

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Entwicklung der Bremskraft und Bremsreaktionszeit nach
totalendoprothetischem Ersatz des rechten Hüftgelenks über
einen minimalinvasiven anterolateralen Zugang

Development of brake force and brake reaction time after
minimally invasive total hip arthroplasty of the right hip via an
anterolateral approach

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Irma Louise Sophie Spies

aus Gießen

Datum der Promotion: 04.03.2022

Meinem Vater

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
Abstract (deutsch)	IX
Abstract (English)	XI
Abkürzungsverzeichnis	XII
Anhang	XIV

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Primäre und sekundäre Coxarthrose	1
1.1.1. Pathogenese	1
1.1.2. Klassifikation.....	2
1.1.3. Klinik	3
1.1.4. Therapie	3
1.2. Epidemiologische Daten der Hüfttotalendoprothesen (HTEP)	4
1.3. Entwicklung der Endoprothetik	5
1.4. Operativer Ablauf und Zugangswege der Hüftendoprothetik	5
1.5. Überblick der Totalendoprothesenmodelle	8
1.6. Rehabilitation und Operationsziel	9
1.7. Fahrtüchtigkeit nach Gelenkersatz – Relevanz des Themas	13
1.8. Wissenschaftlicher Hintergrund	14
1.9. Ziel dieser Studie	16
2. Material & Methoden	18
2.1. Ethikantrag	18
2.2. Patientenkollektiv und Datenerhebung	18
2.2.1. Ein- und Ausschlusskriterien	18

2.2.2. Erfassung von Patientendaten	19
2.3. Messung der Bremskraft und Bremsreaktionszeit mittels Bremsimulator	20
2.4. Statistische Analyse.....	22
3. Ergebnisse	26
3.1. Deskriptive Statistik	26
3.1.1. Demographische Daten des Patientenkollektivs	26
3.1.2. Fahrverhalten des Patientenkollektivs.....	26
3.1.3. Bremsparameter.....	27
3.1.4. Fokus: Individuelle Entwicklung der BPF und BRT	28
3.1.5. Fokus: BRT und BPF im Rahmen der Verkehrssicherheit	29
3.1.6. Selbsteinschätzung der Patienten hinsichtlich Fahrtüchtigkeit.....	30
3.2. Statistische Testverfahren.....	31
3.2.1. Demographische Daten des Patientenkollektivs	31
3.2.2. Operationsdaten	32
3.2.3. Test auf Nicht-Unterlegenheit.....	33
3.2.4. t-Test für BPF und BRT	34
4. Diskussion	36
4.1. Entwicklung der BPF im Verlauf der Messungen.....	37
4.1.1. Individuelle Entwicklung der BPF	37
4.1.2. Verkehrstauglichkeit von HTEP-Patienten basierend auf dem Vergleich ihrer BPF mit Normwerten	39
4.2. Entwicklung der BRT im Verlauf der Messungen.....	42
4.2.1. Individuelle Entwicklung der BRT.....	42
4.2.2. Verkehrstauglichkeit von HTEP-Patienten basierend auf dem Vergleich ihrer BRT mit Normwerten	46

4.3. Einflussfaktoren auf BPF und BRT nach endoprothetischem Gelenkersatz	48
4.4. Die Rolle von Fragebögen und Selbsteinschätzung.....	51
4.5. Rechtliche Situation und Implikationen für den Klinikalltag.....	52
4.6. Limitationen	57
5. Zusammenfassung und Ausblick	60
6. Literaturverzeichnis	63
7. Eidesstattliche Versicherung	75
8. Lebenslauf.....	76
9. Publikationsliste	77
10. Danksagung	78
11. Bescheinigung Statistik.....	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Anamnesebogen in Form der Case Report Form (CRF) zur Dokumentation der Patientendaten	XIV
Abbildung 2 Hautschnittführung bei anterolateralem, transglutealem und posterioren Zugang (von links nach rechts) (SI-Zugänge) (© Springer Nature Customer Service Centre GmbH) ³⁸	7
Abbildung 3 Hautschnittführung bei vorderem Zugang in Rückenlage (links) und anterolateralem in Seitenlage (rechts); Draufsicht auf die rechte Patientenseite (© Springer Nature Customer Service Centre GmbH) ³⁸	7
Abbildung 4 Illustration des „Modells der Funktionsfähigkeit“ der ICF ⁵⁶ am Beispiel eines H-TEP Patienten (adaptiert nach: World Health Organization, internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit. © Deutschen Institut für Medizinische Dokumentation und Information, DIMDI)	13
Abbildung 5 TÜV-zertifizierter Bremssimulator mit verstellbarem Autositz, Messrechner, Signalleuchte und Pedalen	20
Abbildung 6 Messsohle zur Ermittlung der BPF	21
Abbildung 7 Beispielhafte Darstellung der, aus den Messdaten ermittelten, Fahrtkurve in Excel (dunkelblaue Linie = Bremskraft BPF in Newton, hellblaue Linie = Bewegungskurve; rote Linie = Zeitpunkt des Aufleuchtens der Signalleuchte; gelbe Linie = Zeitpunkt des Verlassens des Gaspedals/ Beginn der Bremsreaktion; grüne Linie = Zeitpunkt der Tretung des Bremspedals, BRT = Bremsreaktionszeit in ms, NRT = neuronale Reaktionszeit in ms)	22
Abbildung 8 Illustration der Nichtunterlegenheitsgrenze von -90 N der BPF	25
Abbildung 9 Box and Whisker Plot der durchschnittlichen BPF zu den jeweiligen Messterminen (M1 = prä-OP, M2 = 6T post-OP, M3 = 2 Wochen post-OP, M4 = 4 Wochen post-OP, M5 = 6 Wochen post-OP)	27
Abbildung 10 Box and Whisker Plot der durchschnittlichen BRT zu den jeweiligen Messterminen (M1 = prä-OP, M2 = 6T post-OP, M3 = 2 Wochen post-OP, M4 = 4 Wochen post-OP, M5 = 6 Wochen post-OP)	28

<i>Abbildung 11 Anzahl der Patienten in %, die die nötigen Mindestangaben für die BPF (200 N) und BRT (1000 ms) für eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr erreichten</i>	29
<i>Abbildung 12 Anzahl der Patienten, die laut ihren Bremsparametern zum jeweiligen Zeitpunkt erstmals wieder fahrtauglich waren (dunkelgrau) verglichen mit der Anzahl, die sich zum jeweiligen Zeitpunkt erstmalig als fahrtauglich einschätzte (hellgrau)</i>	30
<i>Abbildung 13 Illustration der Konfidenzintervalle des Mittelwerts der Unterschiede der BPF im Vergleich zur unteren Grenze von -90N (rote gestrichelte Linie)</i>	33
<i>Abbildung 14 Illustration der Konfidenzintervalle des Mittelwerts der Unterschiede der BRT im Vergleich zur oberen Grenze von 200 ms (rote gestrichelte Linie)</i>	34
<i>Abbildung 15 interaktiver Fahrsimulator (© HSS Journal)⁷⁶</i>	44
<i>Abbildung 16 Bremsreaktions-Timer (© Journal of Arthroplasty)⁷³</i>	44
<i>Abbildung 17 Operationssimulation während eines Eingriffs unter Anwendung der SuperPath-Technik (© MicroPort Orthopedics Inc.)¹⁰²</i>	45

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Mechanische Ursachen für die Ausbildung einer Arthrose⁷ (nach Claes et al., 2012)</i>	2
<i>Tabelle 2 Röntgenologische Schweregrade nach Kellgren u. Lawrence sowie Tönnis¹³</i> 3	
<i>Tabelle 3 Liste der prä- und operativen Maßnahmen im Zuge einer "fast-track" HTEP-Behandlung⁵¹</i>	11
<i>Tabelle 4 Demographische Daten des Patientkollektivs</i>	26
<i>Tabelle 5 Fahrthäufigkeit und Fahrzeugart der Patienten</i>	26
<i>Tabelle 6 Selbsteinschätzung und Fahrtauglichkeit entsprechend der gemessenen Bremsparametern</i>	30
<i>Tabelle 7 Demographische Daten des Patientenkollektivs</i>	32
<i>Tabelle 8 Implantat- und Schaftgröße bei Männern und Frauen des Kollektivs</i>	32
<i>Tabelle 9 95%-ige Konfidenzintervalle der BPF in N</i>	33
<i>Tabelle 10 95%-ige Konfidenzintervallgrenzen BRT</i>	34
<i>Tabelle 11 t-Test BPF bei verbundenen Stichproben</i>	35
<i>Tabelle 12 t-Test BRT bei verbundenen Stichproben</i>	35
<i>Tabelle 13 Verkehrsrelevante Wirkung von Analgetika (aus der Informationsbroschüre "Medikamente im Straßenverkehr" des ADAC¹¹⁴)</i>	50

Abstract (deutsch)

Einleitung: Aktuell existieren keine einheitlichen klinischen oder gesetzlichen Empfehlungen für Patienten hinsichtlich der Fahrtauglichkeit nach totalendoprothetischem Hüftgelenkersatz (HTEP). Der temporäre Verlust an Mobilität ist jedoch von großer Bedeutung, da er mit erheblichen Einschränkungen in Beruf und Alltag einhergeht. Vorhandene Studien zur Fahrtauglichkeit nach HTEP beschränken sich größtenteils auf Populationen nach klassischen Zugangswegen.

Ziel dieser prospektiven Studie war es, erstmals die Bremsfähigkeit von Patienten vor und nach rechtsseitiger minimalinvasiver HTEP-Implantation über einen anterolateralen (AL) Zugang anhand der Bremspedalkraft (BPF) und Bremsreaktionszeit (BRT) zu ermitteln. Darauf aufbauend sollte festgestellt werden, ab wann eine Fahrtauglichkeit ohne erhöhtes, operationsbedingtes Risiko wieder gegeben scheint.

Methodik: Mittels TÜV-geprüftem Fahrsimulator wurden die BPF und BRT präoperativ und zu vier Terminen postoperativ (6 Tage, 2, 4 und 6 Wochen) bei 30 rechtsseitigen HTEP-Patienten der Charité Universitätsmedizin Berlin, Campus Mitte, gemessen. Einschlusskriterien waren eine gültige Fahrerlaubnis, regelmäßige Teilnahme am Straßenverkehr sowie mindestens zwei Jahre Fahrerfahrung. Ausschlusskriterien waren neurologische Grunderkrankungen sowie hochgradige Beschwerden im Bereich der Lendenwirbelsäule und des rechten Knies. Die präoperativen Werte und der intra-individuelle postoperative Verlauf wurden analysiert. Zur statistischen Analyse der Unterschiede wurden ein Test auf Nicht-Unterlegenheit und ein t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt.

Ergebnisse: Von 30 eingeschlossenen Patienten beendeten 5 ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig ohne Angabe von Gründen. Das Durchschnittsalter der verbliebenen 25 betrug $51,6 \pm 10,3$ Jahre. Die mittlere BPF betrug $455,4 \pm 188,8$ N und die mittlere BRT $671,3 \pm 126,0$ ms. 24 der 25 ausgewerteten Patienten wiesen vor der OP verkehrstaugliche Werte auf. Nach 2 Wochen lag die mittlere BPF bei $357,5 \pm 152,6$ N mit einer mittleren BRT von $735,0 \pm 190,7$ ms. Die BPF war zu diesem Zeitpunkt noch signifikant schlechter als vor der OP ($p = 0,026$). Der Unterschied der BRT zum präoperativen Mittelwert war nicht signifikant ($p = 0,071$). Nach 4 Wochen betrug die

mittlere BPF $435,9 \pm 181,5$ N mit einer mittleren BRT von $647,0 \pm 94,1$ ms. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zu den präoperativen Mittelwerten (BPF: $p = 0,834$, BRT: $p = 0,354$). Nach sechs Wochen wies die BPF weiterhin keinen signifikanten Unterschied zum präoperativen Wert auf ($p = 0,140$), die BRT verbesserte sich jedoch signifikant ($p = 0,005$).

Interpretation: Basierend auf Ergebnissen dieser Studie erscheint eine Wiederaufnahme der Fahrtätigkeit vier Wochen nach rechtsseitigem Hüftgelenksersatz über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugangsweg ohne erhöhtes operationsbedingtes Risiko möglich. Die finale Entscheidung muss jedoch in jedem Fall individuell und von dem Patienten selbst getroffen werden.

Abstract (English)

Background: There are currently no clinical or legal guidelines regarding the return to driving after total hip arthroplasty (THA). However, the temporary loss of mobility is a confinement for many patients in their daily social and professional lives. Existing studies focus mainly on driving ability after traditional surgical approaches.

This prospective study was conducted to assess the braking ability of patients receiving a right-sided THA via a muscle-sparing anterolateral approach (AL) by measuring the brake pedal force (BPF) and brake reaction time (BRT).

Methods: 30 right-sided THA patients of Charité Universitätsmedizin Berlin, Campus Charité Mitte were included in this study. Patients' BPF and BRT were evaluated using a TÜV-certified driving simulator preoperatively and four times postoperatively (six days, two, four, and six weeks). Inclusion criteria were a valid driver's license, regular driving activity and at least two years of driving experience. Exclusion criteria were neurological diseases, lower back or right knee p. The preoperative values and the individual postoperative development were analyzed. The results were statistically analyzed using the non-inferiority-test and the t-test for independent variables.

Results: Of the initial 30 participants, 5 resigned during follow up. The mean age of the remaining 25 patients was 51.6 years \pm 10.3 years. The mean preoperative BPF was 455.4 \pm 188.8 N and BRT was 671.3 \pm 126.0 ms. 24 of 25 patients presented safe values of BPF and BRT before surgery. Two weeks postoperatively the mean BPF was 357.5 \pm 152.6 N with a mean BRT of 735.0 \pm 190.7 ms. By this time the BPF was still significantly decreased compared to preoperative ($p = 0.026$). However, differences in BRT were not statistically significant ($p = 0.071$). After four weeks mean BPF was 435.9 \pm 181.5 N with a mean BRT of 647.0 \pm 94.1 ms. There was no significant difference with regard to preoperative values (BPF: $p = 0.834$, BRT: $p = 0.354$). After six weeks there was still no significant difference in BPF ($p = 0.140$) but BRT improved significantly compared to preoperative values ($p = 0.005$).

Conclusion: Based on the results of this study a safe return to driving after four weeks seems possible following a THA via a muscle-sparing anterolateral approach. However, the individual final decision remains with the patient himself.

Abkürzungsverzeichnis

AAA	American Automobile Association
ADL	Activities of Daily Living (Alltagsaktivitäten)
AE	Arbeitsgemeinschaft Endoprothetik
AHB	Anschlussheilbehandlung
AL	Anterolateral
AMB	Amtliches Mitteilungsblatt
BAS	Bremsassistentensystem
BBA	Betriebsbremsanlage
BHA	bikini hip arthroplasty (mikroinvasive Operationstechnik)
BMI	Body Mass Index
BPF	Brake Pedal Force (Bremspedalkraft)
BRT	Brake Reaction Time (Bresmreaktionszeit)
C	Konfidenzgrenze
CRF	Clinical Research Form
DVG	Deutscher Verkehrs Gerichtstag
EG	Europäische Gemeinschaft
EPRD	Endoprothesenregister Deutschland
FAI	Femoroazetabuläres Impingement
FBA	Feststellbremsanlage
FeV	Fahreignungs-Verordnung
ICF	International Classification of Functioning, Disability and Health
IFU	Institut für Unfallanalysen Hamburg
M	Messung
MIS	Minimalinvasiver Zugang
NICE	National Institute for Health and Clinical Excellence
NRT	neuronal reaction time (neuronale Reaktionszeit)
OECD	Oragnization for economic co-operation and development
PE	Polyethylen
ROM	range of motion
SCFE	slipped capital femoral epiphysis (Epiphysiolysis capitis femoris)
SD	standard deviation (Standardabweichung)
SI	Standardzugang

Sig	Signifikanz
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
TEP	Totalendoprothese
THA	total hip arthroplasty
UAG	Unterarmgehstützen
WHO	World Health Organisation

Case Report Form
Bremskraft nach Hüft-TEP

Patientenname: _____ Patientennummer: _____

Geburtsdatum: _____ Geschlecht: W M Größe: _____cm Gewicht: _____kg

Studienbeginn (Aufnahmetag): ____/____/____ Studienende: ____/____/____

Mobilisation <input type="checkbox"/> Keine Hilfe <input type="checkbox"/> 1 UAG <input type="checkbox"/> 2 UAG <input type="checkbox"/> Rollator <input type="checkbox"/> Rollstuhl	Gehstrecke <input type="checkbox"/> > 1 km <input type="checkbox"/> 500 – 1000m <input type="checkbox"/> 200 – 500m <input type="checkbox"/> 10-50m <input type="checkbox"/> Wohnung	Treppensteigen <input type="checkbox"/> ohne Geländer <input type="checkbox"/> Mit Geländer <input type="checkbox"/> Äußerst beschwerlich <input type="checkbox"/> Unmöglich	Schmerz <input type="checkbox"/> Keiner <input type="checkbox"/> Gelegentlich <input type="checkbox"/> Gering- keine Beeinträchtigung <input type="checkbox"/> Erträglich – mit Einschränkungen <input type="checkbox"/> Stark- ernsthafte Einschränkung <input type="checkbox"/> Stark- bettlägerig
Hinken <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> leicht <input type="checkbox"/> moderat <input type="checkbox"/> ausgeprägt		Schuhe/ Socken ausziehen <input type="checkbox"/> leicht <input type="checkbox"/> mit Schwierigkeiten <input type="checkbox"/> nicht möglich	Längeres Sitzen <input type="checkbox"/> Bequem > 1h <input type="checkbox"/> mit Sitzhöhung, 1/2h <input type="checkbox"/> nicht möglich
			Öff. Verkehrsmittel <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein

NAS (0-10): _____

rechts	links
Trendelenburg <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> Nein	Trendelenburg <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> Nein
Funktionelle Beinlänge _____ cm	Funktionelle Beinlänge _____ cm
Vorh. Absatzhöhung _____ cm	Vorh. Absatzhöhung _____ cm
Ex / Flex _____ _____ _____	Ex / Flex _____ _____ _____
Abd / Add _____ _____ _____	Abd / Add _____ _____ _____
Aro / Iro _____ _____ _____	Aro / Iro _____ _____ _____
Trochanter- Klopfschmerz <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Trochanter- Klopfschmerz <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Inguinaler Druckschmerz <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Inguinaler Druckschmerz <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Pes anserinus Druckschmerz <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Pes anserinus Druckschmerz <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Fersenklopfschmerz <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Fersenklopfschmerz <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
A. femoralis / A. poplitea _____ _____	A. femoralis / A. poplitea _____ _____
A. dors. pedis / A. tib. post. _____ _____	A. dors. pedis / A. tib. post. _____ _____
Motorik <input type="checkbox"/> opB	Motorik <input type="checkbox"/> opB
Sensibilität <input type="checkbox"/> opB	Sensibilität <input type="checkbox"/> opB
Sonstiges	Sonstiges

Radiologischer Arthrosegrad (präoperativ): Grad _____

Osteophyten	Gelenkspalt	Sklerosierung	Deformierung	Punkte
Keine/fraglich	Nicht/fraglich verschmälert	Keine	Keine	0
Eindeutig	Deutlich verschmälert	Leicht	Leicht	1
Groß	Stark verschmälert	Leicht mit Zystenbildung	Deutlich	2
	Aufgehoben	Stark mit Zystenbildung		3

Grad 1 = 1 - 2 Punkte, Grad 2 = 3 - 4 Punkte, Grad 3 = 5 - 9 Punkte, Grad 4 = 10 Punkte

Grunderkrankungen, Systemerkrankungen und/oder Syndrome, die mit Alterationen des muskuloskeletalen Systems, insbesondere ligamentärer Strukturen, einhergehen (z.B. Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, Kollagenosen, Marfan-Syndrom, Ehlers-Danlos-Syndrom etc.)

Operativer Zugang: MIS ant.lat.

Operateur: _____

Prothesenmodelle:

- ZIMMER Press-Fit-Pfanne Allofit Gr.
- AESCULAP Press-Fit Pfanne Plasmafit Gr.
- ZIMMER Durasul PE-Inlay Gr.
- AESCULAP Vitelene PE-Inlay Gr.
- S&N SL-PLUS Schaft Gr.
- S&N SL-PLUS MIA Schaft Gr.
- Zimmer Avenir Schaft Gr.
- Zimmer/S&N 32/36mm Keramikkopf mit kurzem/mittellangem/langem/extralangem Hals)

Start der AHB: _____

Abbildung 1 Anamnesebogen in Form der Case Report Form (CRF) zur Dokumentation der Patientendaten

1. Einleitung

Heutzutage gilt der operative Gelenkersatz aufgrund effektiver Schmerzreduktion und deutlicher Besserung von Bewegungseinschränkungen, nach Ausschöpfung konservativer Maßnahmen, als die effektivste Intervention bei degenerativem Gelenkverschleiß (Arthrose)¹. Laut der WHO ist die Arthrose, bezogen auf die damit einhergehende Einschränkung im Alltag, eines der zehn relevantesten Krankheitsbilder in entwickelten Ländern². Die degenerative Zerstörung des Gelenkknorpels und die damit verbundene Schädigung umgebender Strukturen wie Knochen, Muskeln, Kapseln und Bänder, sind für die Betroffenen häufig sehr schmerzhaft und bedingen die hohe Krankheitslast. Weltweiten Schätzungen zufolge leiden 9,6% der Männer und 18% der Frauen über 60 Jahre an einer mittel- bis hochgradigen symptomatischen Form der Erkrankung³. Die Arthrose des Hüftgelenks zählt dabei zu den drei häufigsten Erscheinungsformen⁴.

1.1. Primäre und sekundäre Coxarthrose

1.1.1. Pathogenese

Man unterscheidet bei der Coxarthrose zwischen der primären und sekundären Form der Gelenkveränderung. Die primäre (oder idiopathische) Arthrose entsteht durch einen Degenerationsprozess an Knorpel und Gelenkstrukturen. Ein Missverhältnis zwischen Belastung und Belastbarkeit des Gelenkknorpels, beispielsweise berufsbedingt oder durch sportliche Überbelastung, führen zu einer Chondrozytenalterung in Form einer abnehmenden Kollagen- und Proteoglykandichte und einer zunehmenden Apoptose⁵. Die Chondrozytenalterung ist jedoch auch Teil des physiologischen Alterungsprozesses, weshalb die idiopathische Arthrose vor allem bei älteren Patienten diagnostiziert wird. Auch eine mindere Knorpelqualität oder milde angeborene Fehlstellungen/Fehlformen und Gelenkdysplasien können ein Grund für biomechanisch ungünstige Verhältnisse und damit ursächlich für die Entwicklung einer Arthrose sein (s. Tabelle 1). Schlussendlich ist für die Klassifikation entscheidend, dass keine Verletzung oder Erkrankung als Urheber für die Coxarthrose identifiziert werden kann.

