4- AUSGANGSGELENKSPALTWEITE VOR TRAKTION, GELENKSPALTWEITE UNTER TRAKTION OHNE UND MIT MUSKELRELAXATION | 40 |
| 8.3.2 | TABELLE 5- VERGLEICH ZWISCHEN PATIENTEN MIT NIEDRIGER UND HOHER AUSGANGSGELENKSPALTWEITE UNTER TRAKTION OHNE UND MIT MUSKELRELAXATION | 41 |
| 8.3.3 | TABELLE 6- VARIANZANALYSE ZU TABELLE 5 | 42 |
| 8.3.4 | TABELLE 7- VERGLEICH DER GELENKSPALTWEITE ZWISCHEN FRAUEN UND MÄNNERN UNTER TRAKTION OHNE UND MIT MUSKELRELAXATION | 43 |
| 8.3.5 | TABELLE 8- VARIANZANALYSE ZU TABELLE 7 | 44 |
| 8.3.6 | TABELLE 9- VERGLEICH ZWISCHEN PATIENTEN MIT NIEDRIGER UND HOHER GELENKSPALTWEITE UNTER TRAKTION OHNE UND MIT MUSKELRELAXATION | 45 |
| 8.3.7 | TABELLE 10- VARIANZANALYSE ZU TABELLE 9 | 45 |

Abkürzungsverzeichnis

A. Arteria

ANOVA Varianzanalyse

ASA American Society of Anesthesiologists

BMI Body-Mass-Index

cm Zentimeter

CTA Conformable TactArray

CTVR Chameleon Tactile Visualization and Recording Software 2012

g Gramm

h Stunde

Hz Hertz

i.v. intravenös

kg Kilogramm

KG Körpergewicht

Lig. Ligamentum

m Meter

mA Milliampere

mm Millimeter

ml Milliliter

MPa Megapascal

N Newton

N. Nervus

Nn. Nervi

Pa Pascal

PMA Pressure Mat Analysis

PPS Pressure Profile Systems

Rr. Rami

s Sekunde

TIVA totale intravenöse Anästhesie

TSCE T4500 Signal Conditioning Electronics

V. Vena

° C Grad Celsius

% Prozent

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| ABBILDUNG 1- ANATOMISCHES PRÄPARAT EINES MÄNNLICHEN BECKENS MIT DARSTELLUNG DAMMREGION VON DORSAL (FOTOGRAFIE STEFANIE GUNDLACH UND ARTUR KOTOV; MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROF. WEDEL AUS DEM ANATOMISCHEN INSTITUT KIEL) 1: ANUS 2: SKROTUM 3: PENIS 4: AUS DER FOSSA ISCHIOANALIS MÜNDENDER N. PUDENDUS MIT FETT- UND BINDEGEWEBE 5: NN. RECTALES INFERIORES 6: NN. PERINEALES 7: NN. SCROTALES POSTERIORES | 4 |
| ABBILDUNG 2- ANATOMISCHES PRÄPARAT EINES WEIBLICHEN BECKENS MIT DARSTELLUNG DER DAMMREGION VON DORSAL (FOTOGRAFIE STEFANIE GUNDLACH UND ARTUR KOTOV; MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROF. WEDEL AUS DEM ANATOMISCHEN INSTITUT KIEL) 1: LIG. SACROTUBERALE ABGEKLAPPT 2: ANUS 3: LABIUM MAJUS 4: OS SACRUM MIT ANTEILEN DES LIG. SACROTUBERALE 5: AUS DER FOSSA ISCHIOANALIS MÜNDENDER N. PUDENDUS MIT A. UND VENA (V.) PUDENDA INTERNA 6: NN. RECTALES INFERIORES 7: NN. PERINEALES 8: NN. LABIALES POSTERIORES | 5 |
| ABBILDUNG 3- SKIZZE ZUR DRUCKSENSORMATTE CONFORMABLE TACTARRAY SYSTEM (MODELL 5218) AKTIVE MESSFLÄCHE MIT 1024 QUADRATISCHEN DRUCKSENSORELEMENTEN (HIER DARGESTELLT ALS QUADRATE); LINKS UNTEN VERBINDUNG ZUM MODUL T4500 SIGNAL CONDITIONING ELECTRONICS, UMGEÄNDERT NACH PRESSURE PROFILE SYSTEMS INCORPORATED, LOS ANGELES, USA (HTTPS://PRESSUREPROFILE.COM)..... | 7 |
| ABBILDUNG 4- KOMPONENTEN DES INSTRUMENTARIUMS ZUR DRUCKMESSUNG, UMGEÄNDERT NACH PRESSURE PROFILE SYSTEMS INCORPORATED, LOS ANGELES, USA (HTTPS://PRESSUREPROFILE.COM)..... | 8 |
| ABBILDUNG 5- BENUTZERBEREICH VON PPS'S CHAMELEON TACTILE VISUALIZATION AND RECORDING SOFTWARE 2012; AUFZEICHNUNG DES DRUCKS IN GRAMM PRO QUADRATZENTIMETER MIT ZWEIDIMENSIONALER, NACH HÖHE DES GEMESSENEN DRUCKWERTES FARBBLICH SKALIERTER DARSTELLUNG DER DRUCKVERTEILUNG AUF DER DRUCKSENSORMATTE UND IM KURVENDIAGRAMM MIT GRAF FÜR JEWEILS DURCHSCHNITTS- UND MAXIMALDRUCKMESSWERT; SEITE DES ZU ARTHROSKOPIERENDEN HÜFTGELENKS IN DIESEM FALL LINKS (ABBILDUNG ARTUR KOTOV) | 9 |
| ABBILDUNG 6- EXTENSIONSTISCH IM OPERATIONSSAAL MIT INSTRUMENTARIUM ZUR DRUCKMESSUNG UND ZUR ARTHROSKOPIE DES LINKEN HÜFTGELENKS (FOTOGRAFIE ARTUR KOTOV) 1: GEPOLSTERTER GEGENZUGSTAB MIT IMPLEMENTIERTER | |

| | |
|--|----|
| DRUCKSENSORMATTE (HIER DRUCKSENSORMATTE NICHT SICHTBAR) 2: ACTIVE HEEL- TRAKTIONSSCHUH MIT GURTEN 3: EXTENSIONSHOLM 4: RÜCKENANBAUELEMENT MIT POLSTER 5: EXTENSIONSTISCH MIT ARMLEHNE 6: MODUL ZUR SIGNALAUFBEREITUNG DER DRUCKSENSORELEMENTE T4500 SIGNAL CONDITIONING ELECTRONICS IN EINER SCHUTZHÜLLE 7: LAPTOP MIT IN BETRIEB GENOMMENEM COMPUTERPROGRAMM PPS'S CHAMELEON TACTILE VISUALIZATION AND RECORDING SOFTWARE 2012 | 12 |
| ABBILDUNG 7- INSTALLIERTES RELAXOMETER ZUR NEUROMUSKULÄREN ÜBERWACHUNG DER TIEFE DER MUSKELRELAXATION AM RECHTEN ARM EINES PATIENTEN (FOTOGRAFIE ARTUR KOTOV) 1: NMT MECHANOSENSOR MIT KABELVERBINDUNG ZUM TRANSMISSIONS-MODUL E-NMT (HIER NICHT DARGESTELLT) 2: ULNAR AM DISTALEN UNTERARM PLATZIERTE ELEKTRODEN MIT KABELVERBINDUNG ZUM TRANSMISSIONS- MODUL E-NMT (HIER NICHT DARGESTELLT) 3: PULSOXYMETER | 14 |
| ABBILDUNG 8- C-BOGEN IN POSTERIOR-ANTERIORER AUSRICHTUNG DES STRAHLENGANGS ZUR DARSTELLUNG DES RECHTEN HÜFTGELENKS EINES MÄNNLICHEN PATIENTEN; LAGERUNG AUF DEM EXTENSIONSTISCH IN RÜCKENLAGE UNTER TRAKTION DES RECHTEN BEINS (FOTOGRAFIE ARTUR KOTOV) 1: C-BOGEN 2: GEPOLSTERTER GEGENZUGSTAB GEGEN DIE DAMMREGION DRÜCKEND 3: IM ACTIVE HEEL-EINWEGPOLSTER GESCHÜTZTER UNTERSCHENKEL UND FUß, FIXIERT IM ACTIVE HEEL-TRAKTIONSSCHUH 4: EXTENSIONSHOLM 5: PATIENT RÜCKLINGS ZUR ARTHROSKOPIE DES RECHTEN HÜFTGELENKS GELAGERT | 15 |
| ABBILDUNG 9- BENUTZEROBERFLÄCHE DES AUSWERTUNGSPROGRAMMS PRESSURE MAT ANALYSIS 2.0 MIT DARSTELLUNG EINES SAMPLES; MARKIERUNG DER RELEVANTEN MESSFLÄCHE DER DRUCKMESSUNG VOM STARTZEITPUNKT BIS ZUM ENDZEITPUNKT IN MESSZEITRAUM 1 EINES PATIENTEN; SEITE DES ZU ARTHROSKOPIERENDEN HÜFTGELENKS IN DIESEM FALL LINKS (ABBILDUNG ARTUR KOTOV)..... | 20 |
| ABBILDUNG 10- RADIOGRAMM DES LINEALS IN POSTERIOR-ANTERIOREM STRAHLENGANG MIT MARKIERUNG DER LINEALBREITE; LINEAL ZUR VERDEUTLICHUNG GESTRICHELT UMRANDET (RADIOGRAMM TAO LIM UND ARTUR KOTOV) | 22 |
| ABBILDUNG 11- RADIOGRAMM EINES LINKEN HÜFTGELENKS IN POSTERIOR-ANTERIOREM STRAHLENGANG; RADIOLOGISCHER GELENKSPALT MIT DISTRAKTION VON CAPUT FEMORIS UND ACETABULUM UNTER TRAKTION UND NACH PUNKTION DER GELENKKAPSEL UND VOR TIEFER MUSKELRELAXATION (RADIOGRAMM TAO LIM UND ARTUR KOTOV)..... | 23 |
| ABBILDUNG 12- RADIOGRAMM EINES LINKEN HÜFTGELENKS IN POSTERIOR-ANTERIOREM STRAHLENGANG; RADIOLOGISCHER GELENKSPALT OHNE DISTRAKTION VON CAPUT | |

FEMORIS UND ACETABULUM UND VOR PUNKTION DER GELENKKAPSEL UND VOR TIEFER
MUSKELRELAXATION (RADIOGRAMM TAO LIM UND ARTUR KOTOV)23

1 Einleitung

1.1 Fragestellung

Die Hüftgelenksarthroskopie ist ein für den Arthroskopeur technisch anspruchsvolles, minimal invasives Operationsverfahren zur Diagnostik und Therapie von Hüftgelenkserkrankungen (1, 2). Wesentlicher Bestandteil zur Durchführung der Hüftgelenksarthroskopie und zur Patientensicherheit ist eine korrekte Lagerung auf einem Extensionstisch unabhängig vom Lagerungsstandard. Für den Arthroskopeur ist zum Einführen der arthroskopischen Instrumente ein ausreichender Abstand zwischen den artikulierenden Gelenkflächen des Caput femoris und des Acetabulums im Hüftgelenk notwendig. Eine solche Distraktion der artikulierenden Gelenkflächen wird mittels eines Extensionstisches mit einem kontinuierlichen longitudinalen Zug (Traktion) des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks erreicht (3-7). Damit eine Traktion aufgebaut und aufrechterhalten werden kann, wird ein fixierter Gegenzugstab als Widerlager an der Dammregion (Regio perinealis) zwischen den Beinen der Patienten benötigt (8-12). Während der gesamten Traktionszeit ist die Dammregion gegenüber der Kontaktfläche des Gegenzugstabes einem kontinuierlichen Druck exponiert. Auf diese Weise können Druckläsionen der Weichteile, insbesondere des oberflächlich verlaufenden N. pudendus und seiner Nervenäste, in der Dammregion als iatrogene Komplikation entstehen. Als Mechanismus der Druckläsion des N. pudendus und seiner Nervenäste wird die Kompression zwischen Gegenzugstab und knöchernem Becken sowie rigiden Weichteilen wie dem Diaphragma urogenitale beschrieben (6, 8, 13-15).

Die Druckläsion des N. pudendus und seiner Nervenäste ist eine der am häufigsten berichteten iatrogenen Komplikationen nach Hüftgelenksarthroskopien mit einer Inzidenz zwischen 0,9 bis 25 % (16-21). Die Klinik einer solchen Druckläsion wird von Patienten mit Schmerzen und Sensibilitätsstörungen in der Dammregion mit Beteiligung der Labien bei Frauen und der Glans penis und des Skrotums bei Männern beschrieben (8, 13, 20-23). Insbesondere bei Männern wird auch eine erektile Dysfunktion beschrieben (8, 13, 17, 21). Die Druckläsion des N. pudendus und seiner Nervenäste ist in der Regel temporär und eine Restitutio ad integrum ist nach Wochen bis Monate postoperativ zu erwarten (8, 15, 22, 24). Schmerzen, Sensibilitätsstörungen und sexuelle Funktionsstörungen können jedoch in dieser Zeit die Lebensqualität betroffener Patienten beeinträchtigen (8, 20, 24, 25).

Die Primärprävention der iatrogenen Druckläsion des N. pudendus und seiner Nervenäste bei Hüftgelenksarthroskopien und anderen orthopädisch-unfallchirurgischen Operationen mit Extensionstischen unter Anwendung von Traktion ist bis heute Gegenstand aktueller Forschung. Einheitliche Empfehlungen im Sinne einer Leitlinie zum anästhesiologischen Management und zur Lagerung bei Hüftgelenksarthroskopien stehen bislang aus. Die wesentliche Empfehlung aus vorangegangenen Studien ist eine ausreichende perioperative Muskelrelaxation (8, 9, 13, 15, 24-27). Theoretisch kann mit der vollständigen Aufhebung des Muskeltonus der Skelettmuskulatur die aufzuwendende Traktionskraft reduziert werden und folglich auch der Druck auf die Dammregion durch den Gegenzugstab. Bislang wurde diese Hypothese in einer klinischen Studie nicht überprüft (21).

Im Rahmen der vorliegenden klinischen Studie wurde erstmalig der Einfluss tiefer Muskelrelaxation auf den Druck der Dammregion und somit indirekt auf den N. pudendus und seine Nervenäste und die Gelenkspaltweite im Hüftgelenk während Hüftgelenksarthroskopien prospektiv untersucht. Die Fragestellung der vorliegenden Studie war daher, ob eine tiefe Muskelrelaxation messbaren und somit klinisch relevanten Einfluss auf den Druck auf die Dammregion und die Gelenkspaltweite in Hüftgelenksarthroskopien hat.