Der Begriff „primäre Coxarthrose“ wird allerdings zunehmend in Frage gestellt^{6,7}. So kamen Murray *et al.*⁸ und Harris *et al.*^{9,10} bereits vor 40 Jahren zu dem Ergebnis, dass bis zu 2/3 der als „primär“ deklarierten Coxarthrosen auf eine klinisch stumm verlaufene Ephyseolysis capitis femoris (slipped capital femoral epiphysis SCFE)

zurückzuführen seien. Ganz *et al.* führten diesen Gedanken weiter und identifizierten milde bis unerkannte Fälle von femoroazetabulärem Impingement (FAI) – häufig eine Folge einer unbehandelten SCFE - und damit einhergehende Fehlbelastung der Gelenkfläche (bei camFAI) oder Schädigung des Labrums (bei pincerFAI) als Ursache für die meisten „idiopathischen“ Coxarthrosen⁶. Diese Fälle wären somit eher einer sekundären Coxarthrose zuzuordnen, da ihnen ein anderer Defekt zugrunde liegt.

Die sekundäre Hüftgelenksarthrose entsteht entweder durch posttraumatische Form- und Funktionsstörungen, durch metabolische Störungen oder durch Stoffwechselstörungen. Beispielhaft hierfür sind eine Fehlstellung nach Schenkelhalsfraktur, Mikroangiopathien des Gelenkbereichs im Rahmen eines Diabetes mellitus, Hypercholesterinämie, Hyperurikämie, entzündliche Erkrankungen (bakterielle und andere Erreger) oder rheumatische Ursachen.

Moderne Konzepte zur Ätiologie der Coxarthrose basieren auf der Annahme einer multifaktoriellen Erkrankungsgenese, wobei in der Hälfte aller Fälle auch eine genetische Prädisposition diskutiert wird¹¹. Mutationen, die beispielsweise den Wnt-Signalweg über beta-Catenin beeinflussen, können zu einer Chondrozytendysfunktion und einer anschließenden Knorpeldegeneration führen¹². So sind die primäre und sekundäre Coxarthrose häufig nicht klar voneinander zu trennen⁷.

Tabelle 1 Mechanische Ursachen für die Ausbildung einer Arthrose⁷ (nach Claes et al., 2012)

Azetabulär	Femoral
- ungenügendes und/oder zu steil gestelltes Pfannendach (Dysplasie)	- Coxa valga mit Fovea alta
- Retroversion des Azetabulums	- Fehlende Taille am Femurkopf/Schenkelhalsübergang
- Protrusio acetabuli, coxa profunda	- Retrotorsion des proximalen Femurs
- Übernutzung der Hüfte, meist im Rahmen sportlicher (stop-and-go-Sportarten) oder beruflicher Aktivitäten (Ballett)	

1.1.2. Klassifikation

Die Einteilung der Erkrankung erfolgt röntgenologisch entweder anhand des Scores nach Kellgren und Lawrence oder die Klassifikation nach Tönnis (s. Tabelle 2):

Tabelle 2 Röntgenologische Schweregrade nach Kellgren u. Lawrence sowie Tönnis¹³

		Grad 0	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4
Röntgenologischer Befund	Kellgren und Lawrence	Keine Arthrosezeichen	Fraglicher Nachweis von Osteophyten	Sicherer Nachweis von Osteophyten, keine Gelenkspaltverschmälerung	Mäßige Gelenkspaltverschmälerung	Gelenkspalt erheblich verschmälert bzw. aufgehoben
	Tönnis	Keine Arthrosezeichen	Vermehrte Sklerosierung von Kopf/Pfanne Geringe Gelenkspaltverschmälerung Mäßige Kopfentrundung	Kleine Zysten in Kopf/Pfanne Zunehmende Gelenkspaltverschmälerung Mäßige Kopfentrundung	Große Zysten in Kopf/Pfanne erheblich verschmälert bzw aufgehoben Starke Kopfentrundung Nekrosen	-

1.1.3. Klinik

Die Symptomatik der Coxarthrose kennzeichnet sich durch einen Wechsel zwischen akut schmerzhaften Phasen (aktivierte Arthrose) und klinisch unauffälligen Ruheperioden (latente Arthrose)¹⁴.

Formen der Degeneration und jeweilige radiologische Korrelate der Arthrose sind:

- (1) Knorpelverlust, sichtbar anhand der messbaren Verschmälerung des Gelenkspalts
- (2) Bildung von Geröllzysten (flüssigkeitsgefüllte Nekrosen) durch subchondrale Schädigung
- (3) Subchondrale Sklerosierungen und
- (4) Osteophytäre Anbauten, um den gesteigerten Druck zu kompensieren.

All diese Symptome führen im Verbund zu einem Funktionsverlust durch die Bewegungseinschränkung sowie Schmerzen (Anlaufschmerz, Belastungsschmerz, Ruheschmerz) im Gelenk.

1.1.4. Therapie

Das Therapiekonzept der Hüftgelenksarthrose ist multimodal. Zu Beginn der Behandlung steht ein konservativer Ansatz, wobei eine Vielzahl von pharmakologischen und nicht pharmakologischen Maßnahmen zur Verfügung stehen.

Laut der im Februar 2014 vom britischen *National Institute for Health and Clinical Excellence* (NICE) veröffentlichten Leitlinie für die Behandlung einer Arthrose, stehen am Anfang des Therapiealgorithmus die Patientenedukation, die Muskelkräftigung und eine Reduktion eines Übergewichts (soweit vorhanden). Als nächste Stufe wird der Einsatz von Paracetamol angeraten, gefolgt von Coxiben und nicht-selektiven NSAID. Als letzte und zeitlich begrenzte Option, stehen Opioide zur Schmerzlinderung zur Verfügung¹⁵. Laut Bretschneider *et al.* wird „der Einsatz von intraartikulären Hyaluronsäureinjektionen, Chondroitinsulfat und Glucosamin, Akupunktur und Orthesen kontrovers diskutiert“ und zu Thermo-, Hydro-, Balneo-, Elektro-, Ultraschall- und Stoßwellentherapie, die durchaus einen förderlichen Effekt haben können, liegen bis dato keine validen Studien zur Wirksamkeit vor¹¹.

Kann über mindestens drei bis sechs Monate auch mit einer Kombination der konservativen Maßnahmen keine ausreichende Beschwerdelinderung erreicht werden, bilden operative Verfahren die letzte Therapiemöglichkeit. Sie sind auch Mittel der Wahl, wenn durch den Eingriff ein Fortschreiten der Arthrose oder die Entstehung aufgehalten werden kann (Beispiel: Impingement-Chirurgie oder Osteotomien bei Jugendlichen). Im Zuge der operativen Therapie bei manifester Coxarthrose kommt es in seltenen Fällen zur ersatzlosen Entfernung zerstörter Gelenke; häufiger jedoch zu einer Arthrodeese, gelenkerhaltenden Korrekturingriffe (Umstellungsosteotomien zur Verbesserung der Gelenkkongruenz) oder zu einem endoprothetischen Gelenkersatz (HTEP).

1.2. Epidemiologische Daten der Hüfttotalendoprothesen (HTEP)

Mit 238.072 Eingriffen im Jahr 2017 liegt die Implantation einer Endoprothese am Hüftgelenk mittlerweile auf dem sechsten Platz der häufigsten Operationen an Krankenhäusern in Deutschland¹⁶. Somit werden etwa 200 Hüftprothesen je 100.000 Einwohner in Deutschland implantiert, wovon ca. 110 - 120 arthrosebedingt sind¹. Für OECD-Länder (Organization for Economic Corporation and Development) wie Deutschland ist aus mehreren Gründen von weiter steigenden Zahlen auszugehen: Einerseits der demographische Wandel, der mit einer alternden Bevölkerung einhergeht, andererseits die immer längeren Prothesenstandzeiten¹⁷, eine hohe Patientenzufriedenheit^{18,19} und die Kosteneffektivität^{20,21} erklären die steigende Zahl der Implantationen. Zusätzlich ermöglicht der Ausbau der Gesundheitssysteme weltweit immer mehr Menschen den Zugang zu solch einem Verfahren²².

1.3. Entwicklung der Endoprothetik

Der Gedanke, ein defektes Gelenk durch ein künstliches zu ersetzen, ist jedoch keine Erfindung der Moderne und beschäftigte Chirurgen bereits Mitte des 18. Jahrhunderts. Der erste dokumentierte Eingriff der Arthroplastik vor über 250 Jahren wurde jedoch nicht am Hüft- sondern am Schultergelenk durchgeführt: Der schottische Chirurg Charles White entfernte 1768 den Oberarmkopf eines 14-jährigen Patienten, der im Rahmen einer Osteomyelitis dysfunktional geworden war, und stellte so die Beweglichkeit des Schultergelenks wieder her¹. Dieses erste Beispiel einer Resektionsarthroplastik war ein voller Erfolg und hob sich von der Radikalität der bis dato gängigen Therapiemethoden wie einer Versteifung oder Amputation ab. Obwohl Charles White schon damals trotz einer vergleichsweise archaischen Form der Endoprothetik eine deutliche Verbesserung für den Patienten erreichte, wurden seitdem sowohl die Operationstechniken revolutioniert als auch die Materialien der Prothesen kontinuierlich verbessert, um den enorm gestiegenen Ansprüchen an künstlichen Gelenken gerecht zu werden. Bei der initial angewandten Resektionsarthroplastik, bei der ein Gelenkpartner, im Falle der Coxarthrose also der Hüftkopf, komplett entfernt wurde, musste für die verbesserte Beweglichkeit des destruierten Gelenks stets eine verminderte Belastbarkeit durch fehlende strukturelle Stabilität in Kauf genommen werden. Anstelle der Resektionsarthroplastik rückte ab Anfang des 20. Jahrhunderts der möglichst naturgetreue Ersatz knöcherner Gelenkanteile in den Fokus der Entwicklung. Im Bereich der Hüftendoprothetik deklarierte Philip Wiles in dem Paper „The surgery of the osteo-arthritic hip“ 1958 den Operateur Smith-Petersen als Wegbereiter dieses Eingriffs im weiten Feld der Chirurgie²³: Smith-Petersen beschrieb 1917 zum ersten Mal den neuartigen, heute nach ihm benannten, anterolateralen Zugang zum Hüftgelenk, der weit weniger traumatisch war als die bis dato gängigen²⁴.

100 Jahre später haben sich sowohl die Zugangswege als auch die Prothesenmodelle vervielfacht, weshalb im Folgenden ein kurzer Überblick zum heutigen Versorgungsstandard gegeben werden soll.

1.4. Operativer Ablauf und Zugangswege der Hüftendoprothetik

Das klassische Patientenklientel des künstlichen Gelenkersatzes ist seit einigen Jahren im Wandel begriffen: Industrienationen, wie die USA, verzeichnen kontinuierlich eine Zunahme der primären Hüft-TEP-Implantationen sowohl bei älteren Patienten (> 65 Jahre), als auch bei Jüngeren (< 65 Jahre)²⁵, was insgesamt zu einer

Senkung des Durchschnittalters führt^{26,27}. Das heutzutage zum Teil deutlich jüngere und aktivere Patienten Klientel erwartet nicht nur eine dauerhafte Beschwerdebesserung und Steigerung der Lebensqualität durch die Operation, sondern auch einen möglichst kurzen Krankenhausaufenthalt und eine zügige Rehabilitation²⁸⁻³⁰. Krankheitsbedingte Einschränkungen des alltäglichen Lebens durch den Eingriff sollen idealerweise auf ein Minimum begrenzt werden. Als Reaktion auf diese Erwartungshaltung wurden in den letzten 20 Jahren alternative Zugänge in minimal-invasiver Technik entwickelt, die sich dank Schonung von Muskulatur und Sehnen ein besseres Frühergebnis, eine schnellere Rehabilitation der Patienten und eine zufriedenstellende Funktionsfähigkeit der Prothese erhoffen^{1,31}. Auch die Prothesenmodelle und die Art der Verankerung wurden weiterentwickelt, so dass nun die Möglichkeit besteht, jeden Patienten mit einer für ihn optimalen Kombination zu versorgen.

Vor einem operativen Gelenkersatz steht jedoch stets die Aufklärung des Patienten bezüglich vorhandener Risiken und möglicher Komplikationen durch den Arzt. Anschließend wird ein individueller Behandlungsplan erstellt, der die Wahl eines geeigneten Prothesenmodells anhand klinischer und röntgenologischer Befunde beinhaltet, sowie die Planung des operativen Zugangswegs. Zu unterscheiden sind klassische Zugänge (SI-Zugänge) wie der anteriore Zugang nach Smith-Petersen, der anterolaterale Zugang nach Watson-Jones, der transgluteale Zugang nach Bauer und der dorsale Zugang nach Moore von Zugängen in minimal-invasiver Technik (MIS-Zugänge)³².

Während MIS-Zugänge früher durch die Länge des Hautschnitts definiert wurden, betrachtet man heutzutage bei der Kategorisierung eher das Ausmaß des Weichteilschadens als Unterscheidungsmerkmal. Diese vermeintliche „Muskelschonung“ der minimalinvasiven Techniken wird in der Literatur jedoch kontrovers diskutiert³³. Während einige Autoren behaupten, dass dadurch bessere postoperative Muskelfunktion und Rehabilitationsergebnisse erreicht werden³⁴⁻³⁶ kritisieren andere, dass es durch den kleinen Hautschnitt und die dadurch geringere Übersichtlichkeit häufiger zu iatrogen verursachter Schädigung der pelvitrochantären Muskulatur und Weichteilquetschungen kommt³⁷ und generell MIS-Verfahren bezüglich des Outcomes den SI-Verfahren nicht überlegen sind. Des Weiteren darf nicht vergessen werden, dass minimalinvasive Verfahren einen hohen Erfahrungsgrad

und teilweise Spezialinstrumente (wie abgewinkelte Fräser und Einschläger) benötigen und so nicht in jeder Klinik uneingeschränkt zur Verfügung stehen.

Vergleicht man die unterschiedlichen Zugangswege innerhalb der SI-Kategorie (s. Abbildung (Abb.) 2), so haben auch diese jeweils Vor- und Nachteile. Ein großer Vorteil der anterolateralen Eröffnung, ist, dass nur eine begrenzte Ablösung der Muskulatur erforderlich ist. Die transgluteale Schnittführung eignet sich hingegen bei ausgedehnten Ossifikationen ventral und dorsal des Hüftgelenks, es kann jedoch bei inkorrektem Vernähen der Gluteen leicht zu einer (reversiblen) Insuffizienz der Glutealmuskulatur kommen. Der dorsale Zugang zeichnet sich durch seine gute Übersichtlichkeit des Operationsgebiets aus und wird vor allem bei adipösen Patienten gerne verwendet, da überschüssiges Gewebe nach unten sinken kann. Ein Nachteil dieser Technik besteht in der vermehrten Luxationsneigung³⁸.

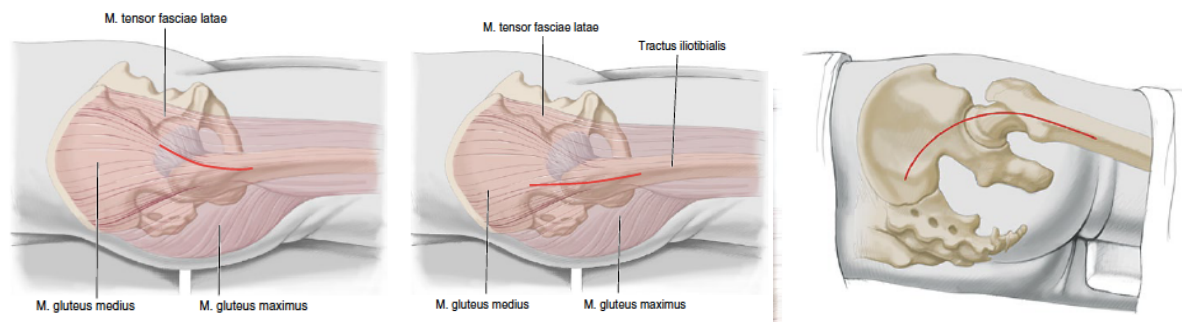


Abbildung 2 Hautschnittführung bei anterolateralem, transglutealem und posterioren Zugang (von links nach rechts) (SI-Zugänge) (© Springer Nature Customer Service Centre GmbH)³⁸

Bei den minimal-invasiven Zugängen (s. Abb. 3) unterscheidet man den vorderen Zugang in Rückenlage, den anterolateralen (AL) Zugang in Seitenlage und den minimierten dorsalen Zugang. Den beiden ersten ist gemein, dass komplett auf die Durchtrennung der Muskulatur verzichtet werden kann; beim hinteren Zugang handelt es sich hingegen um keinen minimal-invasiven Zugang im klassischen Sinne, sondern eher um eine weniger invasive Version des konventionellen dorsalen Zugangs.

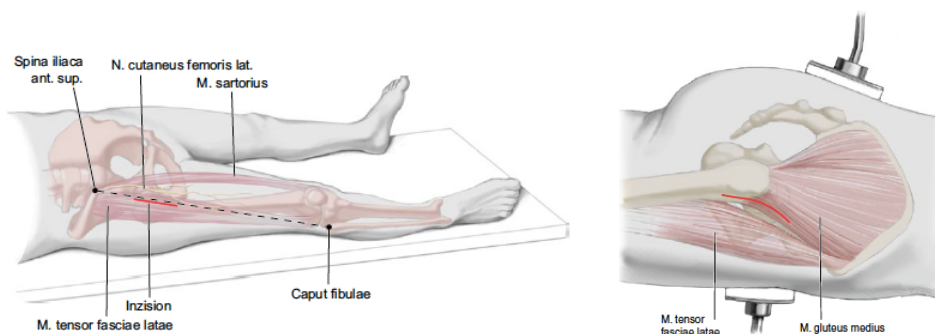


Abbildung 3 Hautschnittführung bei vorderem Zugang in Rückenlage (links) und anterolateralem in Seitenlage (rechts); Draufsicht auf die rechte Patientenseite (© Springer Nature Customer Service Centre GmbH)³⁸

Nach der Wahl des operativen Zugangswegs folgt der eigentliche Eingriff. Anschließend an die Präparation des Gelenks und der Retraktion des erkrankten Knochens, wird die Passgenauigkeit der Endoprothese mithilfe von Probeprothesen überprüft und auf eine mögliche Beinlängendifferenz geachtet. Als Anpassung daran können Schaft- und Kopfgröße variiert werden. Ist der Operateur zufrieden mit dem Ergebnis und weisen die Weichteile und Bänder eine ausreichende Spannung auf, wird abschließend die finale Pfanne mitsamt Inlay, Schaft und Kopf fixiert und der Sitz der Endoprothese unmittelbar nach der Operation durch eine Röntgenaufnahme kontrolliert. Durch diese Röntgenuntersuchung werden auch operationsbedingte Schädigungen des Knochens ausgeschlossen.

1.5. Überblick der Totalendoprothesenmodelle

Die verwendeten Prothesenmodellen, können sich hinsichtlich folgender Kriterien unterscheiden³⁸:

- 1) Verankerung von Schaft und Pfanne
 - zementiert
 - zementfrei
 - teilzementiert (Hybridendoprothese)
- 2) Femorale Kraffteinleitung
 - schaftbasierte Systeme (Standard- und Kurzschaft)
 - Oberflächenersatz mit epiphysärer Verankerung
- 3) Gleitpaarung
 - Keramik-Keramik-Gleitpaarung
 - Keramik-Polyethylen
 - Metall-Metall-Gleitpaarung

Die Art der Arthroserveversorgung ist von mehreren Faktoren abhängig: Im höheren Alter beispielsweise hat sich die zementierte Version der Prothese durchgesetzt, da sie auch im strukturschwachen, biologisch weniger regenerationsfähigen Skelett eine gute Verankerung gestattet. Metall-Metall-Gleitpaarungen werden aufgrund des hohen Risikos eines Metallabriebs und damit verbundenen Komplikationen zusehends gemieden. Laut des aktuellen Berichts des *Endoprothesen Register Deutschland* (EPRD) ist in den letzten Jahren der Anteil der Versorgungen mit komplett zementierten Prothesen kontinuierlich gesunken und der der zementfreien Hüftprothesen auf etwa 77,2 % gestiegen³⁹. In einer Umfrage von Sendter *et al.* an

240 unfallchirurgischen und orthopädischen Kliniken von 2006, waren es noch 65 % zementfreie Implantationen⁴⁰. Bei der Wahl der Materialien für die Gleitpaarung zwischen Kopfkomponekte und Pfanneninlay wird eine steigende Popularität der Kombination aus Keramik und hochvernetztem Polyethylen (PE) beobachtet: 87,3 % aller Prothesen hatten Kreamikköpfe und 77,4 % PE-Inlays im Vergleich zu 66,1 % im Jahr 2014. Obwohl laut EPRD die Versorgung mit einem Standard-Schaft immer noch den Regelfall darstellt, sind Kurzschaftprothesen mit einem Anteil von 9,4 % im Jahr 2017 (vergleiche 7,3 % im Jahr 2015) auf dem Vormarsch und in einigen Kliniken sogar schon die Versorgungsnorm³⁹.

1.6. Rehabilitation und Operationsziel

Wie in dem *Weißbuch Gelenkersatz* treffend formuliert, ist das „Ziel der Gelenkendoprothesen-Erstimplantation die Herstellung größtmöglicher Funktionalität und die Verringerung eines (knie- oder hüftbedingten) Schmerzes bei Arthrose und anderen Erkrankungen sowie die Erreichung einer raschen Mobilisierbarkeit nach Schenkelhalsfraktur. Ziel ist außerdem, eine lange Standzeit bei guter Belastbarkeit zu erreichen und (Folge-) Komplikationen zu vermeiden. Insgesamt soll die Lebensqualität des Patienten gesteigert und ihm zu mehr Mobilität verholfen werden“⁴¹.

Um dieses Ergebnis zu erreichen ist ein komplexes Zusammenspiel aus prä-, intra- und postoperativen Maßnahmen nötig. Dazu gehören beispielsweise die präoperative Aufklärung, die Anästhesie, die Wahl der Operationstechnik, der gewissenhafte Einsatz von Hämotherapie, die postoperative Lagerung und Mobilisation und eine adäquate Schmerztherapie zu allen Zeitpunkten. Von besonderer Bedeutung für die Wiederherstellung einer größtmöglichen Funktionalität ist die postoperative Mobilisation und die sich an die OP anschließende Rehabilitation. Klassischerweise beginnt die Frühmobilisation am Tag nach der Operation; ab dem 3. Tag beginnen Patienten das Laufen mit zunehmender Belastung mit Hilfe von Unterarmgehstützen im 3-Punkt und 4-Punkt-Gang. Zwischen dem 6. und 10. postoperativen Tag wird mit den eigentlichen Reha-Maßnahmen begonnen⁴². In 50 % der Fälle geschieht dies in Form einer stationären Anschlussheilbehandlung (AHB), in 10 % im Rahmen einer teilstationären und 40 % der Patienten absolvieren eine ambulante Rehabilitation⁴². Ziele der Rehabilitation sind:

- weitgehende Reduktion oder gar Ausschaltung des vormals bestehenden Ruhe-, Bewegungs- und/oder Belastungsschmerzes
- Wiederherstellung bzw. Verbesserung der Funktionalität des betroffenen Hüftgelenks
- Wiederherstellung bzw. Verbesserung der Gesamtmobilität
- weitgehende Unabhängigkeit von unterstützenden Gehhilfen (Rollator, Gehstützen u. a.)
- Wiederherstellung bzw. Erhalt der Eigenständigkeit bzgl. der ADL (activities of daily living) (Vermeidung von Pflegebedürftigkeit, Verbesserung der Lebensqualität)
- Verbesserung der körperlichen Belastbarkeit im Alltag und Beruf⁴³⁻⁴⁵

Im Normalfall ist die primäre Rehabilitation von HTEP-Patienten laut *AE-Manual der Endoprothetik* 12 Wochen nach dem Eingriff abgeschlossen⁴² und es schließt sich eine Spätrehabilitation mit Kontrollen beim niedergelassenen Facharzt und eventuell niederfrequenten, ambulanten Physiotherapieterminen zur weiteren muskulären Stabilisierung und dem vollständigen Abtrainieren der Gehhilfen an⁴³.

Seit einigen Jahren tauchen jedoch ergänzend zum klassischen Ansatz vermehrt multimodale, interdisziplinäre Versorgungskonzepte, wie „fast-track-surgery“ oder „Enhanced Recovery“, im Bereich der Endoprothetik auf⁴⁶. Das Behandlungskonzept „fast-track“ wurde Ende der 90er von Professor Henrik Kehlet im Hvidovre-Hospital in Kopenhagen im Bereich der Allgemeinchirurgie eingeführt⁴⁷. Er und sein Team fassten erstmals einzelne operative und konservative Therapiemaßnahmen, die eine in Studien erwiesene Reduktion der perioperativen Stressantwort des Organismus einte, zum so genannten „fast-track“ Behandlungsplan zusammen^{48,49}. Der Gedanke dahinter ist bestechend einfach: Gelingt es die durch ein operatives Trauma auftretende neuronale, metabolische, hormonelle und molekularbiologische Stressantwort des Organismus durch Optimierung der prä-, peri- und postoperativen Abläufe (s. Tabelle 3) so weit wie möglich zu reduzieren, ist eine raschere Erholung möglich und das Risiko für allgemeine Komplikationen sinkt.

Tabelle 3 Liste der prä- und operativen Maßnahmen im Zuge einer "fast-track" HTEP-Behandlung⁵⁰

Präoperative Charakteristika von „fast-track“-HTEP Implantation
<ul style="list-style-type: none"> • Informationen zur Aufenthaltsdauer • Multidisziplinäre prä-operative Patientenaufklärung • Püfung der sozioökonomischen Umstände des Patienten • Reduktion von Alkohol- und Zigarettenkonsum • Bewusstsein bezüglich den speziellen Bedürfnissen von Patienten mit Neigung zur „Schmerz-Katastrophisierung“, Patienten mit psychischen Erkrankungen und Patienten mit Schmerzmittelabhängigkeit • Optimierung des Ernährungszustandes von Unterernährten und Gewichtsverlust bei übergewichtigen Patienten • Behandlung einer prä-operativen Anämie • Optimierung der Diabetes mellitus Therapie, v.a. Typ I Diabetes mellitus • Bewusstsein des Einflusses von psychischen Erkrankungen auf den optimalen Behandlungserfolg und die Patientencompliance
Perioperative Charakteristika von „fast-track“-HTEP Implantation
<ul style="list-style-type: none"> • Wohlüberlegte Zulassung zu beidseitiger simultaner THA • Eine Epiduralanästhesie ist der Allgemeinanästhesie im Rahmen eines „fast-track“ Eingriffs möglicherweise nicht überlegen • Lokalanästhetische Schmerzbehandlung von Wunden könnte der peripheren Blockade von Nerven hinsichtlich der Schmerzreduktion und der Sturzneigung während der Frühmobilisation überlegen sein • Die orale Schmerzmedikation sollte eine Kombination aus NSAID, Paracetamol und niedrigpotenten Opioiden b.B. sein • Fakultativ: einmalige orale Gabe von 125mg Methylprednisolon um Entzündungsreaktion im Zuge der perioperativen Stressreaktion zu minimieren • Mobilisation am Tage der THA ist vorgeschrieben • Thromboseprophylaxe bis zum Tag der Entlassung ist ausreichend bei Patienten ohne erhöhtes Thromboserisiko • Nur schwere Fälle von post-operativer Anämie sollten behandelt werden und nur bei Patienten ohne schwere Komorbiditäten • Intermettierende Katheterisierung sollte anstelle von dauerhafter Katheterisierung erfolgen • Ein Ablauf im Sinne eines „fast-track“ Eingriffs kann postoperative Übelkeit, Delir und kognitive Dysfunktion reduzieren • Klar definierte Entlasskriterien sind unerlässlich • Physiotherapie nach Entlassung ist nicht für alle Patienten indiziert

Vorteile der rascheren Erholung sind nicht nur die frühere Entlassung aus dem Krankenhaus, die gesteigerte Patientenzufriedenheit und die niedrigere Komplikationsrate, sondern auch die Schaffung einer bestmöglichen Ausgangssituation für die Rehabilitation. Die Umsetzung des „fast-track“ Konzepts im Bereich der orthopädischen Versorgung verlief bisher eher schleppend⁵⁰. Als Gründe

hierfür werden unter anderem die Heterogenität der Krankenhausumgebung, der Personalmangel, das Festhalten an traditionellen Anästhesiemethoden, unzureichende postoperative Mobilisation, lückenhafte präoperative Patientenaufklärung und das Fehlen von klaren Entlasskriterien genannt⁵⁰. Langsam wandelt sich die Lage jedoch und „fast-track“-Programme halten zunehmend Einzug in die Endoprothetik in Deutschland⁵¹. Barbieri *et al.* erkannten bereits 2009 in einer Metanalyse von 22 Studien, dass strukturierte Behandlungspfade, wie sie in „fast-track“ oder „Enhanced Recovery“-Programmen zum Einsatz kommen, die stationäre Komplikationsrate signifikant verringern und die Verweildauer verkürzen⁵². Die Auswertung eines 1-Jahres-Follow-up von „fast-track“ Hüft- und Kniegelenkspatienten in Norwegen, zeigte ebenfalls, dass das Behandlungskonzept mit einer hohen Patientenzufriedenheit und einer niedrigen Komplikations- und Revisionsrate assoziiert war⁵³.

Physiotherapie, essentieller Bestandteil der klassischen Versorgung von HTEP-Patienten, wird im Rahmen des „fast-track“-Konzepts hingegen kontrovers diskutiert. Es mangelt noch an Evidenz, dass alle HTEP-Patienten gleichermaßen und ohne Ausnahme von Physiotherapiemaßnahmen profitieren⁵⁰. So kamen Larsen *et al.* beispielweise zu dem Ergebnis, dass „fast-track“-HTEP, die nach der Entlassung keine Physiotherapie erhielten, sondern eigenständig Übungen zu Hause durchführten, 12 Monate nach Eingriff einen ähnlichen oder sogar höheren Harris Hip Score (Maß für Funktionalität und Symptomatik bei Coxarthrose) angaben als der gematchte Populationsdurchschnitt⁵⁴.

Ungeachtet der Unterschiede zwischen klassischem und „fast-track“ Behandlungsplan, verfolgen beide Therapiestrategien ein ähnliches Ergebnis: Die Linderung von arthrosebedingten Gelenkschmerzen, die Wiederherstellung der physiologischen Funktionalität und so insgesamt eine Verbesserung der Lebensqualität des Patienten.

Das Ziel der „physiologischen Funktionalität“ ist ein mehrdimensionales Konzept, das mehrere Aspekte der Gesundheit beinhaltet. Basierend auf der *International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)* der WHO zählen dazu:

- (1) der Status der Körperfunktionen und –strukturen,
- (2) die Fähigkeit, bestimmte Aktivitäten durchzuführen und
- (3) die Partizipation (Teilhabe) am gesellschaftlichen Leben⁵⁵.

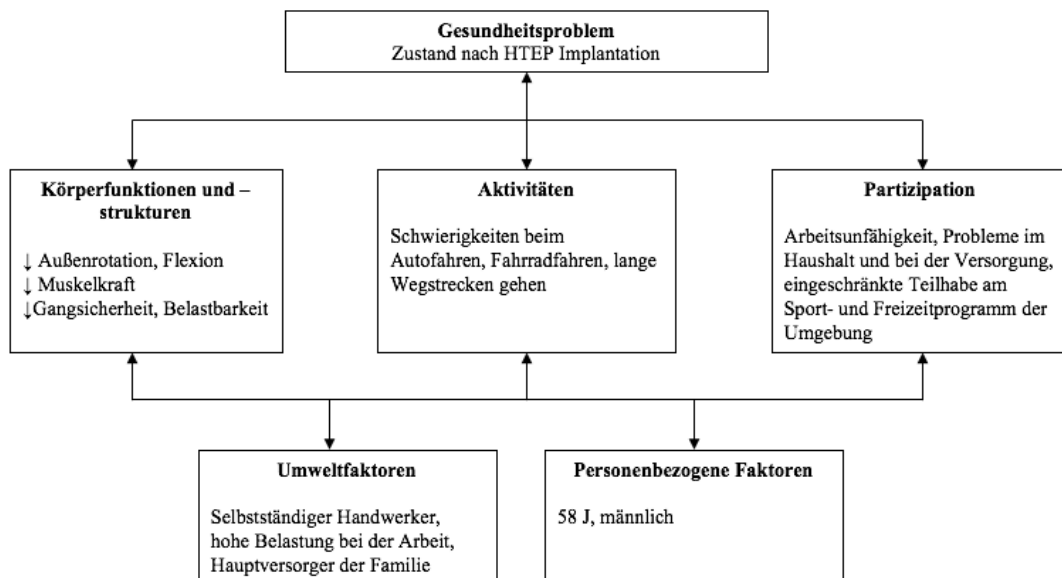


Abbildung 4 Illustration des „Modells der Funktionsfähigkeit“ der ICF⁵⁵ am Beispiel eines H-TEP Patienten (adaptiert nach: World Health Organization, internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit. © Deutschen Institut für Medizinische Dokumentation und Information, DIMDI)

Wie in der Grafik (Abb. 4) illustriert, definiert nicht nur die „Besserung der arthrosebedingt eingeschränkten Körperfunktion“, sondern auch das Level an Aktivität und die Partizipation am alltäglichen Leben nach der OP den Erfolg eines Gelenkersatzes. Somit steht bei einem Aufklärungsgespräch zum Thema Endoprothetik, neben den Sorgen der Patienten bezüglich der Risiken eines solchen Eingriffs, stets auch die Frage nach der Zeitspanne bis zur Rückkehr in den Alltag im Raum. Ein wesentlicher Faktor des alltäglichen Lebens und der gesellschaftlichen Teilhabe ist: die Mobilität.

1.7. Fahrtüchtigkeit nach Gelenkersatz – Relevanz des Themas

Die Möglichkeit zur aktiven Teilnahme am Straßenverkehr stellt ein entscheidendes Mittel der Unabhängigkeit dar. Dazu zählen sowohl die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel als auch des privaten PKW. Vor allem für ältere Patienten, Patienten, die im Zuge ihres Berufs fahren müssen (Pendler, LKW-/Bus-Fahrer, Handwerker) sowie Patienten, die in ländlichen Gebieten wohnen, ist die Bedeutung des eigenen PKWs offensichtlich. Es verwundert daher nicht, dass die Frage „Wann kann ich

wieder Autofahren?“ im Zuge der Aufklärungsgespräche vor totalendoprothetischem Ersatz des Hüftgelenks zu den am häufigsten gestellten zählt. Der Einfluss der Mobilität auf die generelle Lebensqualität ist nicht zu unterschätzen: Schlaganfallpatienten, die während der Rehabilitation in ihrem Fahren eingeschränkt waren, entwickelten Symptome einer Depression⁵⁶ und wiesen höhere Niveaus von Ärger und Frust wegen der erzwungenen Veränderungen in der Organisation von Alltag, Freizeit und Beruf auf⁵⁷. Stergiou-Kita *et al.* identifizierten in ihrer Studie zur erfolgreichen Wiedereingliederung von Endoprothetik-Patienten in die Gemeinschaft neben der Patientenschulung, der Unterstützung durch Angehörige und medizinisches Fachpersonal vor allem das Autofahren und andere Beförderungsmöglichkeiten als so genannte *facilitators to community reintegration*⁵⁸. Auch Moon *et al.* beschreiben Mobilität als Grundvoraussetzung eines selbstbestimmten Lebens und sehen darin einen Schutz vor sozialer Isolation⁵⁹. Im Falle der HTEP-Patienten steht dem Wunsch, zeitnah wieder aktiv am Leben teilzuhaben, vor allem die Unsicherheit bezüglich der Belastbarkeit der neuen Prothese gegenüber und die Frage, inwieweit ein sicheres Fahrverhalten durch die Prothese eingeschränkt sein könnte.

1.8. Wissenschaftlicher Hintergrund

Obwohl die Entscheidung zu der Rückkehr in den Straßenverkehr nach orthopädischen Eingriffen rechtlich und sicherheitstechnisch eine höchst gewichtige, da potentiell folgenschwere Fragestellung ist, gibt es keine nationalen oder internationalen Leitlinien⁶⁰⁻⁶³. Somit sind sowohl der behandelnde Arzt als auch der Patient mit der Entscheidung alleingelassen, ab wann die Sicherheit des Patienten und der anderen Verkehrsteilnehmer wieder gewährleistet werden kann. Laut einer Studie von Chen *et al.* zum Fahrverhalten nach muskuloskeletalen Verletzungen, kehrte über ein Drittel der Befragten ohne vorherige Rücksprache mit ihrem Orthopäden ans Steuer zurück, wobei 35 % der Patienten zu diesem Zeitpunkt noch unter Schmerzmedikation standen. Auf der anderen Seite gaben über zwei Drittel der Ärzte an, sich ihren Patienten gegenüber unsicher bezüglich einer Empfehlung zur Wiederaufnahme des Fahrens zu fühlen, 44 % davon beispielsweise wegen potentieller Haftbarkeit im Falle eines Verunfallens des Patienten⁶⁴.

Um die Fahrtüchtigkeit eines Patienten nach einem orthopädischen Eingriff beurteilen zu können, muss der Arzt die Faktoren beachten, die die Fahreignung definieren und wissen, inwieweit sie im speziellen Fall einer HTEP beeinträchtigt werden können. Es

stellen sich Fragen wie: Kann der Patient die benötigten Gelenke frei bewegen, um schnell und sicher zwischen den Pedalen zu wechseln? Unter welcher Medikation steht der Patient und hat diese potentielle Auswirkung auf seine Konzentrationsfähigkeit, Sicht oder Reaktionszeit? Wie ist der Allgemeinzustand des Patienten? Gibt es Komorbiditäten, die die Fahrtüchtigkeit eventuell einschränken? Solche Fragen bezüglich der Fahrtauglichkeit und damit nach der Mobilität und Versorgungssicherheit des Operierten stellen sich in der Nachbehandlung jedes Patienten in der Orthopädie und Unfallchirurgie. Im Falle des endoprothetischen Ersatzes des Hüftgelenks ergeben sich jedoch aufgrund der Art des Eingriffs und des Rehabilitationsprozesses einige Besonderheiten bezogen auf die Fahrtüchtigkeit. Je nach gewähltem operativen Zugang werden Patienten angehalten die kombinierte Adduktion und Außenrotation (bei anteriorem und lateralen Zugang) sowie die Flexion und Innenrotation (bei hinteren bzw. südlichen Zugang) zu vermeiden, um das Risiko einer Luxation zu minimieren. Zusätzlich soll unabhängig von der Art der Verankerung in den ersten sechs Woche nach Implantation die Flexion auf 90 Grad beschränkt werden, um der Gelenkkapsel ausreichend Zeit zur Heilung einzuräumen⁴². *Batra et al.* stellten in ihrer Studie jedoch klar, dass beim Autofahren die Flexion der Hüfte durchschnittlich nur bei 71° (66° - 76°) liegt⁶⁵ und unter Zuhilfenahme eines Keilkissens könnten weiterhin bestehende Bedenken relativ unkompliziert ausgeräumt werden. Spätestens dann stellt der Patient, wie bei anderen operativen Eingriffen auch, die Frage: „Herr/Frau Doktor, darf ich wieder Auto fahren?“.

Als sinnvoller, objektiv messbarer Parameter der Fahrtauglichkeit hat sich im Laufe der letzten 30 Jahren Forschung die Bremsfähigkeit etabliert. Die Fähigkeit, im Notfall eine Vollbremsung möglichst schnell durchführen zu können, ist essentiell für ein sicheres Fahren. Ziel ist es, den Anhalteweg möglichst gering zu halten und so eine Kollision zu verhindern. Insgesamt 13 pro- und retrospektive Studien haben sich seither mit der Rückkehr in den Straßenverkehr nach totalendoprothetischem Ersatz des Hüftgelenks befasst. Fünf davon nutzen einen Fragebogen⁶⁵⁻⁶⁸, eine ein Folge-Telefonat⁶⁹ zur Datenerhebung, sechs definierten die Entwicklung der Bremsreaktionszeit (BRT) als Primärvariable⁷⁰⁻⁷⁵ und zwei Studien betrachteten zusätzlich zur BRT die Bremskraft (BPF)^{76,77}. Beinahe alle acht prospektiven Studien, die selbst Daten bezüglich BRT und BPF erhoben, nutzen dafür jeweils ähnliche Fahrsimulator-Modelle mit Gas- und Bremspedal und einem zufälligen Stimulus als Signal zur Vollbremsung.

Wie bereits eingangs erwähnt, wurden aus den einzelnen Studien bisher keine allgemeingültigen Guidelines erarbeitet, die Ärzte in ihrer Entscheidungsfindung unterstützen würden. Konsultiert man auf der Suche nach Empfehlungen die medizinische Literatur zur Bremsfähigkeit der Patienten nach totalendoprothetischem Hüftgelenkersatz, so variieren die Empfehlungen bezüglich des sicheren Wiedereinstiegs in den Straßenverkehr je nach operierter Seite. Da die Mehrheit der Menschen mit rechts das Gas- und Bremspedal bedient und ein Automatik-Getriebe, vor allem in Amerika aber auch zusehends in Europa, zur Standardausstattung zählt, haben sich die Evaluierungen der Fahrtüchtigkeit größtenteils auf rechtsseitige Pathologien konzentriert.

Betrachtet man die Ergebnisse der Studien nach Implantation einer HTEP am rechten Bein, so divergieren die Empfehlungen zwischen zwei Tagen bis einer Woche^{34,65,74}, zwei bis acht Wochen^{69,71–73,75–77} und teilweise sogar noch längeren Zeiträumen^{66,68,70}. Für Endoprothesen der linken Hüfte wird häufig eine Empfehlung in der Größenordnung von etwa einer Woche angegeben^{71,76}.

1.9. Ziel dieser Studie

Die Schwierigkeit bei der Beantwortung der Frage, ab wann ein Patient nach der Implantation einer Totalendoprothese wieder Auto fahren kann, liegt in der Individualität jeden Falles: Faktoren wie Patientenalter, Vorerkrankungen und Operationstechnik spielen ebenso eine Rolle wie die individuelle Geschwindigkeit der postoperativen Rehabilitation. Da der Einfluss dieser Faktoren im Moment der Empfehlungsformulierung jedoch schwierig zu erfassen ist, kommt objektiv messbaren Faktoren der Fahrtüchtigkeit wie der BPF und der BRT eine besondere Bedeutung zu. Studien, die zum Thema der BPF nach HTEP durchgeführt wurden, beschränkten sich allerdings auf die Untersuchung der Bremskraft nach Eingriffen über traditionelle Zugänge. Tatsächlich existieren bisher keine Untersuchungen zur Bremskraft nach minimalinvasivem anterolateralen Zugang. Hinzu kommt, dass eine der beiden Studien bereits über 30 Jahre zurückliegt. Seitdem sind die Prothesenentwicklung, die Operationstechniken, die peri- und postoperativen Bedingungen und die Rehabilitationsoptionen weit vorangeschritten und es stellt sich die Frage, als wie aktuell diese Aussagen bezüglich Rückkehr in den Straßenverkehr angesehen werden können.

Auch die Mehrheit der Studien zur BRT nach totalendoprothetischem Hüftgelenkersatz konzentriert sich auf Patienten, die mittels klassischem Zugangsweg versorgt wurden^{66,71,76,77}. Aufgrund steigender Inzidenz der HTEP und einer wachsenden Beliebtheit minimalinvasiver Zugänge besteht hier dringender Forschungsbedarf.

Daher ist das Ziel dieser prospektiven Studie, die Bremsfähigkeit von Patienten vor und nach rechtsseitiger HTEP-Implantation über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugang anhand der BPF und BRT zu untersuchen. Darauf aufbauend soll festgestellt werden, ab wann eine Fahrtauglichkeit ohne erhöhtes, operationsbedingtes Risiko wieder gegeben erscheint.

2. Material & Methoden

2.1. Ethikantrag

Vor Beginn der Datenerhebung wurde am 20.06.2017 ein Ethikantrag der zuständigen Ethikkommission der Charité Universitätsmedizin Berlin zur Begutachtung vorgelegt. Diese äußerte nach Begutachtung des Antrags keine Bedenken gegen die Erhebung der Daten und anschließende Veröffentlichung der Ergebnisse. Der Antrag ist gelistet unter der Antragsnummer EA1/083/17. Die Satzung der Charité Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis vom 20.06.2012 (AMB, Charité Nr. 092, S. 658) in der Fassung vom 02.05.2016 sowie die gesetzlichen Bestimmungen zum Datenschutz wurden beim Erstellen dieser Arbeit beachtet.

2.2. Patientenkollektiv und Datenerhebung

Für diese prospektive Studie wurden ein Patientenkollektiv aus 30 Patienten mit rechtsseitiger Coxarthrose und nachfolgendem totalendoprothetischen Ersatz des rechten Hüftgelenks hinsichtlich ihrer prä- und postoperativen Bremskraft und Bremsreaktionszeit mit Hilfe eines Bremssimulators untersucht. Es wurden konsekutiv alle Patienten, die im Zeitraum von März 2018 bis April 2019 am Centrum für muskuloskeletale Chirurgie der Charité Universitätsmedizin Berlin, Standort Campus Mitte einen totalendoprothetischen Ersatz des rechten Hüftgelenks über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugangsweg erhielten, vor dem Eingriff auf ihre Eignung zur Teilnahme an der Bremsstudie untersucht. Insgesamt willigten 30, den Einschlusskriterien entsprechende, Patienten in die Teilnahme ein. 5 entschieden sich jedoch ohne Angabe von Gründen im Verlauf gegen die Fortsetzung der Studie und wurden aus dem Kollektiv ausgeschlossen, so dass letztendlich 25 Patienten, davon 15 Männer und 10 Frauen für die Auswertung zur Verfügung standen.

2.2.1. Ein- und Ausschlusskriterien

Als Versuchsteilnehmer wurden nur Patienten eingeschlossen, die den definierten Einschlusskriterien entsprachen. Auf Eignung zur Teilnahme an dieser Studie wurden alle Patienten des Centrums für muskuloskeletale Chirurgie überprüft, die in dem oben genannten Zeitraum aufgrund der Diagnose einer primären oder sekundären Coxarthrose einen minimalinvasiven totalendoprothetischen Ersatz des rechten Hüftgelenks über einen anterolateralen Zugang in der Orthopädie Charité Mitte erhielten. Sie mussten einwilligungsfähig, zwischen 18 und 85 Jahren alt und im Besitz eines gültigen Führerscheins der Klasse B sein. Des Weiteren mussten die Patienten

mindestens zwei Jahre Fahrerfahrung vorwiesen und zum Zeitpunkt der Aufnahme mindestens einmal im Monat Auto fahren. Ausschlusskriterien waren eine fehlende Fahrerlaubnis, jegliche neurologischen Erkrankungen mit Beeinträchtigung der Fahrtüchtigkeit, Grunderkrankungen, die mit Alterationen des muskuloskeletalen Systems einhergingen (wie beispielsweise chronische Polyarthrit), Schmerzen beziehungsweise Bewegungseinschränkungen im Bereich der unteren Extremitäten oder Wirbelsäule und sprachliche Barrieren.