1.2 Anatomie des Nervus pudendus

Aus den Rami (Rr.) ventrales des Plexus sacralis vereint sich nach distal der paarig angelegte N. pudendus. Der N. pudendus tritt aus dem kleinen Becken durch das Foramen ischiadicum majus aus. Dorsal der Spina ischiadica zwischen Lig. sacrospinale und Lig. sacrotuberale verläuft der N. pudendus durch das Foramen ischiadicum minus in die Fossa ischioanalis (28, 29). Von dort verläuft der N. pudendus gemeinsam mit den Vasa pudenda interna innerhalb der Faszienduplikatur des M. obturatorius internus (Alcock-Kanal) in Richtung Dammregion. In der Dammregion medial des Tuber ischiadicum verzweigt sich der N. pudendus in multiple, oberflächliche Nervenäste. Dazu gehören unter anderem die Nn. rectales inferiores und die Nn. perineales. Abhängig vom biologischen Geschlecht verzweigt sich der N. pudendus bei Frauen in den N. dorsalis clitoridis und die Nn. labiales posteriores, während er sich bei Männern in den N. dorsalis penis und die Nn. scrotales posteriores aufteilt (29, 30). Der N. pudendus hat sensible und motorische Faseranteile (31). Die Nn. rectales inferiores innervieren motorisch den Beckenbodenmuskel M. sphincter ani externus und sensibel die Haut der Dammregion und den Analkanal bis zur Linea pectinata. Die Nn. perineales

innervieren sensibel die Haut der Dammregion und motorisch die Beckenbodenmuskeln M. levator ani, M. transversus perinei superficialis, M. transversus perinei profundus, M. bulbospongiosus, M. ischiocavernosus und M. sphincter urethrae (28, 32) (Abbildung 1 und 2). Der N. dorsalis clitoridis innerviert sensibel die Clitoris und die Nn. labiales posteriores Teile der Labien. Der N. dorsalis penis innerviert sensibel den Penis samt Glans penis und die Nn. scrotales posteriores Teile des Skrotums (31). Der N. pudendus und seine Nervenäste sind an der reflexogen Erektion und Ejakulation wesentlich beteiligt (15, 23, 24, 29, 32, 33).

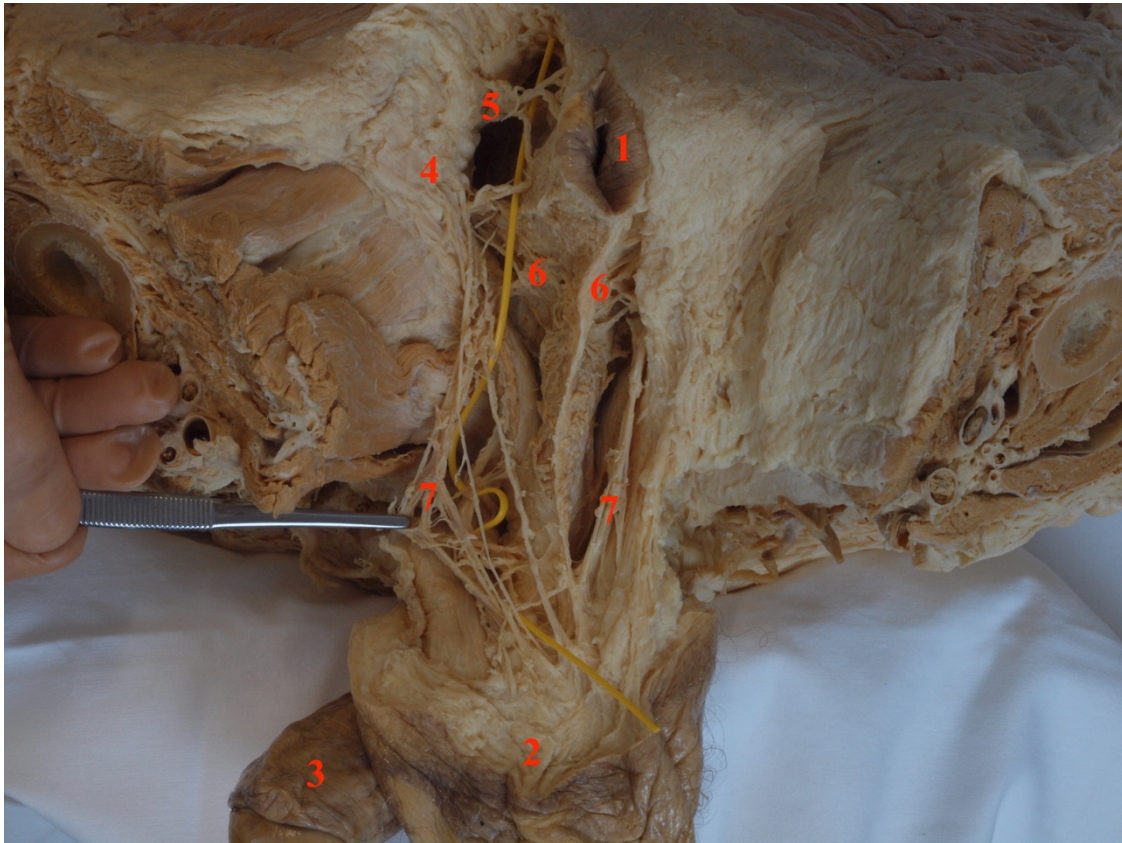


Abbildung 1- Anatomisches Präparat eines männlichen Beckens mit Darstellung Dammregion von dorsal

(Fotografie Stefanie Gundlach und Artur Kotov; mit freundlicher Genehmigung von Prof. Wedel aus dem Anatomischen Institut Kiel)

- 1: Anus
- 2: Skrotum
- 3: Penis
- 4: aus der Fossa ischioanalis mündender N. pudendus mit Fett- und Bindegewebe
- 5: Nn. rectales inferiores
- 6: Nn. perineales
- 7: Nn. scrotales posteriores

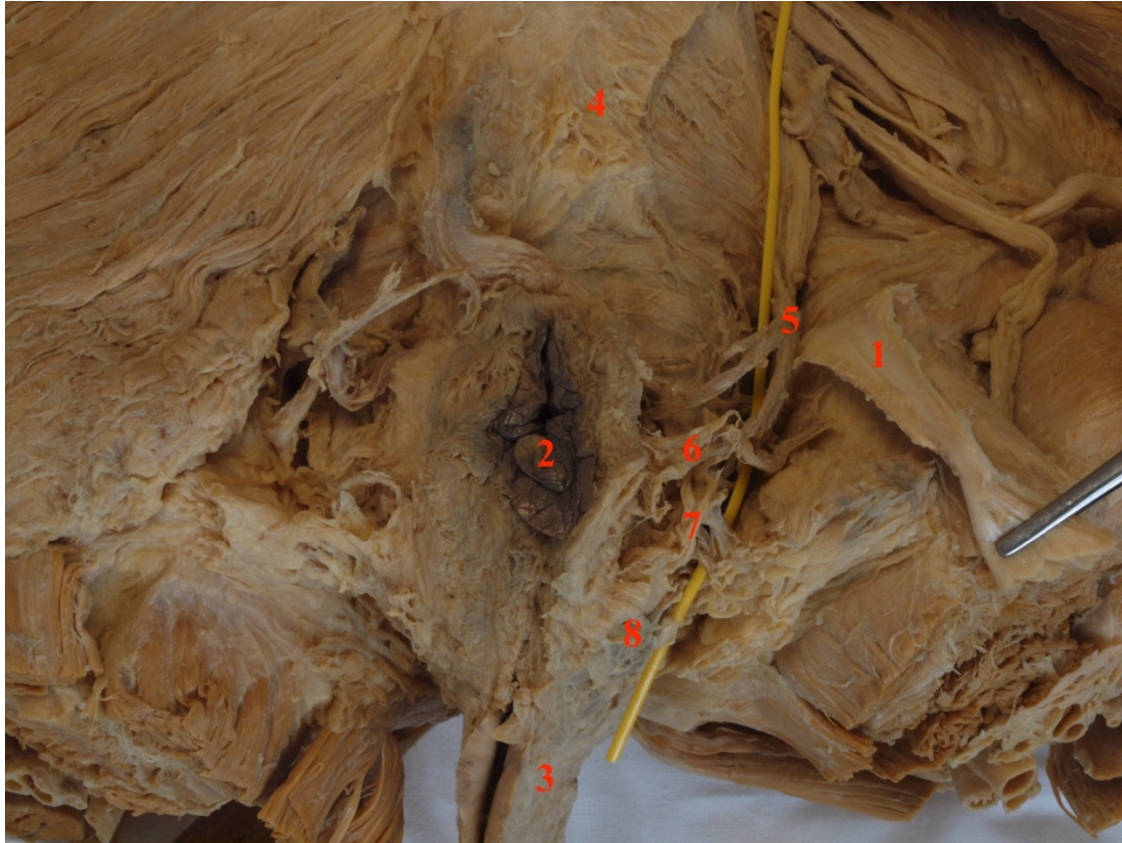


Abbildung 2- Anatomisches Präparat eines weiblichen Beckens mit Darstellung der Dammregion von dorsal
 (Fotografie Stefanie Gundlach und Artur Kotov; mit freundlicher Genehmigung von Prof. Wedel aus dem Anatomischen Institut Kiel)

- 1: Lig. sacrotuberale abgeklappt
- 2: Anus
- 3: Labium majus
- 4: Os sacrum mit Anteilen des Lig. sacrotuberale
- 5: Aus der Fossa ischioanalis mündender N. pudendus mit A. und Vena (V.) pudenda interna
- 6: Nn. rectales inferiores
- 7: Nn. perineales
- 8: Nn. labiales posteriores

2 Material und Methoden

2.1 Pharmaka

Zur tiefen Muskelrelaxation wurde das nicht depolarisierende Muskelrelaxans Rocuronium als Rocuroniumbromid (Esmeron, Merck Sharp & Dohme Proprietary Limited, Australien) in der Dosierung 0,6 mg/ kg Körpergewicht (KG) intravenös (i.v.) für alle Patienten in Protokoll 1 und 2 einheitlich appliziert.

Propofol (Diprivan, AstraZeneca Proprietary Limited, Australien) wurde als Hypnotikum i.v. nach Ermessen des Anästhesisten in unterschiedlicher Dosierung appliziert.

Zur Analgesie wurde Remifentanil als Remifentanilhydrochlorid (Remifentanil Apotex, Apotex Proprietary Limited, Australien) und/ oder Fentanyl als Fentanylcitrat (AstraZeneca Fentanyl Injection, AstraZeneca Proprietary Limited, Australien) und/ oder Hydromorphon als Hydromorphonhydrochlorid (Dilaudid, Mundipharma Proprietary Limited, Australien) i.v. nach Ermessen des Anästhesisten in unterschiedlicher Dosierung appliziert.

2.2 Instrumentarium zur Druckmessung

Zur Druckmessung der Dammregion wurde das Conformable TactArray (CTA) des Modells 5218 (Pressure Profile Systems Incorporated, Los Angeles, USA) verwendet. Das CTA ist eine flexible Drucksensormatte mit einer Tiefe von 1 mm. Die Gesamtfläche der Drucksensormatte ist 176 mm x 176 mm. Die aktive Druckmessfläche beträgt 160 mm x 160 mm. Auf der aktiven Druckmessfläche sind 32 x 32 Drucksensorelemente von je 5 mm Länge und Breite verteilt. Die 1024 Drucksensorelemente sind auf der Messfläche wie in einem Koordinatensystem angeordnet. In 32 horizontalen und vertikalen Reihen befinden sich jeweils 32 Drucksensorelemente (Abbildung 3).

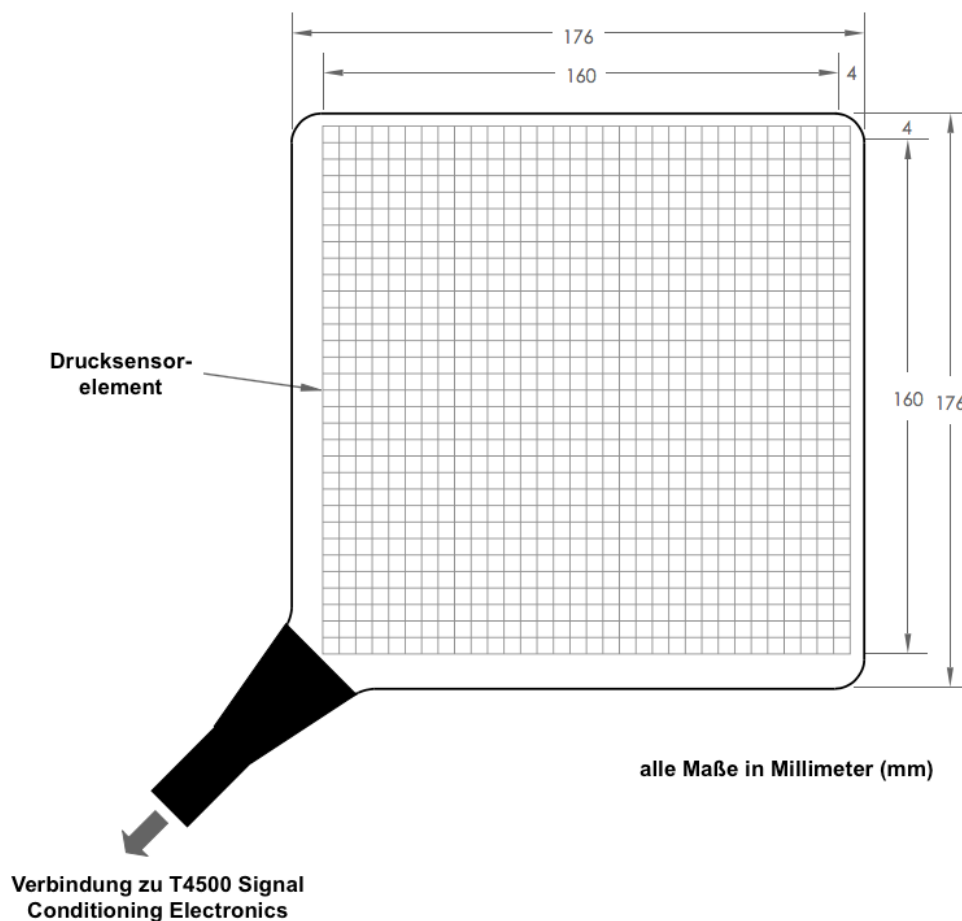


Abbildung 3- Skizze zur Drucksensormatte Conformable TactArray System (Modell 5218) Aktive Messfläche mit 1024 quadratischen Drucksensorelementen (hier dargestellt als Quadrate); links unten Verbindung zum Modul T4500 Signal Conditioning Electronics, umgeändert nach Pressure Profile Systems Incorporated, Los Angeles, USA (<https://pressureprofile.com>)

Ein Drucksensorelement misst in einem Messbereich von 10 Pascal (Pa) bis circa 1,4 Megapascal (MPa). Der Betriebstemperaturbereich der Drucksensorelemente erstreckt sich von minus 20 Grad Celsius (°C) bis 100 °C. Die Druckmessungen in der vorliegenden Studie wurden alle im optimalen Temperatur- und Druckbereich des Conformable TactArray System durchgeführt. Die Drucksensormatte kann für unterschiedlich geometrisch geformte Auflageflächen für alle Messungen angepasst werden. Laut Herstellerangabe hat eine

Anpassung durch Verformung des Materials keine Auswirkungen auf die Qualität der Druckmessungen.

Die Drucksensormatte wird mit einem integrierten Kabel mit dem Modul zur Signalaufbereitung der Drucksensorelemente T4500 Signal Conditioning Electronics (TSCE) (Pressure Profile Systems Incorporated, Los Angeles, USA) verbunden. Mit dem Modul TSCE werden alle gemessenen analogen Drucksignale der Drucksensorelemente digitalisiert. Das Modul TSCE verfügt über die Funktion der Temperaturkompensation in Echtzeit. Temperaturunterschiede im Operationssaal haben laut Herstellerangabe ebenfalls keine Auswirkungen auf die Qualität der Druckmessungen.

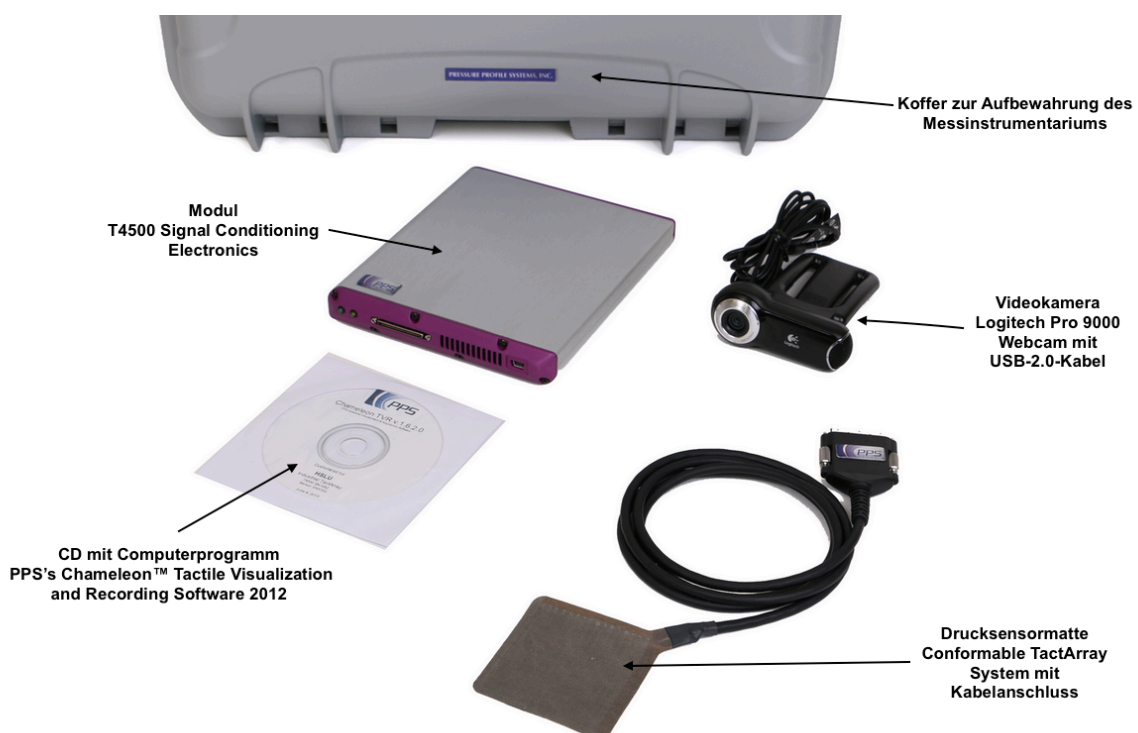


Abbildung 4- Komponenten des Instrumentariums zur Druckmessung, umgeändert nach Pressure Profile Systems Incorporated, Los Angeles, USA (<https://pressureprofile.com>)

Zur Aufzeichnung und Speicherung der digitalisierten Drucksignale wurde in der vorliegenden Studie das Computerprogramm Chameleon Tactile Visualization and Recording Software 2012 (CTVR) (Pressure Profile Systems Incorporated, Los Angeles, USA) verwendet (Abbildung 4). Das Modul TSCE wurde mittels eines vom Hersteller mitgelieferten USB-2.0-Kabels mit einem Laptop (Toshiba Corporation, Tokyo, Japan) verbunden. Das Modul TSCE hat eine maximale Aufzeichnungsfrequenz von bis zu 10 Hertz (Hz). Alle Druckmessungen wurden in der vorliegenden Studie mit einer

Aufzeichnungsfrequenz von 0,2 Hz durchgeführt. Somit wurde alle 5 Sekunden (s) ein Sample mit 1024 Druckmesswerten generiert.

Das Computerprogramm CTVR zeigt die Verteilung der Drucksignale in Echtzeit auf der aktiven Messfläche der Drucksensormatte CTA an. Ferner zeigt CTVR ein Kurvendiagramm mit einer Abszisse für die Zeit in Stunden, Minuten und Sekunden und mit einer Ordinate für Druck in Gramm pro Quadratcentimeter (g/cm^2) an. Die Druckmesswerte für den Durchschnitts- und Maximaldruck werden während einer Druckmessung im Kurvendiagramm jeweils als Graf in Echtzeit angezeigt. Entlang des Zeitstrahls an der Abszisse wurden die Start- und Endzeitpunkte von Messzeitraum 1 und 2 notiert (Abbildung 5). Alle aufgezeichneten Druckmesswerte wurden im tvr-Format und im csv-Format gespeichert.

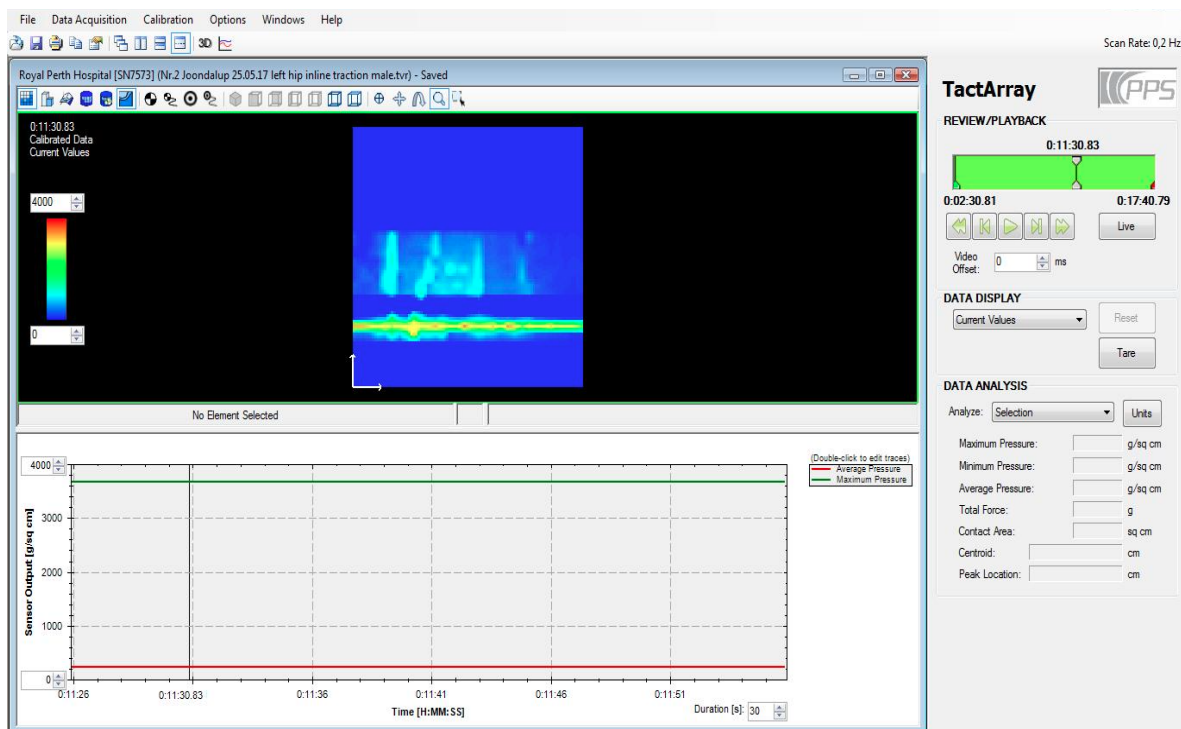


Abbildung 5- Benutzeroberfläche von PPS's Chameleon Tactile Visualization and Recording Software 2012; Aufzeichnung des Drucks in Gramm pro Quadratcentimeter mit zweidimensionaler, nach Höhe des gemessenen Druckwertes farblich skalierte Darstellung der Druckverteilung auf der Drucksensormatte und im Kurvendiagramm mit Graf für jeweils Durchschnitts- und Maximaldruckmesswert; Seite des zu arthroskopierenden Hüftgelenks in diesem Fall links (Abbildung Artur Kotov)

2.2.1 Auswertungsprogramm Pressure Mat Analysis 2.0

Die in CTVR gespeicherten Druckmesswerte wurden im csv-Format zur Sichtung in Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) exportiert. Da eine Vielzahl an Samples mit 1024 Druckmesswerten mit einer Aufzeichnungsfrequenz von 0,2 Hz über mehrere Minuten generiert wurde, war die Darstellung der einzelnen Druckmesswerte der 1024 Drucksensorelemente pro Sample in Microsoft Excel unübersichtlich und zur Auswertung zunächst ungeeignet.

Aus dieser Problematik heraus wurde eigens für die zugrundeliegende Studie das Auswertungsprogramm Pressure Mat Analysis 2.0 (PMA) (Abteilung für Medizintechnik, Royal Perth Hospital, Perth, Australien) entwickelt. Mit PMA wird die Topografie aller 1024 auf der Drucksensormatte verteilten Drucksensorelemente in einem Koordinatensystem geordnet dargestellt. Die Werte auf der Abszisse und die Werte auf der Ordinate sind von 0 bis 31 stellvertretend für alle Drucksensorelemente durchnummeriert. Eine Koordinate wird im Koordinatensystem als Kästchen abgebildet. Im Kästchen wird der vom korrespondierenden Drucksensorelement gemessene Druckwert eines Samples in der Maßeinheit Gramm pro Quadratcentimeter angegeben. Ein Kästchen entspricht der realen Fläche der Drucksensorelemente von jeweils 5 mm x 5 mm Länge und Breite. Eine Markierung einer Fläche von Kästchen berechnet automatisch die dazugehörige reale Fläche auf der Drucksensormatte in Quadratcentimeter. Die Markierung einer Fläche von Kästchen berechnet auch automatisch den Durchschnitt aller markierten Druckmesswerte und den maximalen Druckmesswert innerhalb der Markierung in einem jeweiligen Sample. In PMA wurde der Zeitstrahl mit den Notizen über die Start- und Endzeitpunkte von Messzeitraum 1 und 2 aus CTVR für alle Samples dargestellt. Durch die Markierfunktion in PMA wurde die relevante Kontaktfläche des Gegenzugstabes mit der Dammregion auf der Drucksensormatte zur Auswertung der Druckmessung ausgewählt.

2.3 Extensionstisch

In der vorliegenden Studie wurde für alle Patienten das erweiterte Extensionstisch-Positionierungssystem (Smith & Nephew Proprietary Limited, Australien) für die Hüftgelenksarthroskopie in Rückenlage verwendet (Abbildung 6). Bestandteile sind zwei um 360 ° schwenkbare Extensionsholme, ein Rückenbauelement mit Polster, ein gepolsterter Gegenzugstab mit einem Durchmesser von 23 cm und einer Höhe von 28 cm und zwei Active Heel-Traktionsschuhe mitsamt Active Heel-Einwegpolster. Die Traktionsschuhe sind jeweils mit einem Extensionsholm über ein Gleitgestell nach ventral und dorsal zur Grobeinstellung der Traktion verstellbar. Zur Feineinstellung der Traktion befindet sich am Extensionsholm eine Kurbel. Der Einweggegenzugstab setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Zwei zylindrisch geformte Schaumstoffpolster von unterschiedlich hartem Material sind schalenartig umeinandergewickelt. Die Schaumstoffpolster sind bis auf die Unterseite mit einer dünnen, elastischen Textilverkleidung versehen. Das innere, härtere Schaumstoffposter hat an der freien Unterseite eine kreisrunde, tiefe Aussparung für einen Metallstab als Verbindungsstück zwischen Gegenzugstab und Rückenbauelement am Extensionstisch. Das zulässige Höchstgewicht des Extensionstisches beträgt 150 kg mit einer zulässigen Beininnenlänge von 68 bis 91 cm. Alle untersuchten Patienten hatten ein zulässiges Körpergewicht und eine zulässige Beininnenlänge für eine korrekte Lagerung auf dem Extensionstisch.



Abbildung 6- Extensionstisch im Operationssaal mit Instrumentarium zur Druckmessung und zur Arthroskopie des linken Hüftgelenks
(Fotografie Artur Kotov)

- 1: Gepolsterter Gegenzugstab mit implementierter Drucksensormatte (hier Drucksensormatte nicht sichtbar)
- 2: Active Heel-Traktionsschuh mit Gurten
- 3: Extensionsholm
- 4: Rückenbauelement mit Polster
- 5: Extensionstisch mit Armlehne
- 6: Modul zur Signalaufbereitung der Drucksensorelemente T4500 Signal Conditioning Electronics in einer Schutzhülle
- 7: Laptop mit in Betrieb genommenem Computerprogramm PPS's Chameleon Tactile Visualization and Recording Software 2012

2.4 Relaxometer

Die Tiefe der Muskelrelaxation wurde mit einem Relaxometer, bestehend aus dem NMT MechanoSensor (GE Healthcare Finland Oy, Finnland) und dem neuromuskulären Transmissions-Modul E-NMT (GE Healthcare Finland Oy, Finnland), am Anästhesiearbeitsplatz Aisys CS² (GE Healthcare Finland Oy, Finnland) überwacht (Abbildung 7). Über zwei am distalen Unterarm ulnar platzierte Elektroden wurde der N. ulnaris elektrisch mit einer Stromstärke von 60 Milliampere (mA) mit einer Frequenz von 2 Hz stimuliert. Der zwischen Daumen und Zeigefinger angebrachte NMT MechanoSensor maß die Muskelkontraktion des M. adductor pollicis brevis auf die elektrischen Stimuli. Für alle Patienten in Protokoll 1 und 2 wurde der Stimulationsmodus Train-of-Four (TOF) verwendet. Die Muskelkontraktion auf elektrische Stimuli wurde quantitativ als TOF-Ratio (TOF%) und als TOF-Count dargestellt. Eine tiefe Muskelrelaxation wurde in der vorliegenden Studie bei einer nicht mehr messbaren TOF% und einem TOF-Count von 0 definiert.