2.2.2. Erfassung von Patientendaten

Am Tag der Aufnahme wurden Patienten, die Interesse an der Studienteilnahme zeigten, in einem persönlichen Gespräch mündlich und schriftlich detailliert über den Ablauf und mögliche Risiken der Studie, ihr Recht auf Abbruch der Teilnahme und die Verwendung ihrer Daten informiert. Willigten die Patienten in die Teilnahme ein, unterschrieben sie anschließend eine Einverständniserklärung und gaben ihr Einverständnis zur Erhebung und anonymisierten Verwendung ihrer Daten im Rahmen der Studie. Nachfolgend wurden die folgenden allgemeinen Daten aus Arztbriefen, Operationsberichten und Anamnese mit Hilfe einer Case Report Form (CRF, s. Abb. 1 Anhang) dokumentiert und teilweise im Laufe der Studie ergänzt:

- 1) Patientendaten: hausinterne Fallnummer, Name, Geschlecht, Geburtsdatum, Größe, Gewicht
- 2) Anamnese: Anzahl und Art etwaiger orthopädischer Vorerkrankungen, Beeinträchtigung im Alltag, Schmerz (anhand der numerischen Analogskala NAS)
- 3) Ergebnisse der präoperativen Untersuchung: Bewegungsausmaß der unteren Extremitäten, Beinlängendifferenz, Trochanter-/Fersenklopfschmerz, Motorik, Sensibilität, Durchblutung, Arthrosegrad nach Kellgren & Lawrence
- 4) Daten zu Operation und postoperativem Verlauf: Operateur, Zugangsweg, verwendete Implantate, Start der AHB, Medikation, Verwendung von Unterarmgehstützen (UAG)
- 5) Fahrverhalten: Fahrzeugart (Automatik, Manuell), Fahrhäufigkeit und Verkehrsumgebung (Stadtverkehr, Überlandverkehr, Autobahn), Selbsteinschätzung bezüglich Fahrtüchtigkeit

Die Daten wurden aus den Programmen SAP (SAP ERP 6.0, SAP SE, Walldorf, Germany) und Centricity (Centricity, GE Health Care) exportiert, in einem Microsoft-

Excel-Dokument (Microsoft Office Excel, Version 2010) gelistet und für die Weiterverarbeitung durch die Verwendung von laufenden Nummern anonymisiert.

2.3. Messung der Bremskraft und Bremsreaktionszeit mittels Bremssimulator

Die Untersuchung der 30 Patienten der Studie erfolgte an fünf Zeitpunkten: Am Tag der stationären Aufnahme, sechs Tage postoperativ, sowie zwei, vier und sechs Wochen postoperativ.

Die Bremsparameter wurden mit Hilfe eines TÜV-geprüften PKW-Simulators (Abb. 5) untersucht. Dieser wurde basierend auf Modellvorlagen aus bereits veröffentlichten Studien^{71,74,78–81} zum Bremsverhalten nach orthopädischen Eingriffen vom Automobilservice Fröde entwickelt. Die Messsohle (Abb. 6), sowie die Sensor- und Empfängermodule wurden ebenso wie die Software „Pedal Force Measurement“ von der Firma FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH aus Dresden entwickelt und mit dem Bremssimulator kombiniert.



Abbildung 5 TÜV-zertifizierter Bremssimulator mit verstellbarem Autositz, Messrechner, Signalleuchte und Pedalen

Der Bremssimulator war in seinen Abmessungen mit einem Kleinwagen vergleichbar, besaß einen verstellbaren Fahrersitz, ein Bremspedal und einen nachträglich als Gaspedalersatz angebrachten Holzblock.

Auf Augenhöhe der Patienten war eine Signalleuchte platziert, die als optisches Kommando zur Vollbremsung diente. Die 30 Patienten erhielten stets die gleichen Anweisungen zur Funktionsweise des interaktiven Bremssimulators. Nach manueller

Betätigung der „Start“-Oberfläche des Messprogramms durch den Versuchsleiter löste das Programm automatisch das zeitlich zufällig platzierte Lichtsignal aus. In diesem Moment wechselte die Testperson so schnell wie möglich mit dem rechten Fuß vom Gas- zum Bremspedal und führte eine Vollbremsung durch. Um die dabei aufgebrachte Kraft auf das Pedal zu messen, trugen die Probanden am rechten Fuß eine Messsohle mit einem hydraulischen Drucksensor (Abb. 6). Bei einem hydraulischen Sensor baut die auf das äußere Gehäuse wirkende Kraft im Inneren des Messmoduls einen Systemdruck auf. Dieser wird mittels Drucksensor erfasst und in eine Kraft umgerechnet⁸².



Abbildung 6 Messsohle zur Ermittlung der BPF

Die Übertragung der Daten von der Messsohle an den Laptop und das elektronische Messprogramm geschah über ein Sendemodul im Pedalkraftsensor und ein Empfängermodul (Firma Zigpos), welches via USB mit dem Messrechner verbunden war.

Während jeder Messung, erfasste der Drucksensor alle 5 Millisekunden die Werte, die zur Berechnung der BPF, der BRT und der Neuronalen Reaktionszeit (NRT) benötigt wurden. Jeder Proband durfte sich im Zuge des ersten Messtermins durch drei „Testmessungen“ mit dem Versuchsaufbau vertraut machen bevor mindestens drei eigentliche Messungen durchgeführt wurden. Die Auswertung der Daten erfolgte nachträglich anhand der, automatisch in Excel generierten, Fahrkurve (Abb. 7). In jeder einzelnen Messung wurden die Bremsreaktionszeit (BRT), die neuronale Reaktionszeit (NRT) und die maximale Bremskraft (BPF) ermittelt. Die BRT definierte dabei den Zeitraum vom optischen Signal bis zur Bremspedaltretung (grüne Linie). Die

NRT war definiert als die Zeitspanne vom Signal bis zum Zeitpunkt des Abhebens des Fußes vom Gaspedal (gelbe Linie), sichtbar in Form der Bewegungskurve (hellblaue Linie in Abb. 7). Abschließend wurde jeweils die minimale und maximale BPF (dunkelblaue Linie in Abb. 7) der Messungen notiert, die mittlere BPF und die mittlere BRT aller als gültig gewerteten Durchläufe und die Standardabweichungen (SD) dieser Mittelwerte ausgerechnet.

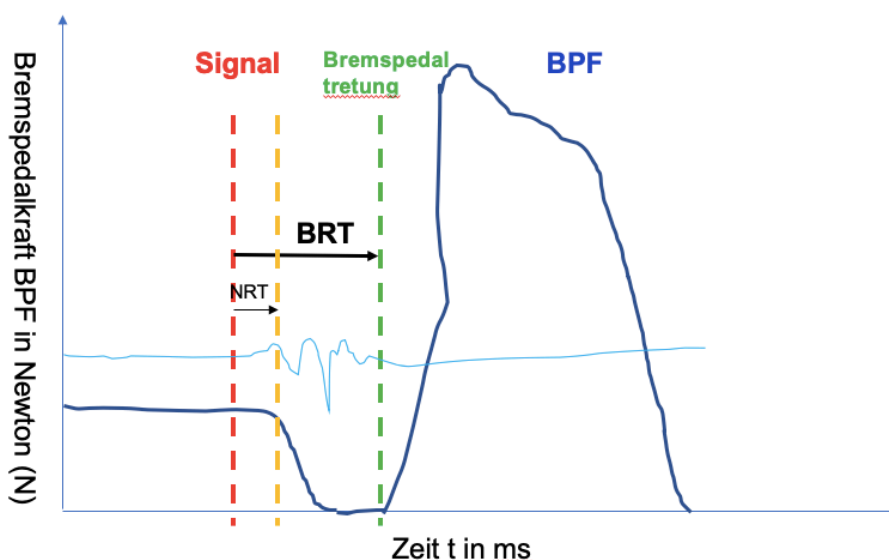


Abbildung 7 Beispielhafte Darstellung der, aus den Messdaten ermittelten, Fahrtkurve in Excel (dunkelblaue Linie = Bremskraft BPF in Newton, hellblaue Linie = Bewegungskurve; rote Linie = Zeitpunkt des Aufleuchtens der Signalleuchte; gelbe Linie = Zeitpunkt des Verlassens des Gaspedals/ Beginn der Bremsreaktion; grüne Linie = Zeitpunkt der Tretung des Bremspedals, BRT = Bremsreaktionszeit in ms, NRT = neuronale Reaktionszeit in ms))

2.4. Statistische Analyse

Alle statistischen Berechnungen dieser Arbeit wurden mit Hilfe der Software „IBM SPSS Statistics Version 25“ durchgeführt. Basierend auf den in der Literatur angegebenen Normwerten für die durchschnittliche BPF^{77,83–86}, erfolgte eine Beratung bezüglich der Patientenzahl und hinsichtlich geeigneter Testverfahren durch einen Mitarbeiter des „Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie“ der Charité Universitätsmedizin Berlin.

Auf Grundlage der Studie von Thumm mit über 1000 Messungen⁸⁷, konnte eine Normalverteilung der Parameter BPF, BRT und der Differenzen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten angenommen werden.

Es erfolgte eine deskriptive Analyse der Studienpopulation hinsichtlich Alter, Body Mass Index (BMI), Geschlecht, Fahrverhalten und der Bremsparameter BPF und BRT. Dabei wurden die metrischen Variablen mittels des Mittelwerts und der

Standardabweichung sowie Minimum und Maximum und die kategorialen Variablen mit absoluten und relativen Häufigkeiten dargestellt.

Die Parameter Alter, BMI, verwendete Implantatgröße, mittlere präoperative BPF und mittlere präoperative BRT wurden hinsichtlich signifikanter Unterschiede zwischen den Geschlechtern mittels eines t-Tests für unverbundene Stichproben untersucht, nachdem eine Überprüfung der Varianzgleichheit mittels des Levene-Tests durchgeführt worden war. Die Prüfung auf Normalverteilung der Parameter Alter, BMI und Implantatgröße wurde mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov und dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Ab einem p-Wert über 0,05 in beiden Tests wurde eine Normalverteilung angenommen.

Als nächstes erfolgte die Analyse der gemessenen Bremswerte der Studienpopulation: Bei der Beantwortung der Frage, ob ein Patient seine/ihre präoperative Bremsfähigkeit wiedererlangt hatte, wurde bei der BPF eine Differenz von -50 N akzeptiert bei einer in der in der Literatur angegebenen Standardabweichung von 70,96 N⁸³ und eine Verlängerung der BRT um 100 ms bei gemessenen Standardabweichungen von 180 – 253 ms in einer vergleichbaren Studie⁷⁵. Wie ersichtlich, wurde im Vergleich zur Literatur ein eher konservativer Toleranzbereich gewählt.

Nach Betrachtung des individuellen Verlaufs erfolgte die Einordnung die Ergebnisse der Patienten in den Kontext der Verkehrssicherheit: In Ermangelung gesetzlich vorgeschriebener Normwerte wurden eine **Mindestbremskraft von 200 N** und eine **Reaktionszeit von maximal 1000 ms** aus den Empfehlungen des Deutschen Verkehrs Gerichtstag (DVG) und den oben genannten Quellen^{72,77,78,85,86,88–91} als cut-off Werte verwendet.

Zur Beantwortung der Frage, ob zum jeweiligen Messzeitpunkt noch ein Defizit in der Fahreignung im Vergleich zur präoperativen Situation besteht, erfolgte zunächst ein Test auf Nichtunterlegenheit, gefolgt von einem Test auf Unterschiedlichkeit mittels dem t-Test für verbundene Stichproben.

Folgende Hypothesen wurden formuliert:

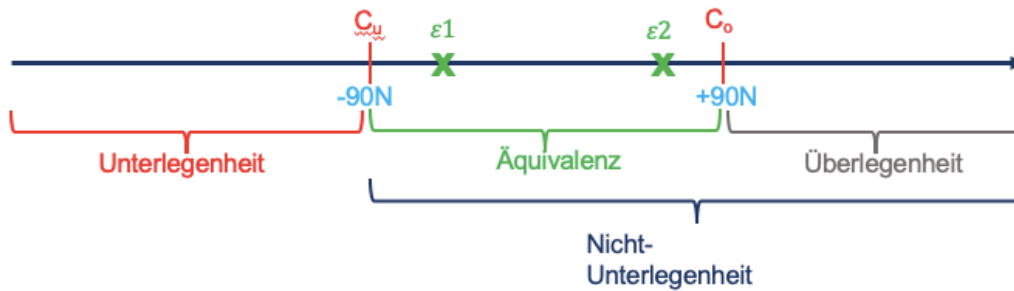
1. Test auf Nichtunterlegenheit

- ⇒ **Hypothese H0:** Zum Zeitpunkt der jeweiligen Messung ($M_{6T.}$, $M_{2Wo.}$, $M_{4Wo.}$, $M_{6Wo.}$) sind die Werte für BPF und BRT den präoperativen Werten **unterlegen**.
- ⇒ **Alternativhypothese H1:** Zum Zeitpunkt der jeweiligen Messung ($M_{6T.}$, $M_{2Wo.}$, $M_{4Wo.}$, $M_{6Wo.}$) sind die Werte für BPF und BRT den präoperativen Werten **nicht unterlegen**.

2. t-Test für verbundene Stichproben

- ⇒ **Hypothese H0:** Zum Zeitpunkt der jeweiligen Messung ($M_{6T.}$, $M_{2Wo.}$, $M_{4Wo.}$, $M_{6Wo.}$) besteht **kein signifikanter Unterschied** der Werte BPF und BRT zum präoperativen Wert.
- ⇒ **Alternativhypothese H1:** Zum Zeitpunkt der jeweiligen Messung ($M_{6T.}$, $M_{2Wo.}$, $M_{4Wo.}$, $M_{6Wo.}$) besteht **ein signifikanter Unterschied** der Werte BPF und BRT zum präoperativen Wert.

Der Test auf Nicht-Unterlegenheit diente dazu, einen klinisch relevanten Unterschied der postoperativen BPF und BRT zum Ausgangswert zu determinieren. Die dafür definierte untere Nichtunterlegenheitsgrenze (C_u , vgl. Abb. 8) für die BPF von -90 N, ergab sich aus der Annahme, dass bei einer durchschnittlichen BPF von 290 N⁸³ und einem Defizit von 90 N, eine Kraft von 200 N resultieren würde. Diese Kraft würde ausreichen, um moderne Bremssysteme adäquat zu betätigen^{77,85-88}. Als obere Nichtunterlegenheitsgrenze der BRT (C_o) wurde eine Verlängerung um 200 ms angesetzt. Bei einer in der Literatur postulierten durchschnittlichen Reaktionszeit von 700 ms⁹⁰, lägen die Werte damit selbst bei einer Verlängerung um 200 ms, mit 900 ms unterhalb der für ein sicheres Fahren angegebenen 1000 ms^{72,90,91}.



C_u = untere Nichtunterlegenheitsgrenze
 C_o = obere Nichtunterlegenheitsgrenze
 ε_1 = untere Äquivalenzgrenze
 ε_2 = obere Äquivalenzgrenze

Abbildung 8 Illustration der Nichtunterlegenheitsgrenze von -90 N der BPF

Zur Überprüfung der Nichtunterlegenheit wurden mit Hilfe 1) der Differenz der Mittelwerte präoperativ zum jeweiligen postoperativen Messzeitpunkt (z. B. Differenz = Bremskraft_{M1} – Bremskraft_{M4}), 2) der zugehörigen Standardabweichung, 3) der Probandenanzahl und 4) des Z-Werts (= 1,96), die 95%-Konfidenzintervalle (ε_1 und ε_2) für alle vier postoperativen Messzeitpunkte berechnet.

Aufgrund der Gleichwertigkeit einer Testentscheidung, basierend auf den p-Werten eines t-Test auf Nichtunterlegenheit oder basierend auf der Lage der Konfidenzintervalle, wurden für die Testentscheidung, aufgrund der besseren Interpretierbarkeit die 95%-Konfidenzintervalle herangezogen: Sofern die untere Konfidenzintervallgrenze über der unteren Nichtunterlegenheitsgrenze (BPF) bzw. die obere 95%-Konfidenzintervallgrenze unterhalb der oberen Nichtunterlegenheitsgrenze (BRT) liegt, kann auf Nichtunterlegenheit geschlossen werden.

Alle weiteren Tests, wie der t-Test für verbundene und unverbundene Stichproben, der Kolmogorov-Smirnov und der Shapiro-Wilk-Test, wurden zweiseitig angewandt und ein $p < 0,05$ als signifikant gewertet. Die Ergebnisse der Studie sind als explorativ aufzufassen.

3. Ergebnisse

3.1. Deskriptive Statistik

3.1.1. Demographische Daten des Patientenkollektivs

Wie bereits einleitend erwähnt, willigten 30 Patienten in die Teilnahme ein, jedoch entschieden sich fünf im Verlauf, ohne Angaben von Gründen, gegen die Fortsetzung der Studie und wurden aus dem Kollektiv ausgeschlossen. 2 Patienten widerriefen bereits vor der zweiten Messung ihre Teilnahme, 3 weitere erschienen nach ihrer Entlassung aus dem Krankenhaus nicht zu den verbleibenden drei Messungen. Letztendlich standen also 25 Patienten, davon 15 Männer (60 %) und 10 Frauen (40 %) für die Auswertung zur Verfügung. Das durchschnittliche Alter betrug $51,6 \pm 10,3$ Jahre, der durchschnittliche BMI bei Aufnahme lag bei $26,8 \pm 5,1 \text{ kg/m}^2$ (s. Tabelle 4).

Tabelle 4 Demographische Daten des Patientenkollektivs

		Alter in Jahren	BMI in kg/m^2
N (= Anzahl)	Gültig	25	25
	Fehlend	0	0
Mittelwert		51,6	26,8
SD (= Standardabweichung)		10,3	5,1
Minimum		34	20
Maximum		74	38

3.1.2. Fahrverhalten des Patientenkollektivs

Das Fahrverhalten wurde hinsichtlich des bevorzugten Fahrzeugtyps, der Fahrthäufigkeit und der Fahrumgebung untersucht, wobei 9 der 25 Patienten (36 %) ein Automatik-Getriebe fuhren und 16 (64 %) ein Schalt-Getriebe. Von den 25 Patienten gaben 11 (44 %) an, täglich zu fahren, 7 (28 %) zwei bis dreimal wöchentlich, 3 (12 %) fuhren zwei- bis dreimal im Monat und 4 (16 %) einmal monatlich (s. Tabelle 5). Alle Patienten fuhren vorwiegend im Stadtverkehr.

Tabelle 5 Fahrthäufigkeit und Fahrzeugart der Patienten

	Fahrthäufigkeit		Fahrzeugtyp		
	Häufigkeit	in Prozent %	Häufigkeit	in Prozent %	
täglich	11	44	Automatik	9	36
2-3 x pro Woche	7	28	Schaltung	16	64
2-3 x pro Monat	3	12			
1 x pro Monat	4	16			
Gesamt	25	100	Gesamt	25	100

3.1.3. Bremsparameter

Die Bremsparameter BPF und BRT sind graphisch in Abbildung 9 und 10 dargestellt. Die mittlere Bremskraft zu Beginn der Studie betrug $455,4 \pm 188,8$ N (Spannbreite: 185,7 N – 887,6 N). Frauen bremsten durchschnittlich mit $446,5 \pm 217,3$ N, Männer mit $461,3 \pm 175,1$ N. Am zweiten Messtermin, sechs Tage nach der Operation, zeigte sich mit $302,6 \pm 158,1$ N der schlechteste Wert der BPF, der über die gesamten sechs Wochen gemessen wurde. Die BPF nach zwei Wochen lag bei $357,5 \pm 152,6$ N und betrug nach vier Wochen durchschnittlich $435,9 \pm 181,5$ N. Der höchste Wert der Bremskraft wurde sechs Wochen nach dem Eingriff gemessen und lag bei $496,8 \pm 206,5$ N (Spannbreite: 149,5 N – 1021,4 N).

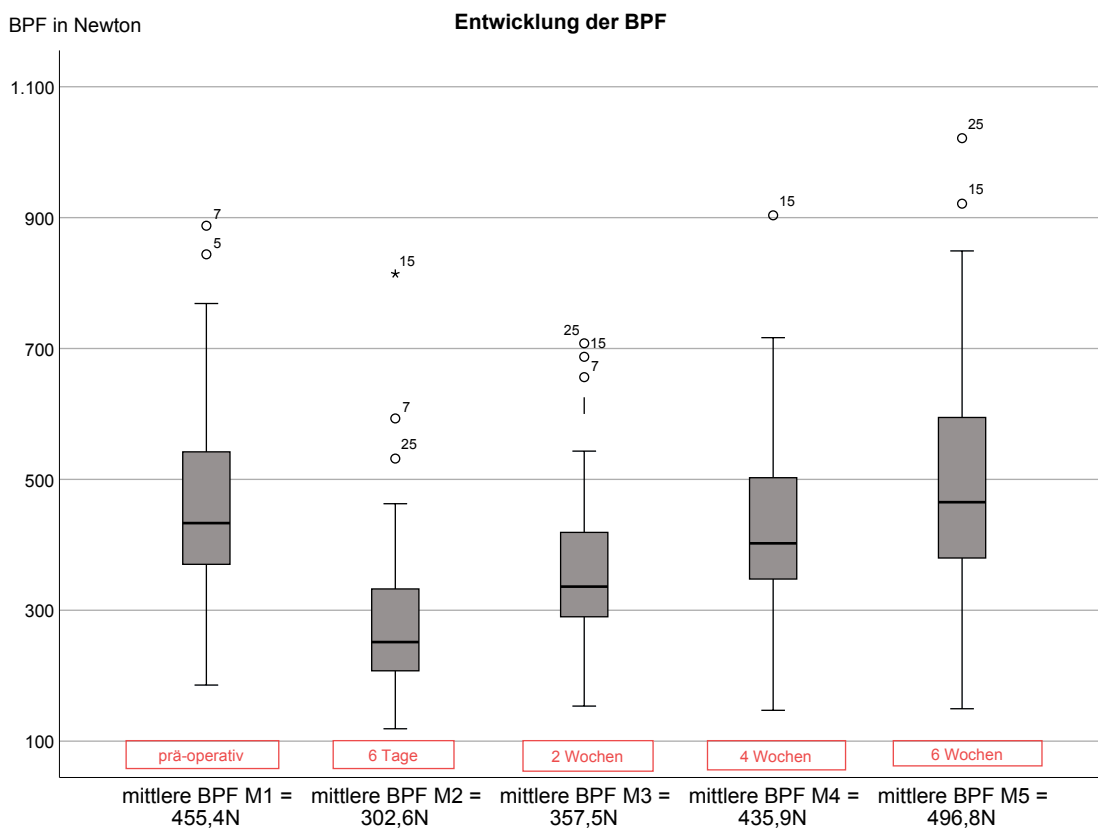


Abbildung 9 Box and Whisker Plot der durchschnittlichen BPF zu den jeweiligen Messterminen (M1 = prä-OP, M2 = 6T post-OP, M3 = 2 Wochen post-OP, M4 = 4 Wochen post-OP, M5 = 6 Wochen post-OP)

Die mittlere präoperative Bremsreaktionszeit betrug $671,3 \pm 126,0$ ms (Spannbreite: 510,0 ms – 982,6 ms). Ebenso wie bei der BPF wurde auch für die BRT nach 6 Tagen der schlechteste Wert gemessen: Er betrug $836,4 \pm 224,3$ ms. Nach zwei Wochen lag die BRT bei $735,0 \pm 190,7$ ms und nach vier Wochen bei $647,0 \pm 94,1$ ms. Auch im Falle der BRT wurde nach sechs Wochen mit $607,4 \pm 89,5$ ms der schnellste und damit beste Wert gemessen.