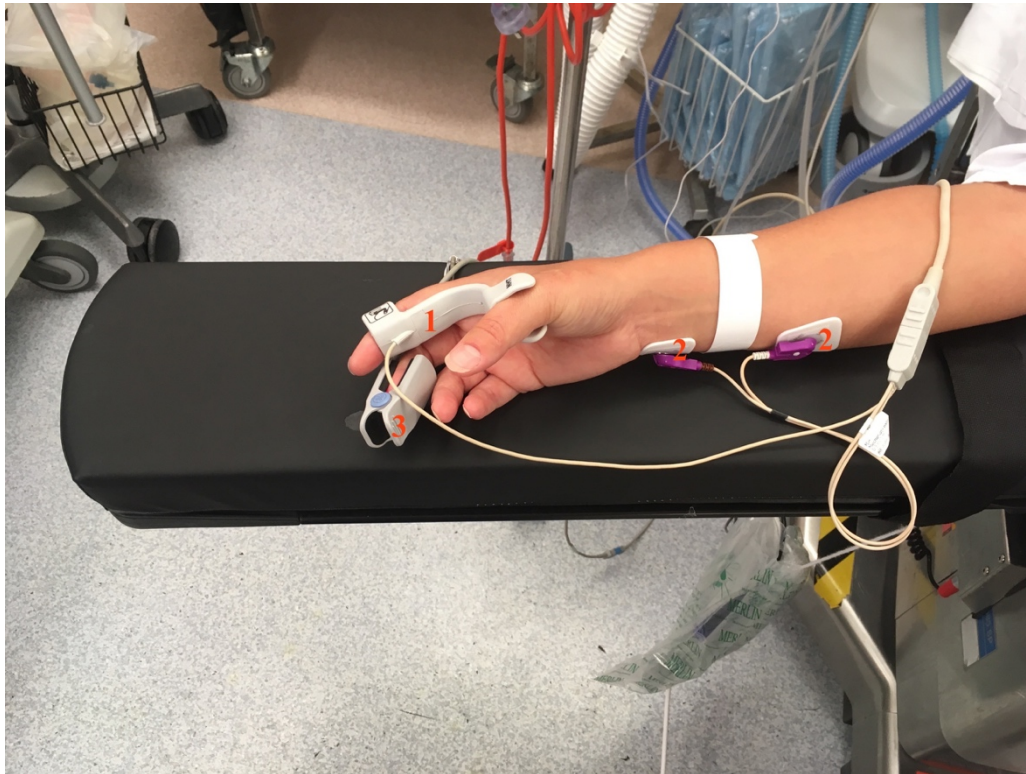


Abbildung 7- Installiertes Relaxometer zur neuromuskulären Überwachung der Tiefe der Muskelrelaxation am rechten Arm eines Patienten
(Fotografie Artur Kotov)

- 1: NMT MechanoSensor mit Kabelverbindung zum Transmissions-Modul E-NMT (hier nicht dargestellt)
- 2: Ulnar am distalen Unterarm platzierte Elektroden mit Kabelverbindung zum Transmissions-Modul E-NMT (hier nicht dargestellt)
- 3: Pulsoxymeter

2.5 C-Bogen

Der C-Bogen (fahrbare Röntgendurchleuchtungseinheit) BV Pulsera (Philips Electronics Australia Limited, Australien) wurde zur radiologischen Kontrolle der Gelenkspaltweite des zu arthroskopierenden Hüftgelenks in posterior-anteriorer Ausrichtung des Strahlengangs verwendet (Abbildung 8).



Abbildung 8- C-Bogen in posterior-anteriorer Ausrichtung des Strahlengangs zur Darstellung des rechten Hüftgelenks eines männlichen Patienten; Lagerung auf dem Extensionstisch in Rückenlage unter Traktion des rechten Beins (Fotografie Artur Kotov)

- 1: C-Bogen
- 2: Gepolsterter Gegenzugstab gegen die Dammregion drückend
- 3: Im Active Heel-Einwegpolster geschützter Unterschenkel und Fuß, fixiert im Active Heel-Traktionsschuh
- 4: Extensionsholm
- 5: Patient rücklings zur Arthroskopie des rechten Hüftgelenks gelagert

2.6 Patienten

Nach Genehmigung durch das Ethikkomitee des Joondalup Health Campus (Referenznummer 1628) wurden insgesamt 40 Patienten aus dem Glengarry Private Hospital und dem Joondalup Health Campus (Perth, Australien) in die vorliegende Studie eingeschlossen. 20 Patienten wurden in Protokoll 1 eingeschlossen. Nach zusätzlicher Durchführung der Gelenkspaltmessung aus Protokoll 2 in 2 Patienten aus Protokoll 1 wurden in Protokoll 2 20 weitere Patienten eingeschlossen. Alle Patienten unterzogen sich einer geplanten Hüftgelenksarthroskopie als Primäreingriff bei demselben Arthroskopieur. Die Indikation war für alle untersuchten Patienten eine diagnostizierte oder der Verdacht auf eine Läsion des Labrum acetabulare. Die Teilnahme an der vorliegenden Studie war freiwillig und konnte zu jedem Zeitpunkt abgebrochen werden. Alle Patienten wurden mündlich und schriftlich mittels eigens erstellter Aufklärungsbögen über den Inhalt, den Nutzen und die Risiken der Studie unterrichtet. Die Aufklärung erfolgte mindestens 24 Stunden vor der geplanten Hüftgelenksarthroskopie. Alle teilnehmenden Patienten willigten mündlich und schriftlich mit einer Einverständniserklärung ein.

Einschlusskriterien:

- Frauen und Männer im Alter von 18 bis einschließlich 60 Jahre
- Präoperativer Gesundheitszustand nach der Klassifikation der American Society of Anesthesiologists (ASA) von Stufe 1 (Patient normal, gesund) und Stufe 2 (Patient mit leichter Allgemeinerkrankung) (34)
- Allgemeinanästhesie als totale intravenöse Anästhesie (TIVA) mit dem Hypnotikum Propofol und Opioidanalgetika ohne den Einsatz von Inhalationsanästhetika
- Tiefe Muskelrelaxation mit dem Muskelrelaxans Rocuronium

Ausschlusskriterien:

- Allergie gegen Rocuronium und gegen das Antidot Sugammadex
- Neuromuskuläre Erkrankungen
- Patientenalter jünger als 18 Jahre oder älter als 60 Jahre
- Neuropathie oder widrige anatomische Verhältnisse, die ein neuromuskuläres Monitoring am N. ulnaris behindern würden

- Spinal- oder Epiduralanästhesie oder Blockade des N. femoralis und des N. ischiadicus vor der Druckmessung an der Dammregion oder vor der Messung der Gelenkspaltweite im Hüftgelenk
- Unfähigkeit zur Einwilligung

2.7 Anästhesie

Alle Patienten erhielten in Protokoll 1 und 2 eine TIVA. Induziert wurde die Anästhesie mit dem Hypnotikum Propofol. Zur Analgesie wurden Opioidanalgetika wie Fentanyl, Remifentanyl oder Hydromorphon appliziert. Die Beatmung erfolgte mit einer Larynxmaske der zweiten Generation Ambu AuraGain (Ambu A/S, Kopenhagen, Dänemark). Rocuronium wurde zur tiefen Muskelrelaxation als Bolus in der Dosierung 0,6 mg/ kg KG für alle Patienten in Protokoll 1 und 2 einheitlich zu einem definierten Messzeitpunkt appliziert. Zur Überwachung der Anästhesietiefe wurde entweder der Bispectral Index (BIS) (Medtronic-Covidien Ireland Limited, Irland) oder die Entropie (State Entropy) (GE Healthcare Finland Oy, Finnland) herangezogen. Die Tiefe der Muskelrelaxation wurde mit einem Relaxometer überwacht. Alle Patienten erhielten eine Wärmetherapie mittels konvektiver Luftwärmung in Form einer Heizdecke zur Vermeidung einer perioperativen Hypothermie.

2.8 Protokoll 1- Druckmessung der Dammregion

2.8.1 Lagerung

20 Patienten in Protokoll 1 wurden einheitlich in Rückenlage auf dem Extensionstisch desselben Herstellers nach erfolgreicher Induktion der Anästhesie gelagert. Die Drucksensormatte wurde faltenfrei unter die Textilverkleidung des Gegenzugstabes eingebracht und mit dem Modul TSCE verbunden. Anschließend wurde der Gegenzugstab mit dem Extensionstisch zwischen den Beinen des Patienten konnektiert. Das Tuber ischiadicum wurde auf der ipsilateralen Seite des zu arthroskopierenden Hüftgelenks palpatorisch zur Approximation der Drucksensormatte im Gegenzugstab an die Dammregion lokalisiert. Ziel war es, das Tuber ischiadicum mittig im lateralen Drittel auf der Drucksensormatte zur optimalen Messung des Drucks auf den N. pudendus und seine Nervenäste auf der restlichen aktiven Messfläche zu positionieren. Für

Hüftgelenksarthroskopien im linken Hüftgelenk wurde das linke laterale Drittel für das Tuber ischiadicum gewählt. Für Hüftgelenksarthroskopien im rechten Hüftgelenk wurde das rechte laterale Drittel für das Tuber ischiadicum gewählt.

Vor jedem Erstkontakt mit der Dammregion erfolgte die Testung und Kalibrierung der Drucksensormatte mit dem Computerprogramm CTVR. Nach sicherer Befestigung beider Füße in den Traktionsschuhen wurde das Bein des zu arthroskopierenden Hüftgelenks in neutraler Stellung im Knie- und Sprunggelenk um 45 ° abduziert. Das kontralaterale Bein wurde in neutraler Stellung im Hüft-, Knie- und Sprunggelenk positioniert.

Anschließend wurde der Patient nach kaudal auf dem Extensionstisch bis zum Kontakt mit der approximierten Drucksensormatte im Gegenzugstab gezogen. Das Skrotum und der Penis wurden bei Männern zum Schutz vor Kompression ventral vorgelagert. Ab dem Erstkontakt der Drucksensormatte mit der Dammregion wurde bis zum Beginn der Traktion des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks der Gegenzugstab zur Vermeidung einer Dislokation der Drucksensormatte manuell stabilisiert. Ein C-Bogen in posterior-anteriorer Ausrichtung des Strahlengangs wurde dann auf Höhe des zu arthroskopierenden Hüftgelenks zur radiologischen Kontrolle der Gelenkspaltweite an den Extensionstisch herangeführt.

Hiernach wurde das Bein des zu arthroskopierenden Hüftgelenks wieder bis zur neutralen Stellung im Hüftgelenk adduziert. Simultan erfolgte mithilfe des Extensionsholmes ein longitudinaler Zug (Traktion) des Beines nach kaudal. Bei einer für den Arthroskopeur ausreichenden radiologisch kontrollierten Gelenkspaltweite von mehr als 10 mm zwischen Caput femoris und Acetabulum wurde der aufgebaute Zug auf dem Extensionsholm zur Sicherung der Distraktion der artikulierenden Gelenkflächen im Hüftgelenk arretiert. Durch die Traktion wurde der Gegenzugstab und somit die Drucksensormatte stabilisierend gegen die Dammregion gedrückt. Eine Dislokation der Drucksensormatte war unter diesen Bedingungen nicht möglich.

2.8.2 Druckmessung

Die Bestätigung einer ausreichenden Distraction der artikulierenden Gelenkflächen im zu arthroskopierenden Hüftgelenk durch den Arthroskopeur war der Ausgangspunkt für die gesamte Druckmessung und zugleich Startzeitpunkt von Messzeitraum 1. Zur Minimierung von Messfehlern wurde während der gesamten Druckmessung ein medizinisch nicht notwendiger physischer Kontakt zu Patienten vermieden. Messzeitraum 1 dauerte 120 Sekunden. Messzeitraum 2 begann nach Abschluss der Druckmessung in Messzeitraum 1 mit einer relaxometrisch objektivierbaren tiefen Muskelrelaxation (TOF% nicht mehr messbar und TOF-Count von 0) nach i.v. Applikation von Rocuronium als Bolus in der Dosierung von 0,6 mg/ kg KG. Nach 120 Sekunden endete Messzeitraum 2. Hiernach endete die standardisierte Druckmessung in Protokoll 1.

2.8.3 Auswertung der Druckmessung

Das eigens entwickelte Auswertungsprogramm PMA wurde zur Auswertung der Druckmessung der Dammregion herangezogen. Trotz der individuellen Anatomie der Dammregion der 20 Patienten wurde die Position der Drucksensormatte an der Dammregion einheitlich nach Lokalisation des Tuber ischiadicum gewählt und ausgewertet. In PMA wurde nur der für den anatomischen Verlauf des N. pudendus und seiner Nervenäste relevante Teil der Kontaktfläche der Drucksensormatte mit der Dammregion eines jeden Samples innerhalb von jeweils Messzeitraum 1 und 2 zur Auswertung gewählt. Es wurde somit einheitlich die gesamte mediale Fläche ab dem Tuber ischiadicum in PMA gewählt.

Für jedes Sample wurde der Durchschnitts- und der Maximalwert aus der gewählten Fläche berechnet. Bei einem Messzeitraum von jeweils 120 Sekunden und einer Aufzeichnungsfrequenz von 0,2 Hz ergaben sich 24 Samples mit jeweils 24 Durchschnitts- und Maximalwerten pro Messzeitraum (Abbildung 9). Die 24 Durchschnitts- und Maximalwerte wurden jeweils aus Messzeitraum 1 und 2 für jeden Patienten gemittelt.

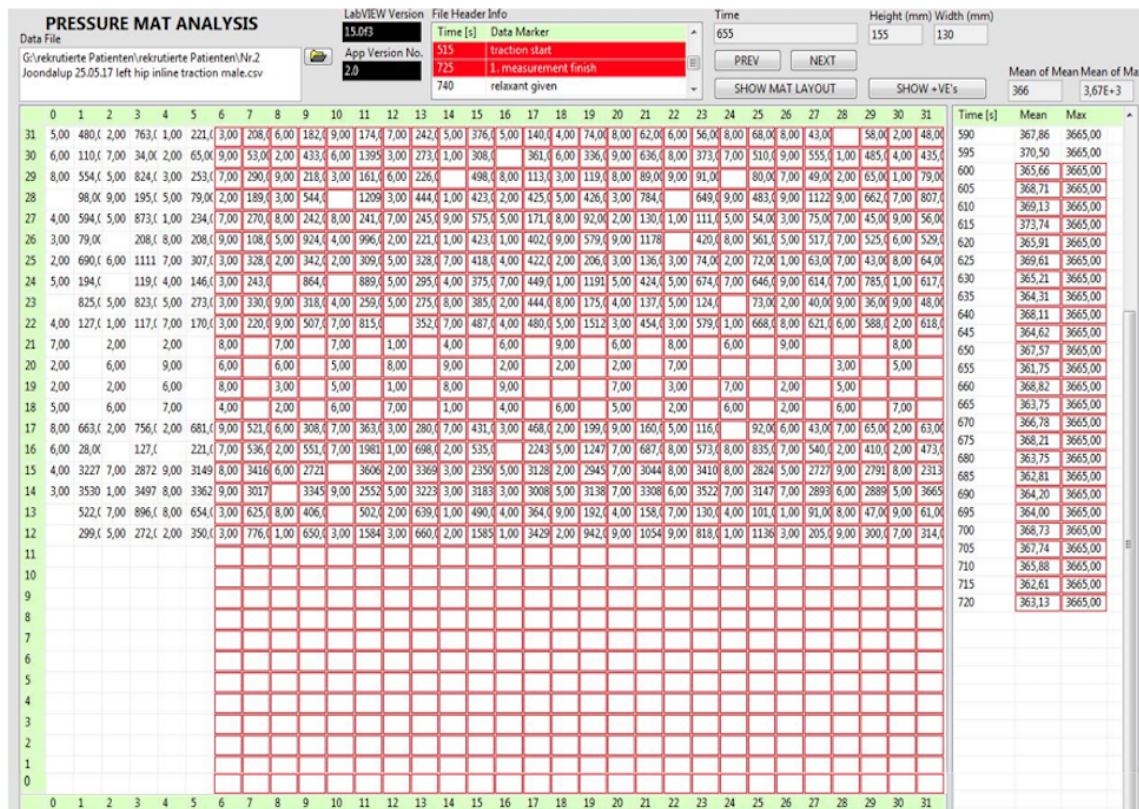


Abbildung 9- Benutzeroberfläche des Auswertungsprogramms Pressure Mat Analysis 2.0 mit Darstellung eines Samples; Markierung der relevanten Messfläche der Druckmessung vom Startzeitpunkt bis zum Endzeitpunkt in Messzeitraum 1 eines Patienten; Seite des zu arthroskopierenden Hüftgelenks in diesem Fall links (Abbildung Artur Kotov)

2.9 Protokoll 2- Messung der Gelenkspaltweite im Hüftgelenk

2.9.1 Lagerung

20 Patienten wurden in Protokoll 2 einheitlich in Rückenlage auf dem Extensionstisch desselben Herstellers nach erfolgreicher Induktion der Anästhesie gelagert. Anders als in Protokoll 1 modifizierte der Arthroskopeur in Protokoll 2 unabhängig von der vorliegenden Studie den Standard der Lagerungstechnik.

Nach sicherer Befestigung beider Füße in den Traktionsschuhen wurde das Bein des zu arthroskopierenden Hüftgelenks in neutraler Stellung im Knie- und Sprunggelenk um 45° im Hüftgelenk abduziert. Das kontralaterale Bein wurde in neutraler Stellung im Hüft-, Knie-

und Sprunggelenk positioniert. Hierbei wurde der Gegenzugstab zwischen den Beinen des Patienten mit einem Abstand von circa 10 cm zur Dammregion mit dem Extensionstisch konnektiert. Ein C-Bogen in posterior-anteriorer Ausrichtung des Strahlengangs wurde dann auf Höhe des zu arthroskopierenden Hüftgelenks zur radiologischen Kontrolle der Gelenkspaltweite an den Extensionstisch herangeführt.

Anschließend erfolgte nach chirurgischer Desinfektion des Operationsgebietes eine Punktion der Gelenkkapsel des zu arthroskopierenden Hüftgelenks mit Insufflation von ca. 50 Milliliter (ml) Luft mit dem Instrumentarium zur Anlage von Zugangsportalen (Stryker, Kalamazoo, USA). Gleichzeitig wurde zur Insufflation das Bein des zu arthroskopierenden Hüftgelenks wieder bis zur neutralen Stellung im Hüftgelenk adduziert. Simultan erfolgte mithilfe des Extensionsholmes ein longitudinaler Zug (Traktion) des Beines nach kaudal. Bei einer für den Arthroskopeur ausreichenden radiologisch kontrollierten Gelenkspaltweite von mehr als 10 mm zwischen Caput femoris und Acetabulum wurde der aufgebaute Zug auf dem Extensionsholm zur Sicherung der Distraction der artikulierenden Gelenkflächen im Hüftgelenk arretiert.

2.9.2 Messung der Gelenkspaltweite

2.9.2.1 Messung 1

Die erste für den Arthroskopeur ausreichende Radiografie des zu arthroskopierenden Hüftgelenks in posterior-anteriorem Strahlengang erfolgte ohne Traktion und vor der Punktion der Gelenkkapsel mit Insufflation von Luft und vor der Bolusgabe von Rocuronium. Das Bein des zu arthroskopierenden Hüftgelenks war in neutraler Stellung im Knie- und Sprunggelenk und um 45 ° im Hüftgelenk abduziert. Ein für jede Gelenkspaltmessung einheitliches Lineal mit geringer Strahlendurchlässigkeit und mit bekannter Länge und Breite (Linealbreite_{real}) wurde auf Höhe des Trochanter major radiologisch in Entsprechung zur etablierten extrakorporalen Kalibrierung miterfasst (35). Danach wurde die Breite des Lineals (Linealbreite_{radiologisch}) auf dem Monitor des C-Bogens ausgemessen. Anschließend wurde die radiologische Gelenkspaltweite (Gelenkspaltweite_{radiologisch}) im Hüftgelenk auf dem Monitor mittels des verwendeten Lineals ausgemessen (Abbildungen 10 und 11). Hierbei wurde das Lineal senkrecht im Zentrum des Caput femoris auf dem Monitor platziert. Gemessen wurde dann der Abstand zwischen der Kontur des Caput femoris und der Kontur des Acetabulums. Für die weiteren Radiografien in Messung 2 und 3 wurde die Position am C-Bogen nicht

verändert. Während der gesamten Messung wurde die Position des Extensionstisches nicht verändert. Mit diesen Messwerten wurde die reale Gelenkspaltweite (Gelenkspaltweite_{real}) mit der folgenden Formel berechnet (35):

$$\frac{\text{Linealbreite}_{\text{real}}}{\text{Linealbreite}_{\text{radiologisch}}} = \frac{\text{Gelenkspaltweite}_{\text{real}}}{\text{Gelenkspaltweite}_{\text{radiologisch}}}$$

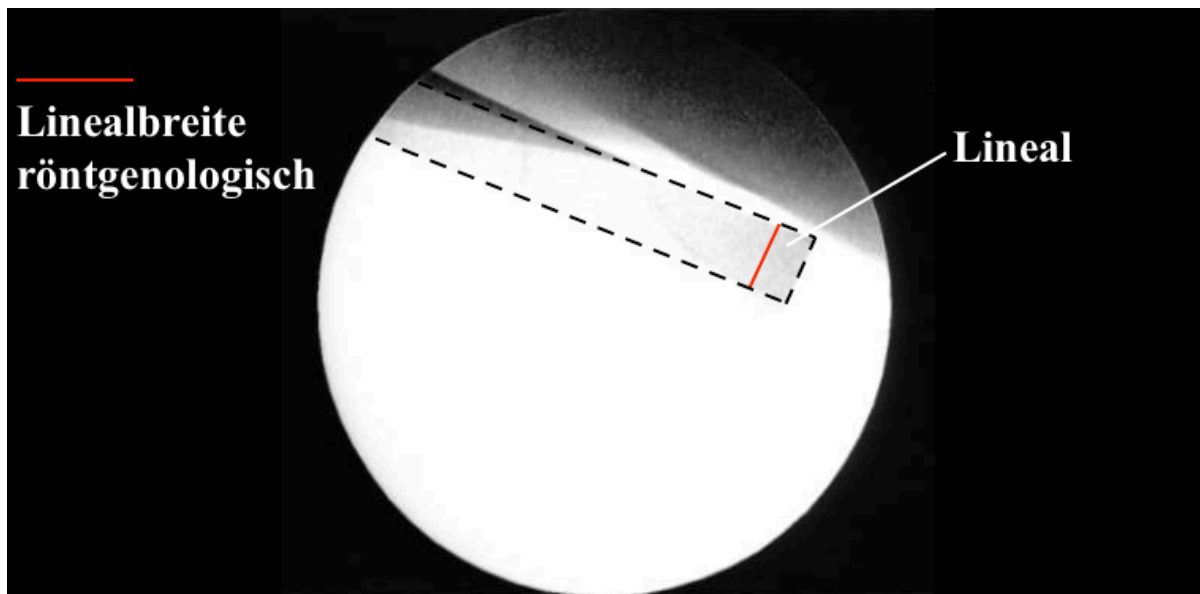


Abbildung 10- Radiogramm des Lineals in posterior-anteriorem Strahlengang mit Markierung der Linealbreite; Lineal zur Verdeutlichung gestrichelt umrandet (Radiogramm Tao Lim und Artur Kotov)

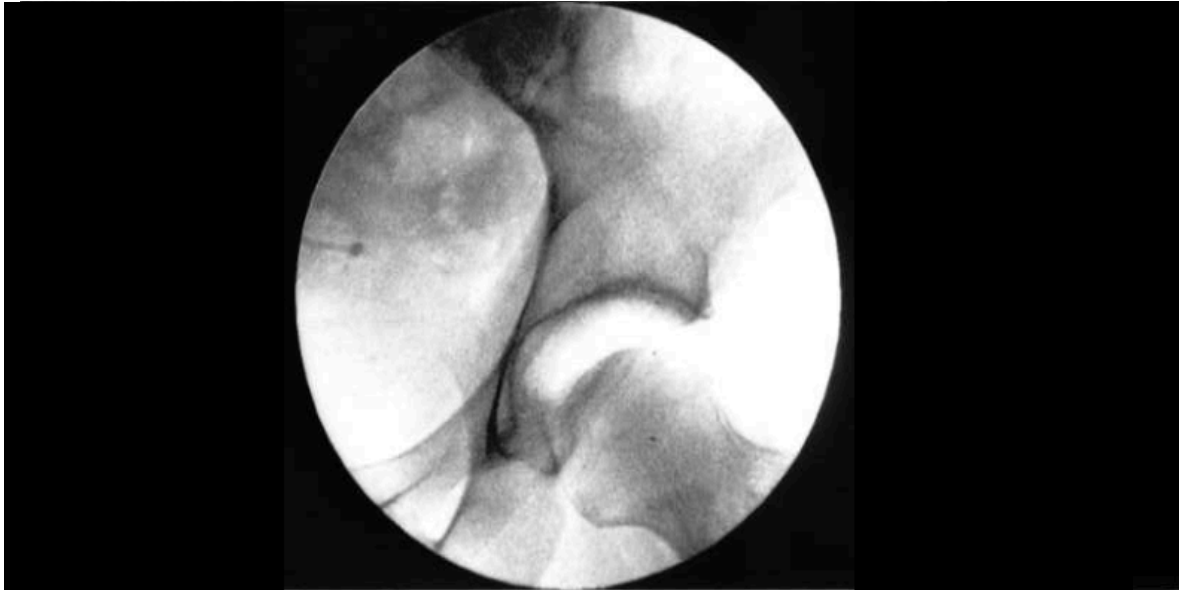


Abbildung 11- Radiogramm eines linken Hüftgelenks in posterior-anteriorem Strahlengang; Radiologischer Gelenkspalt mit Distraktion von Caput femoris und Acetabulum unter Traktion und nach Punktion der Gelenkkapsel und vor tiefer Muskelrelaxation (Radiogramm Tao Lim und Artur Kotov)

2.9.2.2 Messung 2

Anschließend erfolgte das in Protokoll 2 beschriebene Lagerungsmanöver mit Punktion der Gelenkkapsel mit Insufflation von Luft bei gleichzeitiger Adduktion im Hüftgelenk bis zur neutralen Stellung im Hüftgelenk und bei gleichzeitiger Traktion. Bei einer für den Arthroskopeur ausreichenden Gelenkspaltweite von mehr als 10 mm zwischen Caput femoris und Acetabulum wurde der aufgebaute Zug auf dem Extensionsholm zur Sicherung der Distraktion der artikulierenden Gelenkflächen im Hüftgelenk arretiert. Die radiologische Gelenkspaltweite unter Traktion (Gelenkspaltweite unter Traktion_{radiologisch}) wurde mit dem Lineal auf dem Monitor ausgemessen (Abbildung 12). Die reale Gelenkspaltweite unter Traktion (Gelenkspaltweite unter Traktion_{real}) wurde mit der folgenden Formel berechnet (35):

$$\frac{\text{Linealbreite}_{\text{real}}}{\text{Linealbreite}_{\text{radiologisch}}} = \frac{\text{Gelenkspaltweite unter Traktion}_{\text{real}}}{\text{Gelenkspaltweite unter Traktion}_{\text{radiologisch}}}$$

2.9.2.3 Messung 3

Vor der Messung wurde Rocuronium als Bolus in der Dosierung von 0,6 mg/ kg KG zur tiefen Muskelrelaxation i.v. appliziert. Eine relaxometrisch objektivierbare tiefe Muskelrelaxation (TOF% nicht mehr messbar und TOF-Count von 0) war die Ausgangssituation für Messung 3. Hierbei wurde erneut die radiologische Gelenkspaltweite unter Traktion und bei tiefer Muskelrelaxation (Gelenkspaltweite unter Traktion und relaxiert radiologisch) auf dem Monitor mit dem Lineal gemessen. Die reale Gelenkspaltweite unter Traktion und bei tiefer Muskelrelaxation (Gelenkspaltweite unter Traktion und relaxiert_{real}) wurde mit der folgenden Formel berechnet (35):

$$\frac{\text{Linealbreite}_{\text{real}}}{\text{Linealbreite}_{\text{radiologisch}}} = \frac{\text{Gelenkspaltweite unter Traktion und relaxiert}_{\text{real}}}{\text{Gelenkspaltweite unter Traktion und relaxiert}_{\text{radiologisch}}}$$

2.10 Statistik

In der vorliegenden Studie wurde die Annahme normalverteilter Daten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Zur statistischen Analyse der Daten hinsichtlich des Einflusses der Traktion und der tiefen Muskelrelaxation wurde der Wilcoxon-Rangsummen-Test verwendet. Um den Einfluss der tiefen Muskelrelaxation für spezifische Patientengruppen zu erfassen, wurden die Daten mit jeweils mittels einer Varianzanalyse (ANOVA) analysiert. Für Vergleiche wurden dabei die entsprechenden Mediane betrachtet. Alle statistischen Verfahren wurden mit IBM SPSS Statistics (International Business Machines Corporation, New York, USA) durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Demografische Daten

Von den 40 Patienten waren 22 weiblich und 18 männlich. Das durchschnittliche Alter lag bei 42,18 Jahren. Das durchschnittliche Körpergewicht der Patienten lag bei 78,66 kg. Die durchschnittliche Körpergröße betrug 1,71 m. Der durchschnittliche BMI betrug 26,9 kg/ m² (Anhang 8.1.1 - 8.1.2).

3.2 Druckmessung

Der Median des Maximalwertes aus der Druckmessung des Gegenzugstabes gegen die Dammregion in Protokoll 1 betrug 2540 g/ cm² unter Traktion des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks und ohne tiefe Muskelrelaxation. Der Median des Durchschnittswertes aus der Druckmessung des Gegenzugstabes gegen die Dammregion in Protokoll 1 war im Vergleich zu dem Median des Maximalwertes deutlich niedriger mit einem Wert von 277 g/ cm².

Mit zusätzlicher tiefer Muskelrelaxation zeigte sich eine geringe, jedoch statistisch signifikante Reduktion des Druckes auf die Dammregion und somit indirekt auf den N. pudendus und seine Nervenäste mit einem Median des Durchschnittswertes von 277 g / cm² auf 271g/ cm² (P= 0,007). Der BMI und das biologische Geschlecht hatten keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Druckmessung (Anhang 8.2.1).