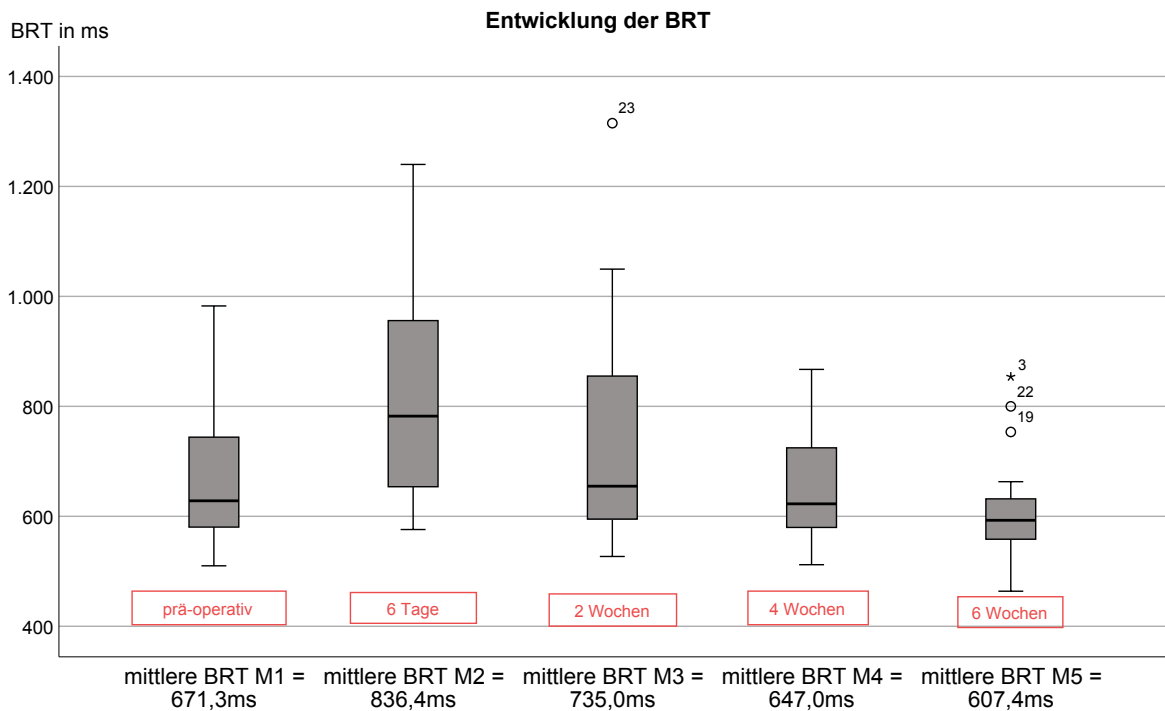


Abbildung 10 Box and Whisker Plot der durchschnittlichen BRT zu den jeweiligen Messterminen (M1 = prä-OP, M2 = 6T post-OP, M3 = 2 Wochen post-OP, M4 = 4 Wochen post-OP, M5 = 6 Wochen post-OP)

3.1.4. Fokus: Individuelle Entwicklung der BPF und BRT

Im Vergleich der Patienten mit ihren eigenen Werten, konnte der folgende Verlauf der BPF festgestellt werden: 7 der 25 Teilnehmer (28 %) hatten ihre präoperative BPF \pm 50 N bereits sechs Tage nach der Operation wieder erreicht oder sogar übertroffen. Bereits zwei Wochen nach der Operation gelang dies 13 von 24 Patienten insgesamt (54 %). 14 von 22 (64 %) hatten nach vier Wochen ihren Ausgangswert erreicht und 21 von 25 (84 %) schafften es zum Abschluss der Studie nach sechs Wochen ihre ursprüngliche BPF \pm 50 N zurück zu gewinnen. 4 der 25 untersuchten Patienten (16 %) gelang dies auch zum Ende des Untersuchungszeitraums nicht.

Die individuelle Entwicklung der BRT stellte sich wie folgt dar: 11 der 25 Patienten (44 %) erreichten zum ersten Messtermin bereits wieder ihre ursprüngliche BRT \pm 100 ms. Nach zwei Wochen schafften dies 16 von 24 Patienten (67 %), nach vier Wochen waren es 20 von 22 (91 %) und 6 Wochen nach der Operation hatten 24 der 25 Patienten (96 %) ihre präoperative BRT \pm 100 ms erreicht.

3.1.5. Fokus: BRT und BPF im Rahmen der Verkehrssicherheit

Betrachtet man die Werte vor dem Hintergrund der für den Straßenverkehr nötigen Mindestangaben für BPF (200 N) und BRT (1000 ms), zeigt sich ein etwas anderes Bild:

Eine Person (4 %) verfehlte bereits vor der OP die Grenze von 200 N, 19 der 25 Patienten (76 %) erreichten bereits nach sechs Tagen wieder diese Mindestkraft. Nach zwei Wochen lagen 21 von 24 (87,5 %) der Patienten über diesem Wert und vier Wochen postoperativ 21 von 22 (95 %). Nach sechs Wochen erreichten alle bis auf einen Patienten (24 von 25, 96 %) das im Alltag nötige Kraftminimum von 200 N zur sicheren Betätigung moderner Bremssysteme (s. Abb. 11). Somit lagen auch 3 der 4 Patienten, die zwar ihre individuellen Bremskraft-Werte ± 50 N nach sechs Wochen noch verfehlten (s. Punkt 3.1.4.), mit ihren erreichten Bremswerten über 200 N.

Hinsichtlich der 1000 ms Obergrenze der BRT, lagen alle Patienten vor der OP darunter. Sechs Tage postoperativ waren 5 von 25 (20 %) in ihrer Bremsreaktion zu langsam, um diesen Wert zu erreichen. Nach zwei Wochen lagen noch 2 von 24 (8 %) darunter und nach vier Wochen waren alle 25 Patienten (100 %) bereits schneller als die Norm BRT von 1000 ms und hielten das Ergebnis auch nach sechs Wochen aufrecht.

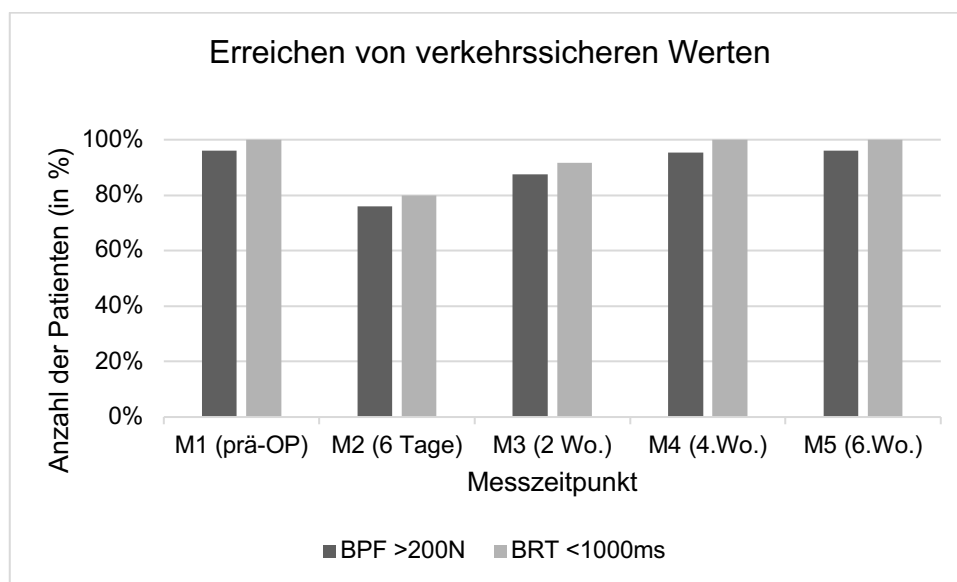


Abbildung 11 Anzahl der Patienten in %, die die nötigen Mindestangaben für die BPF (200 N) und BRT (1000 ms) für eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr erreichten

3.1.6. Selbsteinschätzung der Patienten hinsichtlich Fahrtüchtigkeit

Tabelle 6 Selbsteinschätzung und Fahrtauglichkeit entsprechend der gemessenen Bremsparametern

Messung	Fahrtauglichkeit laut Bremsparametern	Selbsteinschätzung hinsichtlich Fahrtauglichkeit
M2 (6 Tage)	13	2
M3 (2 Wochen)	20	8
M4 (4 Wochen)	21	13
M5 (6 Wochen)	24	25

Unter der Annahme, dass eine sichere Verkehrsteilnahme ab einer BPF von 200 N und einer BRT von 1000 ms möglich ist, wiesen 13 der 25 Patienten (52 %) bereits zum Zeitpunkt der zweiten Messung (M2) sechs Tage nach der OP wieder fahrtaugliche Werte auf (s. Tabelle 6). Nach zwei Wochen (M3) erreichten 7 weitere von 24 Gemessenen (29 %) die Grenzen für BRT und BPF und vier Wochen postoperativ (M4) waren alle bis auf einen (21 von 22 Patienten (95 %) laut ihrer Werte wieder geeignet für die Teilnahme am Straßenverkehr. Nach sechs Wochen (M5) waren weiterhin alle bis auf einen Patienten (24 von 25, 96 %) über der BPF Norm von 200 N und unterhalb der BRT Grenze von 1000 ms.

Nur 2 Patienten fühlten sich nach sechs Tagen (M2) subjektiv bereit für eine Teilnahme am Straßenverkehr. 6 zusätzliche der befragten 24 Patienten (25 %) fühlten sich nach zwei Wochen (M3) erstmalig wieder bereit für die Teilnahme am Straßenverkehr. 5 von 22 Patienten (22 %) gaben vier Wochen (M4) als subjektiven Moment der Wiederherstellung ihrer Fahrtauglichkeit an. Die verbleibenden 12 der 25 Patienten (48 %) fühlten sich subjektiv erst nach sechs Wochen zum letzten Messtermin (M5) wieder bereit für die Teilnahme am Straßenverkehr (s. Abb. 12).

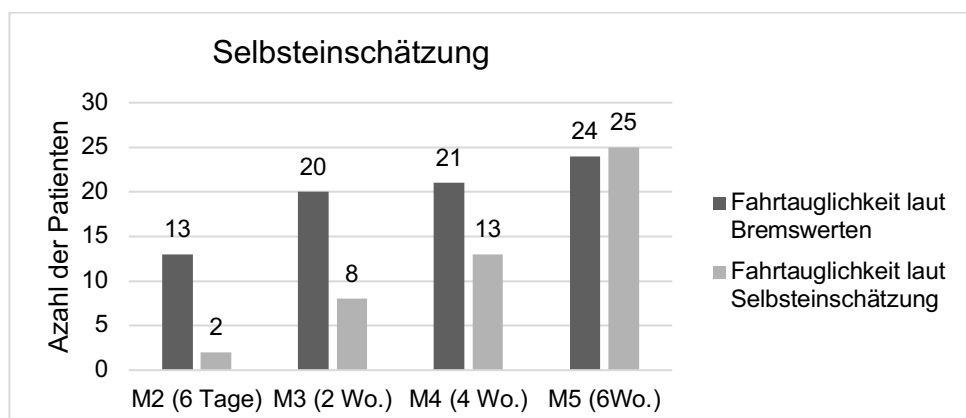


Abbildung 12 Anzahl der Patienten, die laut ihren Bremsparametern zum jeweiligen Zeitpunkt erstmals wieder fahrtauglich waren (dunkelgrau) verglichen mit der Anzahl, die sich zum jeweiligen Zeitpunkt erstmalig als fahrtauglich einschätzte (hellgrau)

Insgesamt zeigten sich Patienten hinsichtlich der Selbsteinschätzung ihrer Fahrtauglichkeit eher zurückhaltend und vorsichtig: 84 % der Patienten (21) waren, gemessen an ihrer Reaktionszeit und Bremskraft, wieder vor dem von ihnen als „geeignet“ festgelegten Moment fahrtüchtig. 3 der 25 (12 %) schätzten sich exakt richtig ein und hatten zu dem von ihnen genannten Zeitpunkt wieder verkehrstaugliche Werte. Ein Patient fühlte sich zwar sechs Wochen nach der OP wieder verkehrstüchtig, erreichte allerdings weder zu diesem noch zu einem anderen Termin die Grenze von 200 N. Da er allerdings schon präoperativ mit 169,3 N unterhalb dieser Grenze lag, ist es gut möglich, dass seine subjektive Einschätzung korrekt war und er sich zu Ende der Studie wieder vergleichbar zur präoperativen Ausgangssituation und damit bereit für die Teilnahme am Verkehr fühlte. Diese entsprach jedoch, objektiv gemessen an den Kriterien einer Kraft über 200 N und einer Reaktionszeit unter 1000 ms, keiner sicheren Fahrtauglichkeit.

3.2. Statistische Testverfahren

3.2.1. Demographische Daten des Patientenkollektivs

Vor der Untersuchung auf signifikante Unterschiede der Geschlechter hinsichtlich bestimmter Merkmale wurden die Variablen auf Normalverteilung geprüft. BPF und BRT konnten aufgrund der Literatur als normalverteilt angenommen werden (s. 1.4., Methodik). Für Alter, BMI und Implantatgröße (Pfannengröße) ergaben der Kolmogorov-Smirnov und Shapiro-Wilk-Test jeweils p-Werte über 0,05 und somit konnte auch für diese Variablen eine Normalverteilung angenommen werden.

Im Zuge des Levene-Tests konnten keine Unterschiede der Varianzen der Merkmale Alter, BMI, mittlere BRT und mittlere BPF festgestellt werden. Bei der Untersuchung auf Unterschiede der Geschlechter mittels t-Test für unverbundene Stichproben konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihres Alters ($p = 0,617$), ihres BMIs ($p = 0,862$), ihrer präoperativen BPF ($p = 0,853$) oder BRT ($p = 0,213$) festgestellt werden (s. Tabelle 7).

Tabelle 7 Demographische Daten des Patientenkollektivs

Gruppenstatistiken						
	Geschlecht	N	Mittelwert	SD	Standardfehler des Mittelwertes	p-Wert
Alter in Jahren	männlich	15	52,4	10,2	2,6	0,617
	weiblich	10	50,3	10,8	3,4	
Body Mass Index bei Aufnahme in kg/m²	männlich	15	26,6	5	1,3	0,862
	weiblich	10	27	5,4	1,7	
mittlere Bremskraft M1 in N	männlich	15	461,3	175,1	45,2	0,853
	weiblich	10	446,5	217,3	68,7	
mittlere Bremsreaktionszeit M1 in ms	männlich	15	645,3	100,7	26	0,213
	weiblich	10	710,3	154,1	48,7	

3.2.2. Operationsdaten

Frauen bekamen signifikant kleinere Pfannenkomponenten als Implantate eingebaut als Männer ($p = 0,006$). Der Mittelwert des Pfannenimplantats lag bei den Männern bei $53,4 \pm 2,77$ und bei den Frauen bei $50,2 \pm 2,20$ (s. Tabelle 8).

Tabelle 8 Implantat- und Schaftgröße bei Männern und Frauen des Kollektivs

Gruppenstatistiken						
	Geschlecht	N	Mittelwert	SD	Standardfehler des Mittelwertes	p-Wert
Pfannenimplantatgröße	männlich	14	53,43	2,766	0,739	0,006
	weiblich	10	50,2	2,201	0,696	

3.2.3. Test auf Nicht-Unterlegenheit

Tabelle 9 95%-ige Konfidenzintervalle der BPF in N

	M2	M3	M4	M5
Mittelwert	65,0	60,7	59,3	46,7
ϵ_1	-217,8	-134,5	-65,4	-24,9
ϵ_2	-87,7	-13,1	53,2	68,4

Die 95%-Konfidenzintervallgrenzen wurden mit Hilfe eines Faktors berechnet, der sich aus der Standardabweichung der Differenzen, dem Z-Wert (1,96) und der Anzahl der Patienten errechnet. Wie aus Tabelle 9 und Abb. 13 ersichtlich, lag die untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls (ϵ_1) der BPF zu den ersten zwei Messterminen (sechs Tage postoperativ und zwei Wochen postoperativ) mit -217,8 N bzw. -134,5 N noch unterhalb der festgelegten Unterlegenheitsgrenze C_u von -90 N. Vier Wochen nach der OP waren die Werte der BPF den präoperativen Werten nicht mehr unterlegen, da das gesamte Konfidenzintervall (53,2 bis -65,4 N) über -90 N lag. Dieser Sachverhalt bestätigte sich auch nach sechs Wochen (Konfidenzintervall von -24,9 bis 68,4 N).

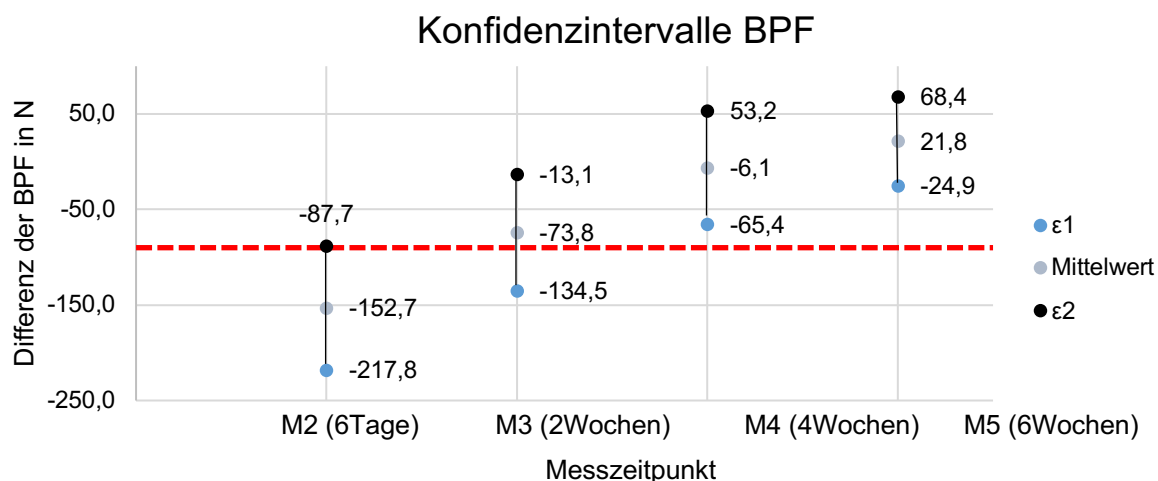


Abbildung 13 Illustration der Konfidenzintervalle des Mittelwerts der Unterschiede der BPF im Vergleich zur unteren Grenze von -90N (rote gestrichelte Linie)

Im Gegensatz dazu überstieg der obere Wert des 95%-igen Konfidenzintervalls (ϵ_2) der BRT nur sechs Tage postoperativ die oberen Äquivalenzgrenze C_o von 200 ms mit einer maximalen Verlängerung von 250,8 ms. Zwei Wochen nach der OP konnte keine Unterlegenheit der postoperativen zur präoperativen BRT mehr festgestellt werden (maximale Verlängerung um 121,8 ms) (s. Tabelle 10, Abb. 14).

Tabelle 10 95%-ige Konfidenzintervallgrenzen BRT

BRT	M2	M3	M4	M5
Mittelwert	165,1	61,9	52,9	41,9
ε1	79,4	-2,1	-78,5	-103,4
ε2	250,8	121,8	27,3	-19,6

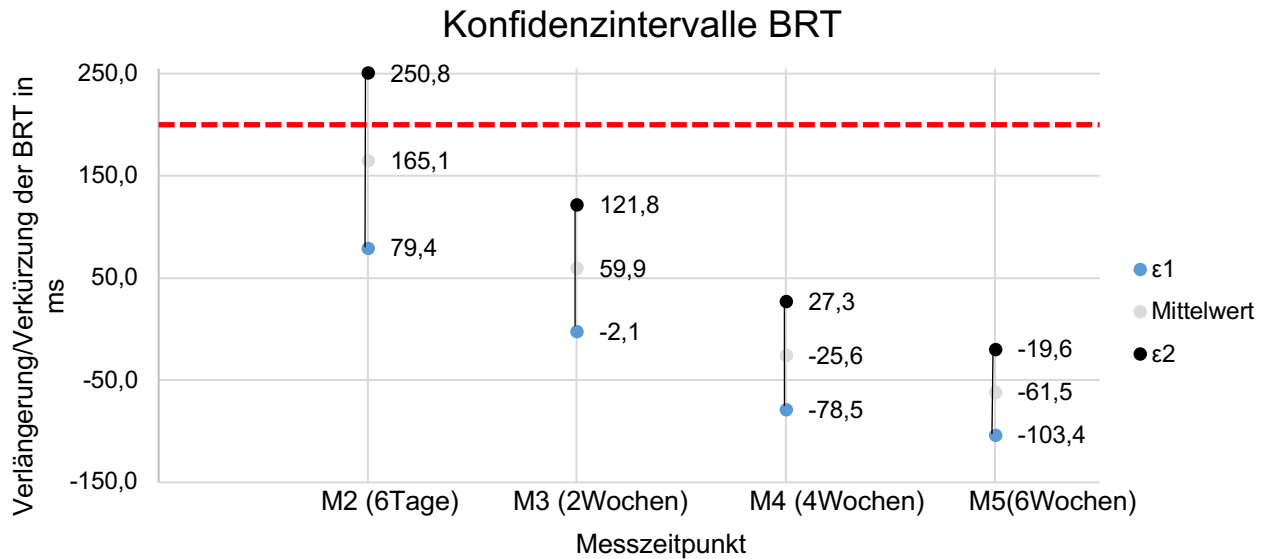


Abbildung 14 Illustration der Konfidenzintervalle des Mittelwerts der Unterschiede der BRT im Vergleich zur oberen Grenze von 200 ms (rote gestrichelte Linie)

3.2.4. t-Test für BPF und BRT

13 von 24 Patienten (54 %) hatten nach zwei Wochen ihre präoperative BPF ± 50 N wieder erreicht, der Unterschied zwischen den jeweilig präoperativ gemessenen Mittelwerten war jedoch insgesamt noch signifikant ($p = 0,026$): Da $p < 0,05$ war, wurde die Null-Hypothese („Die Differenz der Mittelwerte zu Messzeitpunkt 1 und Messzeitpunkt 3 = 0“) verworfen und die Alternativhypothese („Die Differenz der Mittelwerte zu Messzeitpunkt 1 und Messzeitpunkt 3 $\neq 0$ “) akzeptiert. Vier Wochen nach der OP ergaben sich keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den prä- und postoperativen Werten der BPF ($p = 0,843$) und auch sechs Wochen danach war kein signifikanter Unterschied messbar ($p = 0,140$) (s. Tabelle 11).