3.3 Messung der Gelenkspaltweite

Der Median der realen Ausgangsgelenkspaltweite in Protokoll 2, das heißt vor Traktion und vor Punktion der Gelenkkapsel des zu arthroskopierenden Hüftgelenks zur Insufflation von Luft und ohne tiefe Muskelrelaxation, betrug 4,7 mm. Unter Traktion des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks mit Punktion der Gelenkkapsel zur Insufflation von Luft und ohne tiefe Muskelrelaxation betrug der Median der realen Gelenkspaltweite 14,2 mm. Dies war eine statistisch signifikante Zunahme der realen Gelenkspaltweite (P= 0,001). Mit zusätzlicher tiefer Muskelrelaxation zeigte sich eine statistisch signifikante weitere Zunahme der realen Gelenkspaltweite um 3,2 % (P= 0,001) (Anhang 8.3.1).

Bei Patienten mit einer realen Ausgangsgelenkspaltweite von kleiner als dem Median von 4,7 mm war die Zunahme der realen Gelenkspaltweite unter Traktion des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks mit Punktion der Gelenkkapsel zur Insufflation von Luft statistisch signifikant größer als bei Patienten mit einer realen Ausgangsgelenkspaltweite von größer als dem Median von 4,7 mm (72 % versus 60%) (P= 0,017). Mit zusätzlicher tiefer Muskelrelaxation zeigte sich bei diesem Vergleich kein statistisch signifikanter Unterschied (Anhang 8.3.2 – 8.3.3).

Im Vergleich zwischen Frauen und Männern war die Zunahme der realen Gelenkspaltweite bei Frauen unter Traktion des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks mit Punktion der Gelenkkapsel zur Insufflation von Luft statistisch signifikant größer als bei Männern (70,3 % versus 59,8 %) (P= 0,041). Mit zusätzlicher tiefer Muskelrelaxation war die weitere Zunahme der realen Gelenkspaltweite bei Männern jedoch statistisch signifikant größer als bei Frauen (6,8 % versus 2,8 %) (P=0,036) (Anhang 8.3.4 - 8.3.5).

Patienten mit einer Zunahme realen Gelenkspaltweite von weniger als 60% von der realen Ausgangsgelenkspaltweite unter Traktion des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks mit Punktion der Gelenkkapsel zur Insufflation von Luft zeigten im Vergleich eine statistisch signifikante größere Zunahme der realen Gelenkspaltweite mit zusätzlicher tiefer Muskelrelaxation (11,5% versus 3,3%) als Patienten mit einer Zunahme realen Gelenkspaltweite von mehr als 60% (P=0,008) (Anhang 8.3.6 - 8.3.7) .

4 Diskussion

Mit der vorliegenden prospektiven klinischen Studie wurde erstmalig der Einfluss tiefer Muskelrelaxation auf den N. pudendus mit einer Druckmessung an der Dammregion und auf die Gelenkspaltweite im Hüftgelenk während Hüftgelenksarthroskopien mit einem etablierten Lagerungsstandard in Rückenlage untersucht (36, 37). Bis heute existiert keine medizinische Leitlinie hinsichtlich des perioperativen anästhesiologischen Managements für Hüftgelenksarthroskopien. Auch wurde ein optimales anästhesiologisches Management für Hüftgelenksarthroskopien mit Extensionstischen bislang unzureichend untersucht (38). Dies wird zum einen mit der noch jungen Operationstechnik und zum anderen mit der begrenzten flächendeckenden Verfügbarkeit der Hüftgelenksarthroskopie in Krankenhäusern erklärt (39). Empfehlungen zum anästhesiologischen Management und zur Lagerung finden sich in einzelnen Studien (20).

Empfohlen wird vor allem die perioperative Muskelrelaxation (9, 13, 24, 37, 40, 41). Mallet et al. beschrieben in ihrer Studie eine negative Korrelation zwischen der intraoperativen Dosis des applizierten Muskelrelaxans zur tiefen Muskelrelaxation und der Inzidenz postoperativer erektiler Dysfunktion unter Anwendung von Traktion mittels eines Extensionstisches zur intramedullären Nagelosteosynthese bei Femurschaftfrakturen bei jungen Männern. Die Autoren vermuteten eine klinisch relevante Reduktion des Druckes auf die Dammregion und somit auf den N. pudendus und seine Nervenäste unter adäquater Muskelrelaxation (13). In der vorliegenden Studie wurde in Protokoll 1 eine statisch signifikante, jedoch nur geringe und somit möglicherweise klinisch nicht relevante Reduktion des Druckes auf die Dammregion und somit auf den N. pudendus und seine Nervenäste unter perioperativer tiefer Muskelrelaxation im Rahmen von Hüftgelenksarthroskopien nachgewiesen. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte in der vorliegenden Studie der sehr große Diameter von 23 cm und die Schaumstoffpolsterung des verwendeten Gegenzugstabs gewesen sein. Im Vergleich zu anderen Studien hatte der in der vorliegenden Studie verwendete Gegenzugstab den größtmöglichen Diameter (23, 31, 36, 40, 42). Lindenbaum et al. zeigten diesbezüglich eine statistisch signifikante Reduktion des Druckes auf die Dammregion in Abhängigkeit des Diameters und der Polsterung des Gegenzugstabes. Die Autoren erklärten die Reduktion des Druckes auf die Dammregion mit einer größeren Fläche zur Verteilung der einwirkenden Kraft durch einen größeren Diameter und empfahlen die Verwendung eines Gegenzugstabs mit dem größten verfügbaren Diameter (43).

Brumbeck et al. verwendeten einen Gegenzugstab mit einem Durchmesser von nur 6,8 cm inklusive gummierter Polsterung. Die Autoren beschrieben statistisch signifikant höhere Druckmesswerte bei Patienten mit einer postoperativen Läsion des N. pudendus und seiner Nervenäste im Vergleich zu Patienten ohne eine postoperative Läsion unter Anwendung von Traktion mittels eines Extensionstisches zur intramedullären Nagelosteosynthese bei Femurschaftfrakturen. Einige dieser Patienten wiesen trotz hoher Druckbelastung der Dammregion keine postoperative Läsion des N. pudendus und seiner Nervenäste auf. Die Autoren vermuteten als Ursache zum einen eine unterschiedliche Fettverteilung in der Dammregion im Sinne einer natürlichen zusätzlichen Polsterung und zum anderen eine anatomische Variante des N. pudendus und seiner Nervenäste (40). In der vorliegenden Studie zeigte sich kein Einfluss der Fettverteilung durch den BMI oder des biologischen Geschlechts auf die Druckmessung (36). In den Untersuchungen von Mallet et al. und Brumbeck et al. wurden wie in der vorliegenden Studie Extensionstische zur Traktion in Rückenlage verwendet. Während in den beiden genannten Studien das Ziel der Traktion die Reposition von Frakturfragmenten war, war in der vorliegenden Studie im Unterschied dazu das Ziel der Traktion die Distraction der artikulierenden Gelenkflächen im Hüftgelenk (13, 40). Die in der vorliegenden Studie gemessenen Druckwerte waren stets niedriger als die von Brumbeck et al. für eine Läsion des N. pudendus und seiner Nervenäste berichteten Druckmesswerte (36, 40). Eine mögliche Erklärung könnten neben dem verwendeten Gegenzugstab auch höhere benötigte Traktionskräfte zur Reposition von Frakturfragmenten und der somit resultierende höhere Druck auf die Dammregion sein.

Eine weitere mögliche Erklärung für die in der vorliegenden Studie gemessene geringe Reduktion des Druckes auf die Dammregion durch tiefe Muskelrelaxation könnte auch die Stellung des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks sein. In der vorliegenden Studie wurde in den Protokollen 1 und 2 das Bein des zu arthroskopierenden Hüftgelenks aus einer Ausgangsstellung von 45° Abduktion in eine neutrale Stellung untersucht. Kocaoğlu et al. zeigten in einer experimentellen Studie mit Körperspendern in Rückenlage, dass eine Abduktion von 0° (neutrale Stellung) bis 45° bei unterschiedlichen Traktionskräften nicht zu einer statistisch signifikanten Druckerhöhung auf die Dammregion und somit auf den N. pudendus und seiner Nervenäste führte (20). Brumbeck et al. hingegen zeigten in ihrer Studie eine statistisch signifikante Druckerhöhung auf die Dammregion bei Adduktion des zu operierenden Beines (40). Toolan et al. zeigten in ihrer Studie ebenfalls den Einfluss der Stellung des Beines unter Traktion auf einem Extensionstisch in Rückenlage mit gesunden Probanden auf die einwirkende Kraft auf die Dammregion durch den Gegenzugstab. Bereits

die Adduktion von 10° des Beines mit höherer Traktionskraft und/ oder 45° Abduktion des kontralateralen Beines mit niedrigerer Traktionskraft zur Stabilisierung zeigten eine statistisch signifikante Erhöhung der gemessenen Kraft auf die Dammregion. Ferner wiesen die Autoren wiederum eine statistisch signifikante Reduktion der einwirkenden Kraft auf die Dammregion bei Abduktion des Beines mit höherer Traktionskraft und bei neutraler Stellung des kontralateralen Beines mit niedrigerer Traktionskraft nach (23).

Der große Unterschied zwischen dem Median des Maximal- und Durchschnittwertes aus der Druckmessung (2540 g/ cm² versus 277 g/ cm²) könnte mit der Anatomie der Patienten erklärt werden. In allen Druckmessungen war der maximale Druckmesswert in PMA im Bereich des Kontaktfläche des Gegenzugstabes mit dem Tuber ischiadicum lokalisiert. Eine mögliche Erklärung könnte der knöcherne Vorsprung des Tuber ischiadicum in der Dammregion sein. Aufgrund der relativ dünnen Weichteilschicht über dem Tuber ischiadicum und der Rigidität des Knochens könnte an dieser Stelle ein punktuell höherer Druck durch den Gegenzugstab während der Traktion entstehen. Kocaoğlu et al. maßen in ihrer Studie ebenfalls statistisch signifikant höhere Druckwerte im Bereich knöcherner Vorsprünge wie dem Tuber ischiadicum und der Symphysis pubis im Vergleich zum Bereich ohne knöcherner Vorsprünge in der Dammregion. Die Autoren folgerten, dass der N. pudendus und seine Nervenäste besonders auf Höhe knöcherner Vorsprünge am ehesten durch Kompression lädiert werden könnten (20).

In Protokoll 2 der vorliegenden Studie profitierten Männer statistisch signifikant stärker als Frauen von einer tiefen Muskelrelaxation unter Traktion mit Punktion der Gelenkkapsel zur Insufflation von Luft des zu arthroskopierenden Hüftgelenks mit einer Zunahme der realen Gelenkspaltweite von 6,8 % versus 2,8 % (P= 0,036) (36). Eine plausible Erklärung hierfür könnte der größere Anteil an Skelettmuskulatur an der Gesamtmasse bei Männern als bei Frauen bei der vollständigen Aufhebung des Muskeltonus im Rahmen der tiefen Muskelrelaxation sein (44). Folglich könnte bei gleicher Traktionskraft und bei vergleichsweise weniger Zugwiderstand der Skelettmuskulatur eine stärkere Distraction der artikulierenden Gelenkflächen im zu arthroskopierenden Hüftgelenk erreicht werden. Im Umkehrschluss könnte ohne tiefe Muskelrelaxation eine höhere Traktionskraft zur Distraction benötigt werden. Ellenrieder et al. zeigten in ihrer Studie zur Untersuchung des Einflusses von patientenspezifischen Faktoren auf die Traktionskraft auf Extensionstischen in Rückenlage in Hüftgelenksarthroskopien passend zu der vorliegenden Studie eine statistisch signifikante positive Korrelation zwischen höheren Traktionskräften und Männern. Des

Weiteren profitierten Patienten mit einer nur geringen realen Gelenkspaltweite, d.h. weniger als 60 % Zunahme im Verhältnis zu der realen Ausgangsgelenkspaltweite, unter alleiniger Traktion mit Punktion der Gelenkkapsel zur Insufflation von Luft des zu arthroskopierenden Hüftgelenks statistisch signifikant stärker von einer zusätzlichen tiefen Muskelrelaxation mit einer weiteren Zunahme der realen Gelenkspaltweite (11,5 % versus 3,3 %) als Patienten mit einer Zunahme der realen Gelenkspaltweite von mehr als 60 % ($P= 0,008$) (36). Passend zu der vorliegenden Studie zeigten Ellenrieder et al. eine statistisch signifikante positive Korrelation zwischen einer ebenfalls nur geringen Gelenkspaltweite unter alleiniger Traktion mit Punktion der Gelenkkapsel zur Insufflation von Luft des zu arthroskopierenden Hüftgelenks und höheren Traktionskräften (45). Eine mögliche Erklärung könnte auch hierzu ein unterschiedlicher Anteil an Skelettmuskulatur an der Gesamtmasse sein. Bei Patienten mit mehr Anteil könnte die zusätzliche tiefe Muskelrelaxation stärker zugunsten der Distraction der artikulierenden Gelenkspaltweite sein als bei Patienten mit weniger Anteil.

Die vorliegende Studie hat Limitationen. Als prospektive klinische Studie mit einer kleinen Fallzahl von insgesamt 40 Patienten ist der Evidenzgrad niedrig und somit auch die Aussagekraft hinsichtlich der Fragestellung der vorliegenden Studie limitiert. Bei fehlenden Referenzstudien wurde keine Fallzahlplanung vorgenommen. Die Ergebnisse aus Protokoll 1 und 2 sind aufgrund der einzigen Indikation zur Hüftgelenksarthroskopie bei allen Patienten (eine diagnostizierte oder der klinische Verdacht auf eine Läsion des Labrum acetabulare) limitiert. Diese Indikation ist zwar eine der am häufigsten in der Literatur genannten, jedoch könnten unterschiedliche und kombinierte Indikationen wie beispielsweise Cam- und/ oder Pincer-Impingement-Syndrome und/ oder eine begleitende Koxarthrose Einfluss auf den Druck auf die Dammregion und auf die Gelenkspaltweite unter Traktion nehmen (18, 46). In der vorliegenden Studie wurden alle Patienten ausschließlich in Rückenlage nach dem Standard desselben Arthroskopeurs auf einem Extensionstisch mit einem Gegenzugstab mit - im Vergleich zu anderen Studien - dem größten Diameter gelagert. Zudem modifizierte der Arthroskopeur in Protokoll 2 die Lagerungstechnik. Der Einfluss der Punktion der Gelenkkapsel zur Insufflation von Luft des zu arthroskopierenden Hüftgelenks wird in Protokoll 1 nicht berücksichtigt. Die vorliegenden Ergebnisse aus Protokoll 1 und 2 könnten für andere ebenfalls etablierte Lagerungstechniken in der Hüftgelenksarthroskopie anders ausfallen. In der vorliegenden Studie gibt es kein Follow-up und somit keine postoperativen Verlaufskontrollen hinsichtlich einer Läsion des N. pudendus und seiner Nervenäste. Ferner erhielten in der vorliegenden Studie alle Patienten einheitlich eine TIVA mit dem

Muskelrelaxans Rocuronium, um den Einfluss tiefer Muskelrelaxation einzig anhand von Rocuronium zu untersuchen. Ein Vergleich mit anderen Anästhesieformen mit muskelrelaxierender Wirkung wie der Spinalanästhesie oder der balancierten Anästhesie wurde in der vorliegenden Studie nicht durchgeführt.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie kann gefolgert werden, dass eine tiefe Muskelrelaxation nicht grundsätzlich für jeden Patienten mit der Indikation zur Hüftgelenksarthroskopie - bezogen auf den etablierten und auch in der vorliegenden Studie verwendeten Lagerungsstandard - erforderlich und sinnvoll ist.