Tabelle 11 t-Test BPF bei verbundenen Stichproben

Test bei gepaarten Stichproben		Gepaarte Differenzen		Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert in N	SD			Untere				Obere
Paar 1	mittlere BPF M1 - mittlere BPF M2	152,745	165,873	33,175	84,276	221,214	4,604	24,000	0,000	
Paar 2	mittlere BPF M1 - mittlere BPF M3	73,782	151,804	30,987	9,681	137,883	2,381	23,000	0,026	
Paar 3	mittlere BPF M1 - mittlere BPF M4	6,072	141,968	30,268	-56,873	69,017	0,201	21,000	0,843	
Paar 4	mittlere BPF M1 - mittlere BPF M5	-41,452	135,715	27,143	-97,472	14,568	-1,527	24,000	0,140	

Die BRT hingegen war bereits nach zwei Wochen nicht mehr signifikant schlechter als der Ausgangswert ($p = 0,071$) und wies auch vier Wochen postoperativ keinen signifikanten Unterschied zu dem präoperativen Wert auf ($p = 0,354$). Nach sechs Wochen konnte sogar eine signifikante Verkürzung der BRT und damit eine signifikante Verbesserung der Bremsleistung registriert werden ($p = 0,005$) (s. Tabelle 12).

Tabelle 12 t-Test BRT bei verbundenen Stichproben

Test bei gepaarten Stichproben		Gepaarte Differenzen		Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert in ms	SD			Untere				Obere
Paar 1	mittlere BRT M1 - mittlere BRT M2	-165,076	218,621	43,724	-255,318	-74,834	-3,775	24,000	0,001	
Paar 2	mittlere BRT M1 - mittlere BRT M3	-59,863	154,801	31,599	-125,229	5,504	-1,894	23,000	0,071	
Paar 3	mittlere BRT M1 - mittlere BRT M4	25,600	126,660	27,004	-30,558	81,758	0,948	21,000	0,354	
Paar 4	mittlere BRT M1 - mittlere BRT M5	63,936	102,904	20,581	21,459	106,413	3,107	24,000	0,005	

4. Diskussion

Diese Arbeit stellt eine prospektive klinische Studie zur Frage nach der Wiedererlangung der Fahrtüchtigkeit nach rechtsseitigem HTEP-Ersatz über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugang dar. Wie bereits einleitend erwähnt, gehört Mobilität in der heutigen Gesellschaft zu einer der Grundvoraussetzungen für eine hohe Lebensqualität. Eine Verhinderung von der Teilnahme am Straßenverkehr bedeutet für die Mehrheit der Bevölkerung eine starke Einschränkung im alltäglichen Leben. Dies kann bei berufstätigen Patienten zu wirtschaftlichen Einbußen führen, vor allem aber hat es einen negativen Einfluss auf die sich anschließenden Rehabilitations- und Reintegrationsprozesse. Es ist daher verständlich, dass Patienten sich einen möglichst kurzen Zeitraum der Fahr-Abstinenz wünschen. Diesem Wunsch stehen erstens die Verantwortung des Patienten gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern und zweitens die Verantwortung des Arztes gegenüber dem Patienten und dem Rest der Gesellschaft entgegen: Die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer muss garantiert sein, bevor ein Patient wieder aktiv am Straßenverkehr teilnehmen darf.

Vorrangiges Ziel dieser Arbeit war daher, die Bremsparameter BPF und BRT, die beide essentiell für ein sicheres Fahren sind, bei rechtsseitigen HTEP Patienten zu erfassen und ihren postoperativen Verlauf zu beobachten. Dazu wurden die beiden oben genannten Parameter an fünf Messterminen im Laufe von sechs Wochen mit Hilfe eines Bremssimulators erfasst, ihre zeitliche Entwicklung evaluiert und die Ergebnisse anschließend mit Normwerten und gesetzlichen Mindestwerten verglichen, um sie in den Kontext der öffentlichen Verkehrssicherheit zu setzen. Ein allgemeingültiger Zeitpunkt zur *uneingeschränkten* Wiedererlangung der Fahrtüchtigkeit konnte nicht ermittelt werden, jedoch ein Zeitrahmen, in dem eine Rückkehr in den Straßenverkehr für die Mehrheit der Patienten basierend auf ihrer Bremsfähigkeit gut möglich erscheint. Die Ergebnisse dieser Studie bieten erstmals eine wertvolle Einsicht in die zeitliche postoperative Entwicklung der Bremsfähigkeit von HTEP-Patienten nach einem Eingriff über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugang und können bei der individuellen Entscheidungsfindung bezüglich einer Rückkehr in den Straßenverkehr sachdienlich sein.

4.1. Entwicklung der BPF im Verlauf der Messungen

4.1.1. Individuelle Entwicklung der BPF

Laut § 41 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), müssen Kraftfahrzeuge „zwei voneinander unabhängige Bremsanlagen haben“. Diese sind als „Betriebsbremsanlage (BBA)“ und „Feststellbremsanlage (FBA)“ (Handbremse) in jedem Fahrzeug vorhanden. Die BBA wird in nahezu allen Kraftfahrzeugen vom Fahrer mit dem rechten Fuß über ein Pedal betätigt. Die Übertragung der Bremspedalkraft zu den eigentlichen Radbremsen hat sich im Pkw-Bereich von einem rein mechanischen System über das mechanisch-hydraulische bis hin zum heute typischerweise verwendeten elektro-hydraulischen System weiterentwickelt⁹².

Die negative Beschleunigung, die im Zuge des Bremsens den Verlauf der Geschwindigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit (v) bis zum Stillstand beschreibt, nennt man Bremsverzögerung (a). Der maximal erreichbare Wert der Bremsverzögerung ist vor allem abhängig von der auf das Bremspedal einwirkenden Kraft (BPF) und der Reibung zwischen Fahrzeug und Fahrbahnbelag, welcher vor allem durch die Witterungsbedingungen beeinflusst wird.

Eines der Ziele dieser Studie war es, den Verlauf dieser Bremspedalkraft (BPF) von rechtsseitigen Hüftpatienten nach der Operation zu erfassen, um eventuell vorhandene, die Verkehrssicherheit einschränkende, Defizite aufzudecken. Generell ergab sich für alle 25 Patienten ein ähnlicher Verlauf: Die BPF war zum ersten postoperativen Messzeitpunkt sechs Tage nach dem Eingriff mit durchschnittlich $302,6 \pm 158,1$ N signifikant schlechter als vor der OP ($455,4 \pm 188,8$ N). Vier und Sechs Wochen nach der Operation konnte kein signifikanter Unterschied zur präoperativen Kraft mehr gemessen werden und auch die ermittelten 95%-Konfidenzintervalle lagen innerhalb des Äquivalenzbereichs.

Literatur ist in dem Bereich nach der expliziten Frage der Bremskraft nach rechtsseitigem Hüftgelenkersatz nur sehr sporadisch vorhanden. Die einzige vergleichbare Studie stammt von Jordan *et al.* aus dem Jahre 2014 und kommt zu ähnlichen, aber nicht identischen, Ergebnissen wie diese Studie. Jordan *et al.* untersuchten 2014 das Bremsverhalten von 40 HTEP-Patienten, davon 20 mit einem Eingriff auf der rechten Seite. Auch diese Studie konnte zunächst eine Verringerung der Kraft feststellen und anschließend eine kontinuierliche Verbesserung der BPF beobachten. Sein Team und er erfassten zu drei Messzeitpunkten (6, 12 und 52

Wochen) jeweils eine signifikante Verbesserung im Vergleich zu der ersten postoperativen Messung nach 8 Tagen. Basierend darauf leitete er die Empfehlung ab, mindestens 6 Wochen mit der Wiederaufnahme der Fahrtätigkeit zu warten⁷⁶.

Eine weitere Studie, die die BPF beobachtet, stammt von MacDonald *et al.* aus dem Jahr 1988. Er untersuchte 25 Patienten, davon 12 mit rechtsseitigem HTEP-Ersatz. Allerdings betrachtete er nicht explizit den postoperativen Verlauf, sondern maß, nach wie vielen Sekunden Patienten den Schwellenwert von 100 N jeweils vor der OP und nach der OP erreichten. MacDonald *et al.* waren in ihrer Einschätzung bezüglich der Fahrtüchtigkeit von HTEP-Patienten sogar noch konservativer als Hernandez *et al.*, und empfahlen Patienten, mindestens acht Wochen, wenn nicht sogar länger zu warten⁷⁷.

Da die BPF im Fall der vorliegenden Studie nach vier Wochen nicht mehr signifikant schlechter als der präoperative Wert ist und sich auch die Bremsreaktionszeit nicht mehr signifikant vom präoperativen Wert unterschied (s. Punkt 4.2.1.), erscheint hier eine Wiederaufnahme der Fahrtätigkeit sowohl vor vier als auch vor sechs Wochen möglich. Die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der drei Studien kann mehrere Ursachen haben, auf die im Folgenden eingegangen werden soll.

Zunächst einmal hat in den letzten Jahrzehnten eine deutliche **Verbesserung der Operationstechniken und Rehabilitationsmethoden** stattgefunden: Minimalinvasive Techniken und gezielte Trainingsprogramme der betroffenen Muskulatur sind ursächlich für eine beschleunigte Genesung und verbesserte Funktionalität^{34,35,93} und könnten die schnellere Wiederherstellung der BPF begründen. Auch in der Orthopädie der Charité Universitätsmedizin Berlin, wird auf minimalinvasive Operationstechniken und die frühe Mobilisation durch die Physiotherapeuten direkt am 1. postoperativen Tag großen Wert gelegt. Sowohl Jordan *et al.* als auch MacDonald *et al.* untersuchten jedoch nur Patienten mit HTEP-Patienten, deren Eingriffe mittels Standard-Zugängen durchgeführt wurden. Somit liefert die vorliegende Studie erstmals Erkenntnisse zur BPF nach minimalinvasivem Ersatz über einen anterolateralen Zugang. Der signifikante Mehrwert der minimalinvasiven Operationstechnik wird zwar - wie bereits in der Einleitung dargelegt - aktuell noch kontrovers diskutiert. Nichtsdestotrotz muss der Wandel des peri- und postoperativen Umfeldes vor allem bei der Interpretation des Ergebnisses der Studie von MacDonald *et al.*, die bereits 30 Jahre zurückliegt und die im Vergleich aller Studien zum konservativsten Ergebnis bezüglich des Zeitpunkts der Wiedererlangung

der präoperativen Bremsfähigkeit kam, bedacht werden. Es erscheint durchaus möglich, dass die minimalinvasive Technik und das dadurch geringere Weichteiltrauma tatsächlich eine frühere Rückkehr in den Straßenverkehr erlauben. Eine andere mögliche Erklärung ist, dass die beiden vorherigen Studien aufgrund ihres **Studiendesigns** den genauen Zeitpunkt der Rekonstitution als später definierten, als die hier vorliegenden Ergebnisse. Die Messintervalle dieser Bremskraftstudie wurden bewusst kürzer gewählt als in den beiden Untersuchungen zuvor, die ihren ersten Follow-Up-Termin erst nach sechs⁷⁶ beziehungsweise acht Wochen⁷¹ ansetzten. In der vorliegenden Beobachtungsstudie konnte durch Messungen nach sechs Tagen, zwei Wochen und vier Wochen bereits die frühe Phase der Rehabilitation erfasst werden. Auffallend war dabei, dass bereits zwei Wochen nach der Operation über die Hälfte (54 %) der Patienten ihre präoperativen BPF-Werte erreicht hatten. Statistisch untermauert wurde der Eindruck, dass Patienten ihre prä-operative Leistung wieder erbringen können ab der vierten Woche. Auch der Test auf Nicht-Unterlegenheit, beziehungsweise auf Äquivalenz, fiel nach vier Wochen positiv aus. Somit erscheint bei Betrachtung der BPF im Bevölkerungsdurchschnitt eine sichere Rückkehr zum Straßenverkehr nach vier Wochen möglich. Allerdings muss beachtet werden, dass das Durchschnittsalter mit 51,6 Jahren in der vorliegenden Studie für HTEP-Patienten deutlich jünger war als die 66,6 Jahre bei Hernandez und die 61 Jahre bei MacDonald. Dies könnte durchaus einen positiven Einfluss auf die Rehabilitationsgeschwindigkeit gehabt haben.

4.1.2. Verkehrstauglichkeit von HTEP-Patienten basierend auf dem Vergleich ihrer BPF mit Normwerten

Neben dem Ziel der Evaluation des individuellen Verlaufs der Bremsparameter war die Einordnung der Ergebnisse der Studienpopulation im Vergleich zur Normalbevölkerung beziehungsweise im Vergleich zu gesetzlichen Normwerten ein Aspekt der Untersuchung. Wie bereits einleitend erwähnt, gibt es sowohl für die BPF als auch für die BRT **keine gesetzlichen Normwerte** und Studien zum Thema der Durchschnittswerte dieser Parameter betonen immer wieder die große intraindividuelle Variabilität⁶⁰. Im Rahmen dieser Studie wurde, basierend auf anderen Studien zum Thema der Bremsfähigkeit^{83,87} und basierend auf aktuellen EU-Verordnungen⁹⁴, ein Mindestwert von 200 N für die BPF angesetzt. Im Zuge der Diskussion soll nun

nochmals auf die Plausibilität dieser Grenze eingegangen werden und das Abschneiden der Studienpopulation hiermit verglichen werden.

Sowohl die Betriebsbremse als auch die Feststellbremse können für den Bremsvorgang genutzt werden. Im alltäglichen Verkehr ist jedoch die Betriebsbremse deutlich relevanter. Laut Gesetz muss mit der Betriebsbremse eine mittlere Verzögerung von $5,0 \text{ m/s}^2$ erreicht werden, das heißt bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h , muss diese in jeder Sekunde um 18 km/h gedrosselt werden können (§ 41 Absatz 4 StVO)⁹⁵. Welche Kraft dabei direkt auf das Bremspedal durch den Fahrer ausgeübt werden muss, um solch eine Verzögerung zu erreichen, ist nicht klar definiert. Der europäische Gesetzgeber schrieb 1998 vor, dass die Betätigungskraft für Bremsanlagen, um eine ausreichende Entschleunigung zu erreichen, in einem PKW nicht über 500 N liegen darf⁹⁶. Das Institut für Unfallanalysen (IFU) Hamburg führt diesbezüglich aus, dass bei Männern die maximale Pedalkraft in etwa mit dem Körpergewicht korreliert - bei einem Gewicht von 80 kg , würde das einer Kraft von ca. 785 N entsprechen. Frauen und ältere Personen hingegen überschreiten laut IFU nach verschiedenen Untersuchungen selten 50 kg ($= 490,5 \text{ N}$) Pedalkraft. Diese EU-weite Verordnung wurde jedoch im Jahr 2009 im Zuge einer Aktualisierung der System-Zulassungs-Richtlinien ausgesetzt⁹⁷. Ein Grund liegt laut dem Amtsblatt der Europäischen Union in dem „hohen Unfallverhütungspotential“ von elektronischen Fahrdynamik-Regelsystemen, Notbrems-Assistenzsystemen und Spurhaltewarnsystemen. In modernen Fahrzeugen wird heutzutage durch den Einsatz von Bremskraftverstärkern gewährleistet, dass deutlich geringere Pedalkräfte als ausreichend angesehen werden: Seit dem 24.02.2011 müssen alle Neufahrzeuge bis 2500 kg in der Europäischen Union mit einem Bremsassistentensystem (BAS) ausgestattet sein. Dieses registriert entweder durch die Dynamik der Krafteinwirkung oder durch die Betätigungsgeschwindigkeit die Notwendigkeit für eine Gefahrenbremsung und löst automatisch die maximale Bremsverzögerung aus, so dass die nötige Fußkraft deutlich reduziert wird⁹⁸. Laut der Verordnung (EG) 631/2009 der Kommission muss „die erforderliche Pedalkraft um 40% bis 80% geringer [sein]“, als ohne BAS, was bei einer maximal nötigen Betätigungskraft von 500 N , eine Reduktion um $200 - 400 \text{ N}$ auf $100 - 300 \text{ N}$ bedeuten würde⁹⁴. In Zusammenschau dieser Tatsachen erscheinen 200 N als Mindestkraft, die von einer Person zum Auslösen einer Vollbremsung benötigt wird, eine realistische Referenz.

Betrachtet man die Ergebnisse der Studie vor diesem Hintergrund, zeigt sich, dass einer der 25 Patienten bereits bei der ersten Messung vor der OP nur eingeschränkt fahrtauglich war, da seine maximale Bremskraft unterhalb der tendenziell niedrig angesetzten Norm von 200 N lag. Insgesamt präsentierten HTEP-Patienten präoperativ mit 455,4 N deutlich höhere Werte als 200 N. Vergleicht man diese Zahl mit den Ergebnissen, die gesunde Probanden in den Studien von Raudszus *et al.* und Thumm erreichten, wird klar: HTEP-Patienten präsentieren trotz Arthrose vor der Operation durchschnittliche, der „gesunden“ Gesellschaft ähnliche, Werte. Raudszus *et al.* ermittelten in ihrer Studie „Modellierung der Bremsreaktion des Fahrers zur Bewertung von aktiven Fußgängerschutzsystemen“ mit 25 gesunden Probanden eine durchschnittliche maximale Bremspedalkraft von 290,15 N⁸³ und Thumm errechnete im Laufe von 2030 Messungen zur Untersuchung des „Einflusses von Hüft- und Wirbelsäulenorthesen“ bei 30 gesunden Teilnehmern einen Median von 308 N⁸⁷.

Hofmann *et al.* hingegen sind überzeugt, dass Arthrose, zumindest wenn im rechten Hüftgelenk vorhanden, durchaus einen Einfluss auf die maximale Bremskraft hat⁹⁹. Sie stellten einen signifikanten Unterschied zwischen der BPF der aus 21 Probanden bestehenden Kontrollgruppe (469 N) und der Kraft der 19 rechtsseitigen Arthrose Patienten (320 N) fest ($p = 0,022$).

Es ist jedoch fraglich, ob dank der oben beschriebenen modernen Bremssysteme, eine Verminderung auf 320 N tatsächlich einen relevanten Einfluss auf die Fahrtüchtigkeit hat. Auch die bessere Performance der hier untersuchten Studienpopulation mit durchschnittlich 455,4 N im Vergleich zu den von Hofmann *et al.* betrachteten Arthrose-Patienten, unterstützt die Annahme einer unverminderten Fahrtüchtigkeit von rechtsseitigen HTEP-Patienten vor der OP.

Natürlich kann man nicht ausschließen, dass Schmerzen oder die schmerzbedingte Schonung eines Gelenks einen Einfluss auf die Bremskraft eines Verkehrsteilnehmers haben. Dies könnte natürlich auch im Falle des zu Beginn der Studie „unterdurchschnittlich“ abschneidenden Probanden der Fall gewesen sein. Dagegen spricht jedoch die Aussage des Patienten, vor der Operation mehrmals pro Woche schmerzfrei Auto gefahren zu sein. Des Weiteren fühlte er sich, trotz seiner weiterhin geringen Kraft von 149 N, nach sechs Wochen subjektiv ebenso wieder bereit für den Straßenverkehr, wie alle anderen Patienten auch. Dieses Beispiel illustriert, dass das Kriterium „Fahreignung“ einerseits sehr subjektiv ist und Patienten sich trotz geringer Kraft bereit für den Straßenverkehr fühlen können. Andererseits zeigt es, dass gering

gemessene Bremskräfte einfach der Gewohnheit eines Probanden geschuldet sein können: Fährt jemand ein höchst responsives, modernes Auto, wird er eventuell nicht mehr wissen, wie es sich anfühlt, mit maximaler Kraft auf die Bremse zu treten.

Sinnvoller als ein Vergleich mit gesellschaftlichen Normen und Durchschnittswerten ist daher ein Blick auf die Wiedererlangung der individuellen Ausgangswerte der BPF nach einem arthroplastischen Eingriff, wie in Punkt 4.1.1. geschehen, denn: Da alle 25 Patienten vor dem chirurgischen Eingriff im Besitz einer Fahrerlaubnis waren - somit vor dem Gesetz offiziell die „Fahreignung“ besaßen - und regelmäßig am Verkehr teilnahmen, erscheint das Erreichen dieses Werts entscheidender für eine restitutio ad integrum.

4.2. Entwicklung der BRT im Verlauf der Messungen

4.2.1. Individuelle Entwicklung der BRT

Um eine valide Aussage bezüglich der Fahrtüchtigkeit zu treffen, reicht es jedoch nicht aus, nur die BPF zu betrachten. Die BRT spielt im Verkehr eine mindestens ebenso entscheidende Rolle für das ordnungsgemäße Fahren. Ziel dieser Studie war es daher, neben dem Verlauf der BPF auch den postoperativen Verlauf der BRT zu untersuchen und so Hinweise auf die Rehabilitationsgeschwindigkeit von HTEP-Patienten zu erhalten. Präoperativ reagierten Patienten durchschnittlich mit $0,671 \pm 0,126$ s SD. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass die Reaktionszeit der Patienten sechs Tage nach dem Eingriff noch signifikant langsamer ist als vor der OP, aber bereits nach zwei Wochen kein statistisch signifikanter Unterschied mehr zwischen den zwei Werten besteht. Auch der durchgeführte Test auf Äquivalenz bestätigt dies. Definiert man das Erreichen präoperativer Werte als Ziel, erscheint im Allgemeinen eine Rückkehr in den Straßenverkehr nach zwei Wochen möglich.

Zahlreiche Studien haben den Verlauf der Bremsreaktionszeit nach rechtsseitiger HTEP-Implantation untersucht⁷⁰⁻⁷⁷. Als Vergleichspunkt zur Einschätzung der Fahrtauglichkeit, diente dabei teils die Wiedererlangung der eigenen, präoperativen BRT, teils das Erreichen von Werten einer gesunden Kontrollgruppe oder eines aus der Literatur ermittelten Grenzwerts. Im Folgenden soll daher zunächst die Literatur diskutiert werden, die die individuelle präoperative BRT als Kriterium zur Beurteilung der Fahrtauglichkeit heranzog und in Punkt 4.2.2. diejenigen Studien, die aus der Literatur ermittelte Normwerte oder die BRT Ergebnisse einer gesunden Kontrollgruppe verwendeten.

Ganz *et al.* stellten 2003 in ihrer Bremsstudie mit insgesamt 90 Patienten präoperativ zunächst eine normwertige Reaktionszeit der 52 rechtsseitigen HTEP-Patienten (0,56 s) im Vergleich mit den Werten des American Automobile Club (AAA) fest (Männer 55. Perzentil, Frauen 45. Perzentil)⁷¹. Die durchschnittliche BRT der Patienten zeigte in der ersten Woche nach dem Eingriff das schlechteste Ergebnis, was mit den vorliegenden Zahlen übereinstimmt. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant. An den darauffolgenden Messterminen (vier bis sechs Wochen, 26 Wochen und 1 Jahr post-OP) verbesserten sich die HTEP-Patienten jeweils signifikant im Vergleich zu ihrem präoperativen Wert und die Autoren endeten mit der Empfehlung, frühestens vier bis sechs Wochen nach rechtsseitiger HTEP wieder am Straßenverkehr teilzunehmen. Da keine frühere Messung, wie beispielweise in der vorliegenden Studie, nach zwei Wochen stattfand, ist ein genauer Vergleich leider nicht möglich. Da der Unterschied zwischen den gemessenen prä- und postoperativen Werten aber bereits sechs Tage nach dem Eingriff nicht signifikant schlechter war, liegt es nahe, dass auch im Falle dieser Studie eine Wiederaufnahme der Fahrtätigkeit vor den angegebenen vier bis sechs Wochen möglich wäre.