Unter Verwendung eines optimalen Gegenzugstabs mit dem größtmöglichen Durchmesser von 23 cm und adäquater Polsterung ist der Einfluss der tiefen Muskelrelaxation in Hüftgelenksarthroskopien zur Reduktion der Druckbelastung auf die Dammregion klinisch vernachlässigbar gering.

Die zusätzliche tiefe Muskelrelaxation kann jedoch bei männlichen und/ oder sportlich aktiven Patienten mit einem hohen Skelettmuskelanteil an der Gesamtmasse und bei Patienten mit einer nur geringen Gelenkspaltweite unter alleiniger Traktion zur Erleichterung der Distraction der artikulierenden Gelenkflächen im zu arthroskopierenden Hüftgelenk sinnvoll sein.

5 Zusammenfassung

Fragestellung:

Zur sicheren Durchführung von Hüftgelenksarthroskopien werden Patienten auf einem Extensionstisch mit einem kontinuierlichen longitudinalen Zug des Beines des zu arthroskopierenden Hüftgelenks gelagert. Zur Traktion ist ein Gegenzugstab als Widerlager zwischen Beinen von Patienten notwendig. Die lagerungsbedingte Druckläsion des Nervus pudendus und seiner Nervenäste ist eine der am häufigsten berichteten iatrogenen Komplikationen nach Hüftgelenksarthroskopien. Eine wesentliche, jedoch bislang nicht untersuchte Empfehlung aus vorangegangenen Studien ist eine perioperative tiefe Muskelrelaxation zur Reduktion der Druckbelastung des Nervus pudendus. Die Fragestellung der vorliegenden prospektiven klinischen Studie war somit, ob die tiefe Muskelrelaxation einen messbaren und somit klinisch relevanten Einfluss auf den Druck des Gegenzugstabes auf die Dammregion und somit indirekt auf den Nervus pudendus und auf die Gelenkspaltweite in Hüftgelenksarthroskopien hat.

Methoden:

Es wurden 40 Patienten in der vorliegenden Studie zur Hüftgelenksarthroskopie in totaler intravenöser Allgemeinanästhesie mit tiefer Muskelrelaxation in Rückenlage auf einem Extensionstisch eingeschlossen. Die perioperative Druckmessung wurde bei 20 Patienten zu definierten Messzeitpunkten unter Traktion und anschließend mit tiefer Muskelrelaxation mit einer Drucksensormatte zwischen Gegenzugstab und Dammregion durchgeführt (Protokoll 1). Die perioperative radiologische Messung der realen Gelenkspaltweite wurde bei 2 Patienten aus Protokoll 1 und bei 20 weiteren Patienten mit modifizierter Lagerungstechnik zu definierten Messzeitpunkten vor Traktion, unter Traktion und anschließend zusätzlich mit tiefer Muskelrelaxation durchgeführt (Protokoll 2).

Ergebnisse:

Unter Traktion wurden hohe Druckspitzenmesswerte in der Dammregion durch den Gegenzugstab (Median des Maximalwertes 2540 g/ cm²) im Vergleich zu durchschnittlichen Druckmesswerten (Median des Durchschnittswertes 277 g/ cm²) gemessen. Mit anschließender tiefer Muskelrelaxation zeigte sich eine statistisch signifikante Reduktion des Druckes von 277 g / cm² auf 271g/ cm² (P= 0,007). Unter Traktion wurde ein statistisch signifikanter Anstieg des Medians der realen Ausgangsgelenkspaltweite von 4,7 mm auf 14,2

mm ($P=0,001$) und mit anschließend tiefer Muskelrelaxation ebenfalls ein statistisch signifikanter Anstieg der realen Gelenkspaltweite um 3,2 % ($P=0,001$) gemessen. Männer profitierten im Vergleich zu Frauen statistisch signifikant stärker von einer zusätzlichen tiefen Muskelrelaxation durch Zunahme der realen Gelenkspaltweite um 6,8 % versus 2,8 % ($P=0,036$). Patienten mit einer geringen Zunahme der realen Gelenkspaltweite unter alleiniger Traktion profitierten statistisch signifikant stärker von einer zusätzlichen tiefen Muskelrelaxation durch Zunahme der realen Gelenkspaltweite um 11,5 % versus 3,3 % als Patienten mit adäquater Zunahme unter alleiniger Traktion ($P=0,008$).

Schlussfolgerungen:

Die Indikation zur tiefen Muskelrelaxation in Hüftgelenksarthroskopien ist nicht grundsätzlich für jeden Patienten in Bezug auf den in der vorliegenden Studie verwendeten und etablierten Lagerungsstandard erforderlich und sinnvoll.

Unter Verwendung eines optimalen Gegenzugstabs mit dem größtmöglichen Durchmesser und adäquater Polsterung ist der Einfluss der tiefen Muskelrelaxation in Hüftgelenksarthroskopien zur Reduktion der Druckbelastung auf die Dammregion und somit auf den Nervus pudendus klinisch vernachlässigbar gering.

Die zusätzliche tiefe Muskelrelaxation kann jedoch bei männlichen und/ oder sportlich aktiven Patienten mit einem hohen Skelettmuskelanteil an der Gesamtmasse und bei Patienten mit einer nur geringen Gelenkspaltweite unter alleiniger Traktion zur Erleichterung der Distraction der artikulierenden Gelenkflächen zur Hüftgelenksarthroskopie sinnvoll sein.

6 Literaturverzeichnis

1. Buyukdogan K, Utsunomiya H, Bolia I, Fagotti L, Lebus GF, Briggs KK, et al. Right Versus Left Hip Arthroscopy for Surgeons on the Learning Curve. *Arthrosc Tech.* 2017;6(5):e1837-e44.
2. Sood M, Ghai A. Hip arthroscopy: Minimally invasive surgery for hip pathologies. *Med J Armed Forces India.* 2017;73(2):184-7.
3. Funke EL, Munzinger U. Complications in hip arthroscopy. *Arthroscopy.* 1996;12(2):156-9.
4. Griffiths EJ, Khanduja V. Hip arthroscopy: evolution, current practice and future developments. *Int Orthop.* 2012;36(6):1115-21.
5. Gollwitzer H, Banke IJ, Schauwecker J. [Hip arthroscopy]. *Orthopade.* 2016;45(2):183-93; quiz 94-5.
6. Mannava S, Howse EA, Stone AV, Stubbs AJ. Basic Hip Arthroscopy: Supine Patient Positioning and Dynamic Fluoroscopic Evaluation. *Arthrosc Tech.* 2015;4(4):e391-6.
7. Salas AP, O'Donnell JM. Prospective study of nerve injuries associated with hip arthroscopy in the lateral position using the modified portals. *J Hip Preserv Surg.* 2016;3(4):278-87.
8. Habib A, Haldane CE, Ekhtiari S, de Sa D, Simunovic N, Belzile EL, et al. Pudendal nerve injury is a relatively common but transient complication of hip arthroscopy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(3):969-75.
9. Flierl MA, Stahel PF, Hak DJ, Morgan SJ, Smith WR. Traction table-related complications in orthopaedic surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2010;18(11):668-75.
10. Ruhmann O, Borner C, Bohnsack M, Wirth CJ. [Arthroscopy of the hip]. *Orthopade.* 2003;32(8):754-68.
11. Dienst M. [Hip arthroscopy. Technique for positioning and distraction]. *Orthopade.* 2006;35(1):33-40.
12. Dippmann C, Thorborg K, Kraemer O, Winge S, Holmich P. Symptoms of nerve dysfunction after hip arthroscopy: an under-reported complication? *Arthroscopy.* 2014;30(2):202-7.
13. Mallet R, Tricoire JL, Rischmann P, Sarramon JP, Puget J, Malavaud B. High prevalence of erectile dysfunction in young male patients after intramedullary femoral nailing. *Urology.* 2005;65(3):559-63.

14. Rajbabu K, Brown C, Poulsen J. Erectile dysfunction after perineal compression in young men undergoing internal fixation of femur fractures. *Int J Impot Res.* 2007;19(3):336-8.
15. France MP, Aurori BF. Pudendal nerve palsy following fracture table traction. *Clin Orthop Relat Res.* 1992(276):272-6.
16. Pailhe R, Chiron P, Reina N, Cavaignac E, Lafontan V, Laffosse JM. Pudendal nerve neuralgia after hip arthroscopy: retrospective study and literature review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99(7):785-90.
17. Coelho RF, Gomes CM, Sakaki MH, Montag E, Guglielmetti GB, de Barros Filho TE, et al. Genitoperineal injuries associated with the use of an orthopedic table with a perineal posttraction. *J Trauma.* 2008;65(4):820-3.
18. Nakano N, Lisenda L, Jones TL, Loveday DT, Khanduja V. Complications following arthroscopic surgery of the hip: a systematic review of 36 761 cases. *Bone Joint J.* 2017;99-B(12):1577-83.
19. Frandsen L, Lund B, Gronbech Nielsen T, Lind M. Traction-related problems after hip arthroscopy. *J Hip Preserv Surg.* 2017;4(1):54-9.
20. Kocaoglu H, Basarir K, Akmese R, Kaya Y, Sindel M, Oguz N, et al. The Effect of Traction Force and Hip Abduction Angle on Pudendal Nerve Compression in Hip Arthroscopy: A Cadaveric Model. *Arthroscopy.* 2015;31(10):1974-80 e6.
21. Harris JD, McCormick FM, Abrams GD, Gupta AK, Ellis TJ, Bach BR, Jr., et al. Complications and reoperations during and after hip arthroscopy: a systematic review of 92 studies and more than 6,000 patients. *Arthroscopy.* 2013;29(3):589-95.
22. Amarenco G, Ismael SS, Bayle B, Denys P, Kerdraon J. Electrophysiological analysis of pudendal neuropathy following traction. *Muscle Nerve.* 2001;24(1):116-9.
23. Toolan BC, Koval KJ, Kummer FJ, Goldsmith ME, Zuckerman JD. Effects of supine positioning and fracture post placement on the perineal countertraction force in awake volunteers. *J Orthop Trauma.* 1995;9(2):164-70.
24. Polyzois I, Tsitskaris K, Oussedik S. Pudendal nerve palsy in trauma and elective orthopaedic surgery. *Injury.* 2013;44(12):1721-4.
25. Chan PT, Schondorf R, Brock GB. Erectile dysfunction induced by orthopedic trauma managed with a fracture table: a case report and review of the literature. *J Trauma.* 1999;47(1):183-5.
26. Smart LR, Oetgen M, Noonan B, Medvecky M. Beginning hip arthroscopy: indications, positioning, portals, basic techniques, and complications. *Arthroscopy.* 2007;23(12):1348-53.

27. Papavasiliou AV, Bardakos NV. Complications of arthroscopic surgery of the hip. *Bone Joint Res.* 2012;1(7):131-44.
28. Schraffordt SE, Tjandra JJ, Eizenberg N, Dwyer PL. Anatomy of the pudendal nerve and its terminal branches: a cadaver study. *ANZ J Surg.* 2004;74(1-2):23-6.
29. Mahakkanukrauh P, Surin P, Vaidhayakarn P. Anatomical study of the pudendal nerve adjacent to the sacrospinous ligament. *Clin Anat.* 2005;18(3):200-5.
30. Shafik A, el-Sherif M, Youssef A, Olfat ES. Surgical anatomy of the pudendal nerve and its clinical implications. *Clin Anat.* 1995;8(2):110-5.
31. Kao JT, Burton D, Comstock C, McClellan RT, Carragee E. Pudendal nerve palsy after femoral intramedullary nailing. *J Orthop Trauma.* 1993;7(1):58-63.
32. Hilz MJ, Marthol H. [Erectile dysfunction--value of neurophysiologic diagnostic procedures]. *Urologe A.* 2003;42(10):1345-50.
33. Dean RC, Lue TF. Physiology of penile erection and pathophysiology of erectile dysfunction. *Urol Clin North Am.* 2005;32(4):379-95, v.
34. Irlbeck T, Zwissler B, Bauer A. [ASA classification : Transition in the course of time and depiction in the literature]. *Anaesthesist.* 2017;66(1):5-10.
35. Lechler P, Frink M, Gulati A, Murray D, Renkawitz T, Bucking B, et al. The influence of hip rotation on femoral offset in plain radiographs. *Acta Orthop.* 2014;85(4):389-95.
36. Ledowski T, Lim TS, Kotov A, Hontomin S, Winfield F, Heng YY, et al. Deep neuromuscular paralysis during hip arthroscopic surgery: influence on perineal tissue pressures and hip joint width. *Journal of Hip Preservation Surgery.* 2020.
37. Dienst M, Kohn D. [Hip arthroscopy. Minimal invasive diagnosis and therapy of the diseased or injured hip joint]. *Unfallchirurg.* 2001;104(1):2-18.
38. Yu HC, Al-Shehri M, Johnston KD, Endersby R, Baghirzada L. Anesthesia for hip arthroscopy: a narrative review. *Can J Anaesth.* 2016;63(11):1277-90.
39. Goto T, Hamada D, Mineta K, Tonogai I, Egawa H, Matsuura T, et al. The state of the art in arthroscopic hip surgery. *J Med Invest.* 2014;61(3-4):226-32.
40. Brumback RJ, Ellison TS, Molligan H, Molligan DJ, Mahaffey S, Schmidhauser C. Pudendal nerve palsy complicating intramedullary nailing of the femur. *J Bone Joint Surg Am.* 1992;74(10):1450-5.
41. Soulie M, Vazzoler N, Seguin P, Chiron P, Plante P. [Urological consequences of pudendal nerve trauma during orthopedic surgery: review and practical advice]. *Prog Urol.* 2002;12(3):504-9.

42. Topliss CJ, Webb JM. Interface pressure produced by the traction post on a standard orthopaedic table. *Injury*. 2001;32(9):689-91.
43. Lindenbaum SD, Fleming LL, Smith DW. Pudendal-nerve palsies associated with closed intramedullary femoral fixation. A report of two cases and a study of the mechanism of injury. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64(6):934-8.
44. Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol* (1985). 2000;89(1):81-8.
45. Ellenrieder M, Tischer T, Bader R, Kreuz PC, Mittelmeier W. Patient-specific factors influencing the traction forces in hip arthroscopy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2017;137(1):81-7.
46. von Glinski A, Yilmaz E, Goodmanson R, Pierre C, Frieler S, Shaffer A, et al. The impact of the 30 most cited articles on hip arthroscopy: what is the subject matter? *J Hip Preserv Surg*. 2020;7(1):14-21.