Auch Jordan *et al.* verglichen 2014 die postoperativen Ergebnisse von insgesamt 40 Patienten, davon 20 rechtsseitigen HTEP-Patienten, mit ihren präoperativen Werten und empfahlen eine Abstinenz für sechs Wochen⁷⁶. Die durchschnittliche präoperative BRT der rechtsseitigen HTEP-Patienten war mit $0,626 \pm 0,296$ s SD dem Ergebnis dieser Studie ($0,671 \pm 0,126$ s SD) ähnlich. Der Zeitpunkt der Empfehlung zur sicheren Rückkehr in den Straßenverkehr lag mit sechs Wochen jedoch über den hier formulierten zwei Wochen. Dies könnte aus zwei Gründen der Fall sein: Zum einen wurde in der vorliegenden Studie eine statistisch gesicherte „Nicht-Unterlegenheit“ im Äquivalenztest und ein fehlender signifikanter Unterschied zwischen präoperativen und postoperativen Werten im t-Test als ausreichendes Argument für einen sicheren Wiedereinstieg in den Straßenverkehr gesehen. Die von Jordan *et al.* nach acht Tagen gemessene Verschlechterung der BRT war zwar statistisch *nicht signifikant*, doch für die Autoren reichte dies nicht als Beweis der wiederhergestellten Fahrtauglichkeit aus. So warteten sie mit ihrer Freigabe der Patienten bis sie nach sechs Wochen eine signifikante *Verbesserung* der BRT messen konnten. Ein weiterer Grund für die Diskrepanz zwischen den zeitlichen Empfehlungen könnte daran liegen, dass der zeitliche Abstand zwischen der ersten postoperativen Messung (acht Tage) und der

Zweiten (sechs Wochen) sehr groß war, so dass der tatsächliche Zeitpunkt der Rekonstitution eventuell verpasst wurde.

Am besten geeignet für einen Vergleich mit der vorliegenden Studie sind die 2015 veröffentlichten Untersuchungen zur BRT von Hernandez *et al.*⁷² und Ruel *et al.*⁷⁵. Beide untersuchten, wie auch diese Studie, Patienten nach minimalinvasiver TEP-Versorgung des rechten Hüftgelenks. Ruel *et al.* taten dies mit Hilfe eines komplexen Driving Simulators (Abb. 15), Hernandez *et al.* mit einem simplen Bremsreaktions-Timer (Abb. 16).



Abbildung 15 interaktiver Fahrsimulator Abbildung 16 Bremsreaktions-Timer (© Journal of Arthroplasty)⁷²
(© HSS Journal)⁷⁵

Hernandez *et al.* kamen zu dem Ergebnis, dass 87 % der Patienten (33 von 38) in der Lage waren, nach zwei Wochen ihre Ausgangs-BRT oder einen noch besseren Wert, zu erreichen. Die verbleibenden 13 % schafften dies innerhalb eines Zeitraums von vier Wochen. Die Verbesserung der BRT war jeweils signifikant. Ruel *et al.* hingegen fanden bei ihren 30 Patienten nach zwei bis drei Wochen noch einen signifikanten Unterschied der Reaktionszeiten vor. 4 Wochen nach dem Eingriff konnten Patienten ihre Reaktionszeit im Vergleich zu vor der OP jedoch signifikant verbessern.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie gehen mit den Resultaten der Untersuchung von Hernandez *et al.* konform: Die präoperative BRT lag bei der Forschungsgruppe mit durchschnittlich $0,645 \pm 0,166$ s SD in einem vergleichbaren Bereich wie die hier ermittelten $0,671 \pm 0,126$ s SD. In der vorliegenden Studie wiesen zwar 58 % nach zwei Wochen noch ein Defizit zu ihrem jeweiligen präoperativen Wert auf; der Unterschied der Mittelwerte war jedoch nicht mehr signifikant ($p = 0,084$). Im Falle von Hernandez *et al.* hatten alle 38 Patienten nach vier Wochen ihre präoperativen Ergebnisse wieder erreicht, hier waren es 91 % (20 von 22). Durch ein ähnliches

Studiendesign sind die Ergebnisse der Studien gut vergleichbar und untermauern die Stichhaltigkeit der Empfehlung, dass eine sichere Rückkehr in den Straßenverkehr bereits zwei Wochen nach OP möglich ist.

Nichtsdestotrotz sollte man bei der Empfehlungsformulierung bezüglich einer Rückkehr in den Straßenverkehr die von Ruel *et al.* ermittelten vier Wochen durchaus berücksichtigen. Es ist davon auszugehen, dass der von ihm verwendete Fahrsimulator die Gesamt-Fahrtüchtigkeit - beispielsweise dank unvermittelt auftretender Hindernisse - besser und realitätsnäher evaluieren kann, als ein von den Patienten erwartetes Lichtsignal, wie im vorliegenden oder dem von Hernandez *et al.* verwendeten Versuchsaufbau. Lee *et al.* bezifferten die Sensitivität eines Fahrsimulators im Rahmen einer Untersuchung zur Fahrtüchtigkeit von Senioren mit Verkehrsunfall-Anamnese mit 91,4 %¹⁰⁰ und obwohl leider keine Daten zur Sensitivität der Methode mit Lichtsignal vorliegen, erscheint das hohe Maß an Genauigkeit des Fahrsimulators schwer zu übertreffen.

Mit den Ergebnissen der aktuellsten prospektiven Studie zum Thema der Fahrtauglichkeit nach HTEP - von Qurashi *et al.* -, der mit zwei Tagen den kürzesten Zeitraum im Vergleich aller BRT-Studien empfahl, ist nur eine limitierte Vergleichbarkeit gegeben⁷⁴. Die 100 in der Studie untersuchten Patienten, wurden alle mittels der so genannten SuperPath (supercapsular percutaneously assisted total hip arthroplasty, Abb. 17)-Technik versorgt und nicht, wie das Patientenkollektiv dieser Studie, mittels standard-minimalinvasiven anteriolateralem Zugang. Die „mikroinvasive“ SuperPath-Technik erlaubt es Patienten, das Krankenhaus meist schon am nächsten Tag zu verlassen.

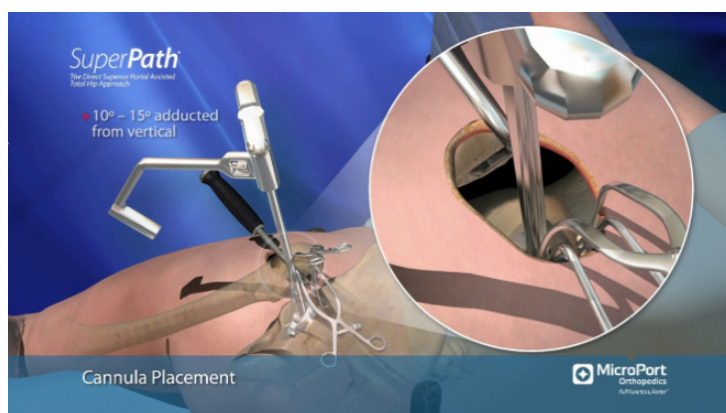


Abbildung 17 Operationssimulation während eines Eingriffs unter Anwendung der SuperPath-Technik (© MicroPort Orthopedics Inc.)¹⁰¹

Allerdings waren die Autoren hier ebenfalls der Meinung, dass, basierend auf der Tatsache, dass die Verkehrsteilnahme von HTEP-Patienten **vor** der OP rechtens ist, die individuelle präoperative BRT eine akzeptable Referenz für die Verkehrstauglichkeit darstellt. Diese war für die 56 rechtsseitigen HTEP-Patienten mit durchschnittlich 0,63 s (0,43 s – 1,44 s) dem hier ermittelten Ergebnis von 0,67 s sehr ähnlich. 93 % aller Patienten erreichten einen oder zwei Tage nach der OP ihre Ausgangswerte oder verbesserten diese. Die Verbesserung war dabei sowohl für rechts- als auch linksseitige Patienten signifikant. 25 Patienten wurden nach zwei Wochen nochmals nachuntersucht und zeigten auch dann noch eine signifikante Verbesserung ihrer präoperativen BRT. Insgesamt präsentieren die Autoren der Studie ein sehr fortschrittliches Ergebnis, das den Erwartungen von Ärzten und Patienten im Zeitalter minimal- und mikroinvasiver Operationstechniken und einem Trend hin zur „fast-track“-Endoprothetik und -Rehabilitation eher gerecht wird als beispielsweise die 1988 von MacDonald *et al.* ermittelten drei Monate Abstinenz. Auch wenn die von Qurashi *et al.* propagierten zwei Tage deutlich drastischer sind, als die hier vorliegende Empfehlung von zwei Wochen, deuten beide in die ähnliche Richtung, dass Patienten nach rechtsseitiger HTEP Implantation früher als bisher angenommen bereit für einen Wiedereinstieg in Alltag und Verkehr sind.

4.2.2. Verkehrstauglichkeit von HTEP-Patienten basierend auf dem Vergleich ihrer BRT mit Normwerten

Wie auch bei der BPF, existieren keine weltweiten standardisierten Schwellenwerte für die BRT, die ein sicheres Fahren garantieren. Der Deutsche Verkehrs Gerichtstag (DVG) sprach seine Empfehlungen Anfang der Achtzigerjahre, basierend auf der Studie „Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen“ von *Burckhardt et al.* aus und legte eine Obergrenze von 1500 Millisekunden (ms) fest¹⁰². In den USA und Großbritannien gilt eine Grenze von 700 ms¹⁰³ und in Australien von 750 ms⁶⁰. In der Gegenüberstellung mit den Empfehlungen des DVG, reagierten alle Patienten der Studie, sowohl vor der Operation als auch zu jedem Messtermin nach der Operation, innerhalb des vorgegebenen Zeitfensters von 1500 ms.

Möchte man die Ergebnisse dieser Studie etwas differenzierter analysieren als mit Hilfe der DVG Richtlinien, eignet sich die Studie „How long does it take to stop? Medicolegal analysis of driver perception times“ von Marc Green aus dem Jahr 2000. Green verglich in seinem Review knapp 40 Studien und identifizierte darin die

Erwartungshaltung des Probanden als die wichtigste Variable, die die Reaktionszeit beeinflusst: So bremsen Autofahrer, wenn sie auf ein Signal vorbereitet sind und wissen wie es aussieht und wann und wo sie es erwarten können innerhalb von 0,7 – 0,75 s. Die Reaktion auf unvermittelte, aber bekannte Signale, wie beispielsweise das Bremsrücklicht eines vorausfahrenden Fahrzeugs, dauert etwa 1,25 s. Die BRT auf jähe Hindernisse, wie eine Person, die unerwartet auf die Fahrbahn tritt, liegt bei ca. 1,5 s⁹⁰. Andere Studien zur Bremsreaktionszeit orientierten sich an Green: Hernandez *et al.*⁷² verglichen ihre Probanden mit den von Green postulierten 1,25 s, Raudszus *et al.*⁸³ leiteten daraus eine zu erwartende Reaktionszeit von 1-1.2 s ab, Rod *et al.*⁹¹ sahen eine durchschnittliche Reaktionszeit von 1 s als realistisch an und MacDonald *et al.*⁷⁷ nutzten die im Highway Code festgelegte, von Green bestätigt gefundene, Grenze von 700 ms.

Im Falle dieser Studie wurde schlussendlich eine durchschnittliche Reaktionszeit von 1 s als normwertig und „sicher“ angesehen. Basierend darauf konnten die Reaktionszeiten der Patienten prä- und postoperativ und ihre Fähigkeit zur Selbsteinschätzung (s. Punkt 4.4.) evaluiert werden.

Die Einordnung der BRT von rechtsseitigen HTEP-Patienten in den Kontext dieses „fiktiven“ Normwerts zeigte: alle Patienten lagen vor der OP unterhalb der 1000 ms BRT und waren dementsprechend fahrtauglich. Nach zwei Wochen lagen nur noch zwei Patienten mit ihren Werten darunter und nach vier Wochen erreichten alle Patienten schnellere Ergebnisse als 1000 ms.

Auch Hernandez *et al.* deklarierten alle ihre HTEP-Patienten als der Normalbevölkerung nicht unterlegen, jedoch auf Basis des von Green genannten Grenzwerts von 1,25 s⁷². MacDonald *et al.*, die die strengste Grenze von 700 ms ansetzten, fanden zwar, dass die präoperative BRT ihrer 12 rechtsseitigen HTEP-Patienten mit 704ms diese Schwelle knapp überschritt, relativierten die Aussagekraft dieser Tatsache jedoch und schrieben, dass „mindestens die Hälfte der Patienten nichtsdestotrotz fahrtauglich sei, basierend auf einer realistischen Betrachtung ihrer einzelnen Reaktionsgeschwindigkeiten“⁷⁷.

Neumann *et al.* vertraten ebenfalls die Meinung, dass HTEP-Patienten präoperativ der Normalbevölkerung in ihrer BRT nicht unterlegen sind, zogen zum Vergleich aber eine eigene Kontrollgruppe heran⁷³. Interessanterweise fanden sie heraus, dass sich die, mit einem „Wiener Determinationsgerät“ ermittelten, Mittelwerte der BRT der 101 rechtsseitigen HTEP-Patienten und die mittlere BRT der 66 Kontrollprobanden auch

zu den beiden postoperativen Messzeitpunkten nach drei und sechs Wochen nicht signifikant unterschieden. Dieses Ergebnis ähnelt in seiner Aussage dem der vorliegenden Studie, die nach zwei Wochen keinen signifikanten Unterschied der postoperativen Mittelwerte zu den mittleren präoperativen Ausgangswerten feststellen konnte. Anstatt den Patienten eine Fahrtauglichkeit nach drei Wochen zu attestieren, waren die Forscher jedoch der Meinung, dass die signifikant höhere *Standardabweichung* (SD) der TEP-Patienten im Vergleich zu den Kontrollen ein Anzeichen eines inkonstanten Reaktionsvermögens sei. Daher rieten sie Patienten sechs Wochen bis zur Wiederaufnahme der Fahrtätigkeit zu warten. Es ist jedoch möglich, dass auch hier der tatsächliche Zeitpunkt, an dem sich die SD der Patienten nicht mehr signifikant von der der Gesunden unterscheidet, vor der Messung nach sechs Wochen lag und mangels Messtermin nicht detektiert wurde.

Zuletzt seien noch die Ergebnisse der Forschungsgruppe um Franz *et al.* genannt, die, wie auch Neumann *et al.*⁷³, keinen Vergleich mit Normwerten aus nationalen Leitlinien oder der Studie von Green durchführten, sondern die Ergebnisse der 30 Patienten (davon 14 mit rechtsseitiger TEP versorgt) mit 27 Gesunden einer altersadäquaten Kontrollgruppe vergleichen⁷⁰. Die Autoren stellten präoperativ, sowie sechs Wochen und drei Monate nach der OP ein signifikantes Defizit der rechtsseitigen TEP-Patienten im Vergleich zur Kontrollgruppe fest. Daher rieten sie HTEP-Patienten zu einer „angepassten Fahrweise“ während drei Monaten. Anders als in dieser Studie, war für die Autoren weder das Erreichen der individuellen präoperativen BRT oder das Erreichen einer BRT unter 1000 ms entscheidend, was die Vergleichbarkeit limitiert.

4.3. Einflussfaktoren auf BPF und BRT nach endoprothetischem Gelenkersatz

In diesem Punkt soll es darum gehen, was im Falle dieser und anderer Studien ursächlich für die verlängerte Bremsreaktionszeit und verminderte Kraft von HTEP-Patienten sein könnte. Zu Beginn seien einmal die generellen Einflussfaktoren der BRT genannt: Untersuchungen dazu identifizierten zum Einen die Erwartungshaltung bezüglich eines Haltesignals als relevant: Autofahrer waren nach Ankündigung eines Hindernisses deutlich aufmerksamer und reagierten beim Auftauchen der „Gefahr“ durchschnittlich 0,3 s schneller¹⁰⁴. Als weitere Variablen der BRT tauchen in der Fachliteratur Geschlecht, Müdigkeit und Ablenkung des Fahrers¹⁰⁵, Alkohol oder Drogen¹⁰⁶ und das Alter des Fahrers^{90,107} auf. Des Weiteren spielen das ergonomische

Design der Fußpedale¹⁰⁸ und Umgebungsfaktoren wie die Helligkeit der Ampeln, das Verkehrsaufkommen und die Anzahl und Art der Bremsleuchten¹⁰⁹ eine Rolle.

Zu diesen allgemeinen, für jeden Teilnehmer am Straßenverkehr relevanten Faktoren, kann im Spezialfall eines HTEP-Patienten die BPF und die BRT in weiteren Teilaspekten beeinträchtigt sein. Im Folgenden soll erläutert werden, inwieweit dies eine Rolle in der vorliegenden Studie gespielt haben könnte.

Direkt nach dem Eingriff spielt vermutlich die **eingeschränkte Beweglichkeit** aufgrund von Schwellungen, Schmerzen, postoperativem Weichteiltrauma und Muskelinsuffizienzen eine entscheidende Rolle in der Fahrtuntauglichkeit von HTEP-Patienten. Sie verlängert die Zeitspanne, die es dauert, bis der Patient den Fuß dorthin bewegen kann, wo er möchte und vermindert die Kraft, mit der er das Bremspedal betätigen kann. Eine Verlangsamung der motorischen Reaktion und eine Verminderung des Kraftimpulses aufgrund einer **psychologischen Hemmung** ist ebenfalls denkbar. Aus Angst, das neue Gelenk könnte bei schnellen ruckartigen Bewegungen luxieren, bremsen Patienten direkt nach der Operation möglicherweise zögerlicher. Des Weiteren kommt es bei Operationen der unteren Extremitäten durch das Gewebetrauma zu **Störungen des sensomotorischen Systems**¹¹⁰. Die Reaktion eines Organismus auf einen Reiz ist das Ergebnis aus dem Zusammenspiel sensorischer Afferenzen und motorischer Efferenzen und eine Störung dieses fein kalibrierten Systems, beispielsweise durch die Verletzung von Propiozeptoren, kann eine Verlängerung der Reaktionszeit bedeuten. Diese drei Punkte betreffen alle die tatsächliche Ausführung der Bremsbewegung.

Es kann jedoch auch einen Schritt vor der Ausführung, auf kognitiver Ebene, zu einer Störung des Handlungsablaufs und somit zu einer Verlängerung der Reaktionszeit kommen: Vor allem der potentielle Einfluss der **Schmerzmedikation** auf die Reaktionszeit muss bei einer Empfehlung zur Fahrtauglichkeit von HTEP-Patienten bedacht werden. Dubois *et al.* konnten feststellen, dass die Einnahme von Opioiden mit einer erhöhten Unfallwahrscheinlichkeit einhergeht und Gomes *et al.* stellten eine Korrelation zwischen der Opioid-Dosis und der Unfallwahrscheinlichkeit fest^{111,112}.

Auch der ADAC warnt in seiner Informationsbroschüre zu Medikamenten im Straßenverkehr mit Verweis auf die Fachinformation der jeweiligen Medikamente vor einer verkehrsrelevanten Beeinträchtigung durch die sedierende und analgetische Wirkung von Opioiden, die HTEP Patienten in einigen Fällen bei Bedarf verschrieben werden. Zudem werden betroffene Patienten auf mögliche Risiken wie Müdigkeit,

auf den gesamten Anhalteweg berechnen: Die präoperative BRT von 0,671 ms entspricht einem Anhalteweg von 64,1m bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h. Eine Verlängerung der BRT auf 836,4 ms, wie sie sechs Tage nach der Operation gemessen wurde, würde in einem 4,7 m längeren Anhalteweg von 68,8 m resultieren. Andererseits würde die nach sechs Wochen signifikant kürzere Reaktionszeit von 607 ms zu einer Verkürzung von 1,7 m des Anhaltewegs auf 62,4 m führen.

Auch wenn beide Zahlen nicht extrem groß erscheinen, könnten diese wenigen Meter im Ernstfall den Unterschied zwischen einem unangenehmen, aber nicht dramatischen Schreckensmoment für Fahrer und Fußgänger und einer tatsächlichen Kollision bedeuten. Daher ist es von immenser Bedeutung, dass sich Patienten und Ärzte bewusst sind, dass bereits kleine Defizite - egal ob durch Bewegungseinschränkung, Schmerzen oder andere Umgebungsfaktoren - einen großen Einfluss auf die Verkehrstauglichkeit eines Menschen haben können.

4.4. Die Rolle von Fragebögen und Selbsteinschätzung

In den Punkten 4.1.1. wurde der Verlauf der BPF im Hinblick auf die individuelle prä/postoperativen Performance und in Punkt 4.1.2. unter dem Aspekt des BPF-Normwerts von 200 N diskutiert und mit der verfügbaren Literatur verglichen. In den Punkten 4.2.1. und 4.2.2. erfolgte die Diskussion der Ergebnisse der Studie zur BRT ebenfalls mit Blick auf prä- und postoperative Werte der Patienten und im Vergleich mit in der Fachliteratur angegebenen Normwerten. Es wurden Widersprüche und Konsens mit dem aktuellen Stand der Wissenschaft erörtert.

Neben den vorgestellten klinischen Studien, die sich mit der Erhebung der objektiv messbaren Bremsparameter BPF und BRT befassen, gibt es jedoch eine Reihe von Studien, die Fragebögen an HTEP-Patienten versandten, um den Zeitpunkt der Rückkehr in den Verkehr zu ermitteln^{34,65,66,68}. In diesen Fällen trauten Wissenschaftler den Patienten zu, ihre Fahrtüchtigkeit selbst am besten einschätzen zu können und eine geeignete Zeit bis zur Wiederaufnahme des Fahrens abzuwarten. Dies erscheint vor dem Hintergrund der rechtlichen Situation im Falle eines Unfalls durchaus sinnvoll. Häufig wird dem behandelnden Arzt die uneingeschränkte Autorität bezüglich der zeitlichen Empfehlung zur Rückkehr in den Straßenverkehr von Patientenseite, Straßenverkehrsbehörden und Versicherungen zugewiesen⁶², wenngleich im Falle eines Unfalls der Patient selbst seine Entscheidung zur Rückkehr in den Straßenverkehr rechtfertigen muss (s. Punkt 4.5.).