8 Anhang

8.1 Deskriptive Statistik von Protokoll 1 und 2

8.1.1 Tabelle 1- Patientenverteilung nach biologischem Geschlecht

| | | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|-------|--------|-----------|---------|---------------|--------------------|
| Valid | Female | 22 | 55 | 55 | 55 |
| | Male | 18 | 45 | 45 | 100 |
| | Total | 40 | 100 | 100 | |

8.1.2 Tabelle 2- Körpergewicht, -größe und Alter der Patienten

| | N | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation |
|---------|----|---------|---------|----------|----------------|
| Weight | 40 | 59 | 114,9 | 78,6575 | 11,80137 |
| Height | 39 | 152 | 193 | 170,5897 | 8,31523 |
| Age | 40 | 25 | 59 | 42,175 | 9,35041 |
| Valid N | 39 | | | | |

Height in cm; Weight in kg; Age in years

8.2 Ergebnisse von Protokoll 1- Druckmessung der Dammregion

8.2.1 Tabelle 3- Durchschnitts- und Maximaldruckmesswerte unter Traktion ohne und mit Muskelrelaxation

| | | Maximum Pressure | Relaxed Maximum Pressure | Mean Pressure | Relaxed Mean Pressure | Relaxed Maximum Difference | Relaxed Mean Difference |
|----------------|---------|------------------|--------------------------|---------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|
| N | Valid | 21 | 20 | 21 | 20 | 20 | 20 |
| | Missing | 19 | 20 | 19 | 20 | 20 | 20 |
| Mean | | 2478,9524 | 2644,15 | 310,9048 | 321,45 | 46,2 | -0,05 |
| Median | | 2540 | 2595 | 277 | 271,5 | 0 | -5 |
| Std. Deviation | | 1024,94973 | 973,60277 | 198,36756 | 204,14403 | 204,91939 | 36,17716 |
| Minimum | | 99 | 623 | 99 | 115 | -106 | -30 |
| Maximum | | 4170 | 4560 | 1000 | 998 | 890 | 149 |
| Percentiles | 25 | 1915 | 1917,5 | 158 | 159 | -25 | -12,25 |
| | 50 | 2540 | 2595 | 277 | 271,5 | 0 | -5 |
| | 75 | 3085 | 3212,5 | 393 | 429,5 | 50 | -1,25 |

Pressure in g/cm²

8.3 Ergebnisse von Protokoll 2- Messung der Gelenkspaltweite im Hüftgelenk

8.3.1 Tabelle 4- Ausgangsgelenkspaltweite vor Traktion, Gelenkspaltweite unter Traktion ohne und mit Muskelrelaxation

| | | Joint Width Baseline | Joint Width Extended | Joint Width Relaxed | Change Relaxed Percent | Change Width Relaxed | Change Width Traction | Change Traction Percent |
|----------------|---------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| N | Valid | 22 | 22 | 21 | 21 | 21 | 22 | 22 |
| | Missing | 18 | 18 | 19 | 19 | 19 | 18 | 18 |
| Mean | | 4,7257 | 14,5514 | 15,3939 | 4,1103 | 0,6472 | 9,8257 | 66,4552 |
| Median | | 4,6921 | 14,2401 | 14,7778 | 3,125 | 0,4634 | 10,2297 | 69,6970 |
| Std. Deviation | | 1,25081 | 2,84658 | 3,04732 | 4,26422 | 0,69758 | 2,89973 | 11,72975 |
| Minimum | | 3,17 | 10 | 11,21 | 0 | 0 | 3 | 30 |
| Maximum | | 8 | 24 | 26,6 | 16,67 | 2,6 | 17 | 78,38 |
| Percentiles | 25 | 3,8731 | 13,5083 | 13,9271 | 0 | 0 | 8,7281 | 64,7619 |
| | 50 | 4,6921 | 14,2401 | 14,7778 | 3,125 | 0,4634 | 10,2297 | 69,697 |
| | 75 | 5,0563 | 15,907 | 16,3488 | 6,0662 | 0,9372 | 11,4913 | 75 |

Joint Width in mm

8.3.2 Tabelle 5- Vergleich zwischen Patienten mit niedriger und hoher Ausgangsgelenkspaltweite unter Traktion ohne und mit Muskelrelaxation

| | | N | Mean | Standard Deviation | Standard Error | 95 % Confidence Interval for Mean | | Mini- mum | Maxi- mum |
|-------------------------|-------------|----|---------|--------------------|----------------|-----------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Joint Width Extended | Below 4,7mm | 11 | 14,2184 | 1,61873 | 0,48806 | 13,1309 | 15,3058 | 10,23 | 16,29 |
| | Above 4,7mm | 9 | 15,4916 | 3,83205 | 1,27735 | 12,5460 | 18,4372 | 10 | 24 |
| | Total | 20 | 14,7913 | 2,82567 | 0,63184 | 13,4689 | 16,1138 | 10 | 24 |
| Joint Width Relaxed | Below 4,7mm | 11 | 14,7019 | 1,62546 | 0,49010 | 13,6099 | 15,7939 | 11,21 | 17,64 |
| | Above 4,7mm | 9 | 16,4107 | 4,21839 | 1,40613 | 13,1682 | 19,6532 | 12 | 26,6 |
| | Total | 20 | 15,4709 | 3,10546 | 0,6944 | 14,0175 | 16,9243 | 11,21 | 26,6 |
| Change Width Relaxed | Below 4,7mm | 11 | 0,4836 | 0,47000 | 0,14171 | 0,1678 | 0,7993 | 0 | 1,36 |
| | Above 4,7mm | 9 | 0,9191 | 0,87641 | 0,29214 | 0,2454 | 1,5928 | 0 | 2,6 |
| | Total | 20 | 0,6795 | 0,69935 | 0,15638 | 0,3522 | 1,0068 | 0 | 2,6 |
| Change Relaxed Percent | Below 4,7mm | 11 | 3,3131 | 3,24492 | 0,97838 | 1,1331 | 5,493 | 0 | 8,7 |
| | Above 4,7mm | 9 | 5,5413 | 5,19689 | 1,7323 | 1,5466 | 9,536 | 0 | 16,67 |
| | Total | 20 | 4,3158 | 4,26697 | 0,95412 | 2,3188 | 6,3128 | 0 | 16,67 |
| Change Traction Percent | Below 4,7mm | 11 | 72,6687 | 4,78429 | 1,44252 | 69,4545 | 75,8828 | 61,9 | 78,38 |
| | Above 4,7mm | 9 | 60,2665 | 14,78457 | 4,92819 | 48,9021 | 71,631 | 30 | 70,97 |
| | Total | 20 | 67,0877 | 12,00643 | 2,68472 | 61,4685 | 72,7069 | 30 | 78,38 |

Joint Width in mm

8.3.3 Tabelle 6- Varianzanalyse zu Tabelle 5

| | | Sum of Squares | Degrees of Freedom | Mean Square | F | Significance |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------------|-------|--------------|
| Joint Width Extended | Between Groups | 8,025 | 1 | 8,025 | 1,005 | 0,329 |
| | Within Groups | 143,68 | 18 | 7,982 | | |
| | Total | 151,704 | 19 | | | |
| Joint Width Relaxed | Between Groups | 14,454 | 1 | 14,454 | 1,541 | 0,23 |
| | Within Groups | 168,78 | 18 | 9,377 | | |
| | Total | 183,234 | 19 | | | |
| Change Width Relaxed | Between Groups | 0,939 | 1 | 0,939 | 2,023 | 0,172 |
| | Within Groups | 8,354 | 18 | 0,464 | | |
| | Total | 9,293 | 19 | | | |
| Change Relaxed Percent | Between Groups | 24,576 | 1 | 24,576 | 1,377 | 0,256 |
| | Within Groups | 321,357 | 18 | 17,853 | | |
| | Total | 345,933 | 19 | | | |
| Change Traction Percent | Between Groups | 761,371 | 1 | 761,371 | 6,93 | 0,017 |
| | Within Groups | 1977,563 | 18 | 109,865 | | |
| | Total | 2738,935 | 19 | | | |

8.3.4 Tabelle 7- Vergleich der Gelenkspaltweite zwischen Frauen und Männern unter Traktion ohne und mit Muskelrelaxation

| | | N | Mean | Standard Deviation | Standard Error | 95 % Confidence Interval for Mean | | Mini- mum | Maxi- mum |
|-------------------------------|--------|----|---------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------|--------------|--------------|
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Joint Width Extended | Female | 14 | 15,2832 | 2,7432 | 0,73315 | 13,6993 | 16,867 | 12,83 | 24 |
| | Male | 8 | 13,2708 | 2,7182 | 0,96103 | 10,9983 | 15,5433 | 10 | 16,5 |
| | Total | 22 | 14,5514 | 2,84658 | 0,60689 | 13,2893 | 15,8135 | 10 | 24 |
| Joint Width Relaxed | Female | 14 | 15,7787 | 3,30628 | 0,88364 | 13,8697 | 17,6877 | 13,3 | 26,6 |
| | Male | 7 | 14,6243 | 2,4965 | 0,94359 | 12,3154 | 16,9332 | 11,21 | 17,64 |
| | Total | 21 | 15,3939 | 3,04732 | 0,66498 | 14,0068 | 16,781 | 11,21 | 26,6 |
| Change Width Relaxed | Female | 14 | 0,4955 | 0,69677 | 0,18622 | 0,0932 | 0,8978 | 0 | 2,6 |
| | Male | 7 | 0,9505 | 0,63965 | 0,24176 | 0,359 | 1,5421 | 0 | 2 |
| | Total | 21 | 0,6472 | 0,69758 | 0,15223 | 0,3296 | 0,9647 | 0 | 2,6 |
| Change Relaxed Percent | Female | 14 | 2,7567 | 3,04423 | 0,8136 | 0,999 | 4,5144 | 0 | 9,77 |
| | Male | 7 | 6,8174 | 5,26384 | 1,98954 | 1,9491 | 11,6856 | 0 | 16,67 |
| | Total | 21 | 4,1103 | 4,26422 | 0,93053 | 2,1692 | 6,0513 | 0 | 16,67 |
| Change Traction Percent | Female | 14 | 70,2641 | 5,20491 | 1,39107 | 67,2589 | 73,2693 | 59,26 | 78,38 |
| | Male | 8 | 59,7896 | 16,81236 | 5,94407 | 45,7341 | 73,845 | 30 | 75 |
| | Total | 22 | 66,4552 | 11,72975 | 2,50079 | 61,2545 | 71,6559 | 30 | 78,38 |

Joint Width in mm

8.3.5 Tabelle 8- Varianzanalyse zu Tabelle 7

| | | Sum of Squares | Degrees of Freedom | Mean Square | F | Significance |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------------|-------|--------------|
| Joint Width Extended | Between Groups | 20,616 | 1 | 20,616 | 2,757 | 0,112 |
| | Within Groups | 149,547 | 20 | 7,477 | | |
| | Total | 170,163 | 21 | | | |
| Joint Width Relaxed | Between Groups | 6,219 | 1 | 6,219 | 0,658 | 0,427 |
| | Within Groups | 179,504 | 19 | 9,448 | | |
| | Total | 185,723 | 20 | | | |
| Change Width Relaxed | Between Groups | 0,966 | 1 | 0,966 | 2,094 | 0,164 |
| | Within Groups | 8,766 | 19 | 0,461 | | |
| | Total | 9,732 | 20 | | | |
| Change Relaxed Percent | Between Groups | 76,949 | 1 | 76,949 | 5,099 | 0,036 |
| | Within Groups | 286,723 | 19 | 15,091 | | |
| | Total | 363,672 | 20 | | | |
| Change Traction Percent | Between Groups | 558,555 | 1 | 558,555 | 4,793 | 0,041 |
| | Within Groups | 2330,773 | 20 | 116,539 | | |
| | Total | 2889,327 | 21 | | | |

8.3.6 Tabelle 9- Vergleich zwischen Patienten mit niedriger und hoher Gelenkspaltweite unter Traktion ohne und mit Muskelrelaxation

| | | N | Mean | Standard Deviation | Standard Error | 95 % Confidence Interval for Mean | | Mini-mum | Maxi-mum |
|------------------------|--------|----|---------|--------------------|----------------|-----------------------------------|-------------|----------|----------|
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Change Relaxed Percent | < 60 % | 2 | 11,4583 | 7,3657 | 5,20833 | -54,7198 | 77,6365 | 6,25 | 16,67 |
| | > 60 % | 18 | 3,3237 | 3,34316 | 0,78799 | 1,6612 | 4,9863 | 0 | 9,77 |
| | Total | 20 | 4,1372 | 4,37317 | 0,97787 | 2,0905 | 6,1839 | 0 | 16,67 |
| Joint Width Relaxed | < 60 % | 2 | 13,2 | 1,69706 | 1,2 | -2,0474 | 28,4474 | 12 | 14,4 |
| | > 60 % | 18 | 15,754 | 3,12954 | 0,73764 | 14,1977 | 17,3103 | 11,21 | 26,6 |
| | Total | 20 | 15,4986 | 3,08749 | 0,69038 | 14,0536 | 16,9436 | 11,21 | 26,6 |

Joint Width in mm

8.3.7 Tabelle 10- Varianzanalyse zu Tabelle 9

| | | Sum of Squares | Degrees of Freedom | Mean Square | F | Significance |
|------------------------|----------------|----------------|--------------------|-------------|-------|--------------|
| Change Relaxed Percent | Between Groups | 119,109 | 1 | 119,109 | 8,777 | 0,008 |
| | Within Groups | 244,258 | 18 | 13,570 | | |
| | Total | 363,367 | 19 | | | |
| Joint Width Relaxed | Between Groups | 11,741 | 1 | 11,741 | 1,248 | 0,279 |
| | Within Groups | 169,378 | 18 | 9,410 | | |
| | Total | 181,119 | 19 | | | |

Danksagung

Mein Dank gebührt allen Mitgliedern des zielstrebigen Forschungsteams in Perth, die mich bei der Durchführung der klinischen Studie stets mit Enthusiasmus unterstützten. Besonderer Dank gilt meinem engagierten Betreuer Prof. Thomas Ledowski und dem motivierten Arthroskopeur Tao Lim, dessen Patienten auch mir bei der Durchführung der klinischen Studie vertrauten. Ich bedanke mich herzlich bei Chris Reed, mit dessen Hilfe das Auswertungsprogramm Pressure Mat Analysis 2.0 entwickelt wurde. Außerdem bedanke ich mich herzlich bei Prof. Thilo Wedel und Stefanie Gundlach, die mir im Anatomischen Institut in Kiel wichtige anatomische Präparate zur Verfügung stellten.

Zu guter Letzt spreche ich meiner mir treuen Familie den größten Dank aus, die mir bis zum Schluss zur Seite stand.