Abbas *et al.* kamen 2011 nach Auswertung von 130 Patientenfragebögen zu dem Ergebnis, dass nach sechs bis acht Wochen 81 % (105) der Befragten wieder Auto fahren⁶⁶. Zwar wurden dabei rechts- und linksseitige TEP-Patienten befragt, jedoch berichteten die Autoren, dass es keinen Unterschied hinsichtlich der Fahraktivität der beiden Gruppen gab. Batra *et al.* stellten 2018 dieses Ergebnis im Zuge ihrer eigenen Studie in Frage⁶⁵. Sie ermittelten mit Hilfe eines Fragebogens, dass von insgesamt 198 Patienten, die eine minimalinvasive „bikini hip arthroplasty“ (BHA) erhalten hatten, 76 % (138) nach drei Wochen ihre Fahrtätigkeit wieder aufgenommen hatten. 14 % taten dies bereits im Laufe der ersten Woche, 39 % während der zweiten Woche und 23 % in der dritten Woche. 71 der 108 Patienten hatten einen rechtsseitigen Hüftgelenkersatz erhalten, jedoch wiesen die Autoren darauf hin, dass generell kein signifikanter Unterschied zwischen der operierten Seite und dem Zeitpunkt der Rückkehr in den Straßenverkehr vorhanden war. Diese Zahlen untermauern das Ergebnis der vorliegenden Studie weiter, dass Patienten schon zwischen zwei bis vier Wochen bereit für eine Rückkehr in den Straßenverkehr sind. Interessanterweise gaben laut Batra *et al.* 98 % der Patienten an, sich in dem Moment der Entscheidung wieder Auto zu fahren, sehr selbstbewusst gefühlt zu haben. Dieser Aspekt der „Selbsteinschätzung“ wurde auch in der vorliegenden Studie näher betrachtet. Das Ergebnis war sehr eindeutig: Patienten zeigten sich bei der Beurteilung ihrer eigenen Fahrtauglichkeit nach der OP eher zurückhaltend. 84 % der Patienten (21 von 25) waren gemessen an ihrer Reaktionszeit und Bremskraft wieder vor dem von ihnen als „geeignet“ empfundenen Moment wieder fahrtüchtig. Drei der 25 (12 %) schätzten sich exakt richtig ein und hatten zu dem von ihnen genannten Zeitpunkt wieder verkehrstaugliche Werte. Patienten scheinen somit per se Vorsicht bei der Rückkehr zu Alltagsaktivitäten walten zu lassen und es scheint unbegründet, sie durch monatelange Fahrverbote vor nicht-vorhandenem „Übermut“ schützen zu wollen.

4.5. Rechtliche Situation und Implikationen für den Klinikalltag

Der vorherige Punkt illustriert, dass es nicht sinnvoll ist, Patienten durch strikte Verbote von ärztlicher Seite das Gefühl zu geben, dass sie die Entscheidung bezüglich ihrer Fahrtauglichkeit nicht selbst treffen können oder dürfen. Ein Verbot verleitet dazu, dass sich Patienten von der Verantwortung, eine Entscheidung zu treffen, entbunden fühlen, wengleich diese „Entbindung“ gar nicht möglich ist, wie der folgende Exkurs in die Gesetzeslage in Deutschland erläutern soll.

Laut Absatz 1, § 31 der StVZO (Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung) muss „wer ein Fahrzeug oder einen Zug miteinander verbundener Fahrzeuge führt, [...] zur selbstständigen Leitung geeignet sein“. Diese Eignung ist unabhängig von der Gültigkeit der Fahrerlaubnis. Prinzipiell sind Erkrankungen und Mängel, bei denen die „Eignung“ nicht gegeben ist und körperliche und geistige Anforderungen des sicheren Fahrens nicht erfüllt werden können, in Anlage 4 der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) definiert. In Fällen wie beispielsweise Herzinsuffizienzen mit Vigilanzstörungen, Erkrankungen des Nervensystems oder schweren chronischen Psychosen etc. entscheidet ein ärztlicher Gutachter in Form eines „Facharztes mit verkehrsmedizinischer Qualifikation“ oder eines „Arztes in einer Begutachtungsstelle für Fahreignung“, ob die Erlaubnis entzogen wird (§ 2 Absatz 8 StVG und § 11 Absatz 2 FeV).

Im Falle von HTEP-Patienten stellt sich die Situation etwas anders dar, da die Einschränkungen der „Eignung“ meistens nur vorübergehend bestehen.

In diesem Spezialfall könnten die zu erfüllenden, oben genannten „körperlichen und geistigen Anforderungen“ folgendermaßen formuliert werden:

1. Der Patient muss eine ausreichende postoperative und posttraumatische Rehabilitation im Sinne einer reibungslosen Funktionsfähigkeit aller zum sicheren Fahren benötigten Gelenke und Muskeln vorweisen. Er muss zu jedem Zeitpunkt die volle Kontrolle über sein Fahrzeug haben. Dies schließt einen festen Griff mit beiden Händen am Lenkrad, eine ausreichende Kraft zur Betätigung des Bremspedals und eine ausreichende Geschwindigkeit der Bremsbewegung ein (= körperliche Anforderungen)
2. Er darf weder durch Medikamente noch durch Wundschmerz in seiner Fahrtüchtigkeit und seiner Bremsreaktionszeit eingeschränkt sein (= geistige Anforderung)

Die meisten Patienten können direkt nach einem künstlichen Gelenkersatz häufig mehrere dieser Kriterien nicht mehr erfüllen und sind dadurch laut Gesetz nicht fahrtauglich. Gemäß § 46 Absatz 1 FeV hat die Fahrerlaubnisbehörde jedoch nur bei denen in Anlage 4 genannten Erkrankungen die Pflicht, die Fahrerlaubnis zu entziehen. In allen anderen Fällen von Personen, die bereits im Besitz der Fahrerlaubnis sind und sich als ungeeignet zum Führen von Kraftfahrzeugen erweisen,

obliegt „die Pflicht zur Vorsorge (...) dem Verkehrsteilnehmer selbst oder einem für ihn Verantwortlichen“ (§ 2 Absatz 1 FeV).

Um dieser „Pflicht zur Vorsorge“ nach § 2 der FeV nachzukommen, setzen beinahe alle Patienten, auch auf Anraten ihrer betreuenden Ärzte, auf unterschiedliche lange Perioden der kompletten „Fahrabstinenz“. Aufgrund mangelnder klinischer und gesetzlicher Leitlinien zum Thema der Fahrtauglichkeit nach totalendoprothetischem Hüftgelenkersatz^{62,63,115,116} und aus Angst im Falle eines Unfalls rechtlich belangt zu werden, sind viele Orthopäden jedoch unsicher bei der Empfehlungsformulierung. 2008 gaben 68 % der von Chen *et al.* befragten Operateure Zweifel bei der Beantwortung der Frage, ab wann ihr Patient wieder Auto fahren darf, an und 76 % hatten keine kohärente Strategie der Empfehlungsformulierung⁶⁴.

Diese generelle Unsicherheit entbindet Ärzte allerdings nicht von ihrer Pflicht, Patienten im Rahmen der Sicherheitsaufklärung (§ 630 c Absatz 2 BGB) über die Einschränkung der Fahreignung aufzuklären. Hierbei liegt die große Schwierigkeit für die behandelnden Mediziner nicht im Hinweis auf die eingeschränkte Fahreignung, sondern in der Beantwortung der Frage *wie lange* diese bestehen wird. Die Vielzahl der Faktoren, die der einfache Begriff „Fahrtüchtigkeit“ vereint und die Individualität jedes Einzelfalls bedingen die Komplexität dieser Entscheidung.

Die Messung von Bremsparametern wie BPF und BRT im großen Maß, mit Hilfe eines Fahrsimulators ist umständlich und aus ökonomischen Gründen als Standard in Kliniken und Praxen nicht umsetzbar. Abschließend sollen daher Lösungsansätze diskutiert werden, die bei der problematischen Abgrenzung der Verantwortlichkeit zwischen Arzt und Patient und der Beantwortung der Frage nach Fahrtüchtigkeit helfen könnten.

Roberts *et al.* griffen das Dilemma für Ärzte in ihrem Paper „Doctor, can I drive?: The need for a rational approach to driving after musculoskeletal injury“ auf und schlugen am Ende einen „Vier-Punkte-Plan“ vor, der die Verantwortlichkeit und Pflichten klar zwischen Arzt und Patient aufteilt. Dieser besteht aus den folgenden Punkten:

1. Erstellung eines Dokuments zur Patienteninformation, das die hausinterne Regelung zur Handhabung der Frage nach Fahrtauglichkeit klärt. Dieses Dokument sollte den Hinweis enthalten, dass die ultimative Verantwortung der Entscheidung zur Rückkehr in den Straßenverkehr und die Haftung im Falle eines Unfalls ausschließlich beim Patienten liegt.

2. Anweisung zur Durchführung eines Selbsttests im Beisein eines Familienangehörigen auf einem Verkehrsübungsplatz vor der Wiederaufnahme der Fahrtätigkeit. Durch plötzliche Stopps, hartes Bremsen und Lenkübungen sollen Patienten subjektiv überprüfen, ob sie ihre präoperative Fahrtüchtigkeit wiedererlangt haben.
3. In Spezialfällen (wie Busfahrern oder Lkw-Fahrern) und bei Zweifeln am Resultat des Selbsttests, sollte zusätzlich eine offizielle Prüfung der Fahrtauglichkeit durch einen von der Fahrerlaubnisbehörde gestellten verkehrsmedizinischen Gutachter erfolgen.
4. Patienten und Ärzte sollten sich über lokale und nationale Gesetze informieren, die die vorstehenden drei Punkte beeinflussen könnten.

Der wichtigste Punkt aus ärztlicher Sicht ist Punkt 1 dieses Aktionsplans. Er könnte neben dem Hinweis auf die Eigenverantwortung des Patienten auch die Warnung des Einflusses von Schmerzmedikamenten auf die Fahrtüchtigkeit beinhalten und so hoffentlich verhindern, dass Patienten vor Absetzen der Medikation wieder ihre Fahrtätigkeit aufnehmen. Laut der Studie von Chen *et al.* fuhren 36 % der unfallchirurgischen Patienten ohne jegliche Konsultation ihres Arztes wieder Auto und 35 % standen zum Zeitpunkt der Wiederaufnahme der Fahrtätigkeit noch unter dem Einfluss von Schmerzmitteln⁶⁴. Ein Patientenflyer würde sie zumindest auf die damit verbundenen Risiken hinweisen und hoffentlich zu einer reflektierten Entscheidung führen. Es bleibt jedoch die Frage, inwieweit eine zeitliche Empfehlung Teil einer solchen hausinternen Regelung sein kann und sein sollte. Die Autoren des Papers sind dagegen und führen aus, dass der Arzt Bedenken hinsichtlich der Fahrtauglichkeit jederzeit offen ansprechen, sich mit einer Aussage zu einem genauen Zeitpunkt der Wiederherstellung der Fahrtauglichkeit jedoch zurückhalten sollte⁶².

In dem Review von Marecek *et al.* stellen die Autoren immerhin fest, dass die meisten Operateure sich einig sind, dass eine Vollbelastung für die Freigabe für Teilnahme am Straßenverkehr essentiell ist⁶⁰. Bei entsprechendem Zustand der Hüftmuskulatur sollte dies im Regelfall spätestens sechs Wochen nach der Operation möglich sein³⁸. Eventuell stellen „Checkpoints“, wie die schmerzfreie Vollbelastung des betroffenen Beins, eine gute Ergänzung des Informationsflyers dar: Durch Formulierung von Gegebenheiten, die vor der Wiederaufnahme des Fahrens erfüllt sein müssen,

respektiert man die Warnung von Roberts *et al.* vor einer genauen Zeitaussage und wird gleichzeitig dem Wunsch der Patienten nach einer Orientierungshilfe gerecht. Inspiration liefert hier das „Rapid Rehabilitation Protocol“ von Berger *et al.* Es nennt die Kriterien, die Patienten im Zuge ihrer „fast-track“-Rehabilitation nach mikroinvasiver HTEP-Implantation nacheinander erfüllen sollen:

- erste Vollbelastung: am Tag der OP
- Entlassung aus dem Krankenhaus: Meist ein oder zwei Tage nach dem Eingriff, sobald Patienten eigenständig in das Bett hinein- und heraussteigen, sich von einem Stuhl erheben und sich setzen können und 30 m ohne Gehstützen gehen und selbstständig Treppen steigen können
- Wiederaufnahme aller Alltagsaktivitäten (beispielsweise arbeiten): sobald dies ohne Einschränkung möglich ist
- Wiederaufnahme des Fahrens: nach Absetzen der Schmerzmedikamente

Sowohl der „Vier-Punkte-Plan“, als auch das „Rapid-Rehabilitation-Protocol“, können die Fahrtauglichkeit nicht an einen oder mehrere bestimmte Parameter binden. Sie bieten Patienten aber immerhin eine solide Anleitung zur Einschätzung ihres eigenen Rehabilitationsstatus anhand von allgemeinen Meilensteinen.

Im Falle der vorliegenden Studie war es dank des Fahrsimulators tatsächlich möglich, die Fahrtüchtigkeit der Patienten in Form von BPF und BRT zu beziffern und ihren Verlauf zu dokumentieren; doch diese Ausstattung ist im klinischen Setting die absolute Ausnahme. Als unkomplizierte, pragmatische Alternative zur Abschätzung der BRT sei zuletzt der „Step Test“ genannt^{60,85}: Dabei sitzt die Person mit 90° flektiertem Knie- und Hüftgelenk auf einem Stuhl und eine rechteckige Box (2,5 cm x 2,5 cm x 30 cm) wird neben ihrem rechten Fuß platziert. Nun muss der Patient innerhalb von zehn Sekunden so oft wie möglich über diese Box „steigen“ und den Fuß jeweils vollständig neben der Box abstellen, ohne diese beim Transfer zu berühren. Nguyen *et al.*, die diesen Test in ihrem Paper „Driving reaction time before and after anterior cruciate ligament reconstruction“ zum ersten Mal vorstellten, konnten eine statistisch signifikante Korrelation zwischen der im Fahrsimulator erhobenen BRT der Patienten und ihrer Anzahl der „steps“ feststellen⁸⁵. Bevor diese Ergebnisse auf die Klientel der HTEP übertragen werden können, müssen jedoch weitere Studien durchgeführt werden, da Nguyen *et al.* für ihre Untersuchung der Korrelation zwischen

BRT und „step test“ nur Patienten nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands verwendeten.

Bei allen Versuchen, einen Behandlungs- und Rehabilitationsstandard für Patienten nach HTEP zu etablieren, darf man die Individualität, die zwangsläufig mit jedem Fall einhergeht, nicht verleugnen: Der postoperative Verlauf eines 34-jährigen, sportlichen und motivierten Patienten mit Coxarthrose nach aseptischer Hüftkopfnekrose wird sich erheblich vom Verlauf eines 79-jährigen, multimorbiden Patienten mit Coxarthrose aufgrund einer Adipositas unterscheiden. Studien wie diese können selbstverständlich einen wichtigen Beitrag dazu leisten, das Feld der Fahrtauglichkeit nach HTEP besser zu erforschen und die erhobenen Daten werden helfen die Empfehlungen bezüglich einer Fahrtauglichkeit, insbesondere im Bereich der minimalinvasiven Verfahren, weiter zu präzisieren. Die Definition eines exakten Zeitpunkts der Wiederherstellung der Fahrtauglichkeit ist jedoch unmöglich. Durch adäquate Anleitung kann der Arzt jedoch sicherstellen, dass dies kein Problem, sondern eine Chance darstellt und der Patient am Ende eine wohl informierte, seiner individuellen Situation angepasste, Entscheidung trifft.

4.6. Limitationen

Diese Arbeit hat mehrere Limitationen.

Erstens können die gemessenen Werte für die BRT nicht uneingeschränkt mit der Reaktionszeit gleichgesetzt werden, die man im realen Straßenverkehr bei unerwarteten Situationen und Signalen erwarten kann. Obwohl der Versuchsaufbau mit Hilfe des Fahrsimulators und dem zufällig ausgelösten Lichtsignal so realitätsnah wie möglich gestaltet wurde, wurde in Studien bewiesen, dass eine Erwartungshaltung einen signifikanten Einfluss auf die BRT hat⁹⁰.

Des Weiteren war die Studienpopulation mit 25 Patienten eher klein. Die größte Problematik bei der Rekrutierung geeigneter Patienten bestand darin, dass sich die Anschlussheilbehandlung oft direkt an den stationären Aufenthalt anschloss. Dies entsprach genau dem Zeitraum der dritten und vierten Messung. Um eine erfolgreiche Teilnahme an der Studie zu ermöglichen, mussten Patienten also entweder von Angehörigen aus der Reha-Einrichtung zur Klinik transportiert werden oder sie mussten die Rehabilitation in einer nahegelegenen Einrichtung absolvieren, damit ein Transport zur Klinik organisiert werden konnte. Das dezimierte die Anzahl potentieller Studienteilnehmer. Einer Fortführung der Studie und einer Generierung weiterer Daten

steht jedoch nichts im Wege. Somit könnte der Datensatz erweitert und die statistische Aussagekraft der Ergebnisse zukünftig verbessert werden.

Eine weitere Limitation war, dass in einigen Fällen, trotz aller Bemühungen, Patienten wegen ihres Reha Aufenthalts nicht zum genauen Messtermin erscheinen konnten und ihn einige Tage früher/später wahrnehmen mussten oder diesen ganz verpassten. Diese Varianz stellt ein Problem für die Vergleichbarkeit der gemessenen Werte dar. Es wurde darauf verzichtet, fehlende Werte zu ergänzen, sondern stattdessen der Grundwert bei der Ermittlung von Prozentzahlen auf die Anzahl der tatsächlich *Gemessenen* angepasst. Um eine mögliche Überbewertung der Fahrtüchtigkeit aufgrund der fehlenden Daten auszugleichen, wurde als Schlussfolgerungen dieser Studie kein exakter Zeitpunkt, sondern ein Zeitfenster formuliert, in dem eine Wiedererlangung der Fahrtüchtigkeit möglich erscheint.

Des Weiteren war, in Ermangelung offizieller Normwerte für BPF oder BRT, nur ein Vergleich von prä- und postoperativen Werten möglich. Einige Studien haben allerdings Bedenken bezüglich der präoperativen Fahrtauglichkeit von HTEP-Patienten angedeutet⁹⁹. Daher wäre es wünschenswert gewesen, zusätzlich eine altersäquivalente gesunde Kontrollgruppe und deren Werte zur Evaluierung der postoperativen Fahrtüchtigkeit von HTEP-Patienten heranziehen zu können. Es wurde versucht diese Limitation durch einen ausführlichen Vergleich mit der Fachliteratur und vergleichbaren Studien, die eine Kontrollgruppe einschlossen, so weit möglich auszugleichen. „Besitz eines gültigen Führerscheins“ und „regelmäßige Fahrtätigkeit vor der OP“ als Einschlusskriterien, dienten ebenfalls dem Zweck, sicherzustellen, dass die präoperativen Werte tatsächlich eine hinreichende Fahrtauglichkeit attestierten und sich als Vergleichswert eigneten. Auch bietet der Vergleich mit den individuellen präoperativen Werten ein genaueres Maß der Wiedererlangung der *eigenen* Fahrtüchtigkeit, da die Varianz der Bremsparametern BPF und BRT innerhalb der Gesamtbevölkerung sehr groß ist, was einer der Gründe für fehlende gesetzliche Mindestwerte ist und ein fixer Normwert nicht allen Patienten gerecht würde.

Limitierend war auch die Verwendung von Excel zur Auswertung der Daten. Nach der automatischen Generierung der Fahrtenkurve und des Werts für die maximale BPF, (s. Punkt 2.3.), mussten die Werte für die BRT einzeln aus dem Diagramm in Excel herausgelesen werden. Dabei kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zu Les- oder Tipp-Fehlern kam, obwohl die Daten mehrfach kontrolliert wurden und auf größtmögliche Sorgfalt bei der Arbeit geachtet wurde. Jedoch gab es neben dem

Gesamt-Diagramm noch ein zusätzliches Fenster, in dem die x-Achse mit der Zeit in ms automatisch auf den jeweils entscheiden Zeitrahmen der Bremsung angepasst war. So war eine sehr genaue Ermittlung des BRT möglich, mit Abweichung sich maximal im Bereich von 0,0001 – 0,001 s bewegen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser prospektiven Studie war die Untersuchung der postoperativen Regeneration von Bremspedalkraft und Bremsreaktionszeit nach rechtsseitigem HTEP-Ersatz über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugang. Basierend darauf sollte die postoperative Fahrtüchtigkeit von HTEP-Patienten nach minimalinvasiven Eingriffen neu evaluiert werden. Ein wachsender Anteil jüngerer Patienten an den ohnehin steigenden HTEP-Primärimplantationen, bedeutet wachsende Ansprüche an Implantate, Operateure und den operativen Rahmen: Patienten wollen so schnell wie möglich, so fit wie möglich, wieder in ihren Alltag zurückkehren. Die Rückkehr in den Straßenverkehr und damit in die Mobilität und Selbstständigkeit, ist für viele ein entscheidender Faktor der Lebensqualität.

In der orthopädischen Literatur beklagen mehrere aktuelle Reviews das Fehlen von klaren klinischen und gesetzlichen Leitlinien zum Thema der Fahrtauglichkeit nach totalendoprothetischem Hüftgelenkersatz.

In der vorliegenden Studie wurde daher die Bremsfähigkeit, gemessen an den Parametern BPF und BRT, von 25 rechtsseitigen, minimalinvasiv, über einen anterolateralen Zugang versorgten HTEP-Patienten der Charité Universitätsmedizin Berlin, Campus Charité Mitte, mit Hilfe eines Bremssimulators untersucht. Dazu wurden insgesamt eine präoperative und vier postoperative Messungen (nach sechs Tagen, zwei, vier und sechs Wochen) durchgeführt. Anschließend wurden die postoperativ gemessene BPF und BRT mit dem jeweiligen präoperativen Wert des Patienten und mit aus der Literatur ermittelten Mindestwerten (BPF: 200 N, BRT: 1000 ms) verglichen. Der Test auf Nicht-Unterlegenheit diente dazu einen klinisch relevanten Unterschied der postoperativen BPF und BRT zum Ausgangswert zu determinieren und mit Hilfe des t-Tests wurde ermittelt, ab wann kein signifikanter Unterschied mehr zwischen den präoperativen und postoperativen BPF- und BRT-Werten der Population bestand.

Insgesamt verbesserte sich die durchschnittliche Bremskraft und -reaktionszeit aller Patienten im Laufe des Untersuchungszeitraums (BPF: 455,4 N auf 496,8 N ($p = 0,140$), BRT: 671,3 ms auf 607,4 ms ($p = 0,005$)). Nach zwei Wochen lagen 87,5 % der HTEP-Patienten mit ihrer BPF über dem Mindestwert von 200 N und 92 % hatten eine BRT unterhalb von 1000 ms. Nach zwei Wochen war der Unterschied der BRT zum präoperativen Wert nicht mehr signifikant ($p = 0,071$) und auch im Test auf Äquivalenz wurde die obere Konfidenzgrenze von einer Verlängerung um 200 ms nicht

überschritten. Die BPF der Patienten war nach vier Wochen nicht mehr signifikant kleiner als vor dem Eingriff ($p = 0,843$) und auch hier zeigte der Test auf Nicht-Unterlegenheit keinen klinisch relevanten Unterschied mehr (maximale Verminderung $\epsilon_1 = -65,4$ N bei einer unteren Konfidenzgrenze C_u von -90 N).

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein Wiedereinstieg in den Straßenverkehr vier Wochen nach minimalinvasivem HTEP-Ersatz über einen AL-Zugang in der Mehrheit der Fälle ohne erhöhtes, operationsbedingtes Risiko möglich ist. Zu diesem Zeitpunkt haben sich sowohl die BPF als auch die BRT wieder präoperativen Werten angenähert und liegen größtenteils in Bereichen, die als verkehrssicher angesehen werden. Dies ist deutlich früher als in einigen älteren Studien angegeben, spiegelt jedoch die aktuellsten Forschungsergebnisse zu minimalinvasiven Eingriffen gut wider. Um diese Beobachtung weiter mit Daten zu untermauern, wäre eine Re-evaluation mit mehr Patienten und eine Ergänzung durch Studien nach anderen minimalinvasiven Zugangswegen wünschenswert. Ein großer Vorteil bestünde darin, die Versicherungsträger in die Konzeption einer solchen neuen Studie mit einzubinden. Dies würde sicherstellen, dass Anforderungen ihrerseits berücksichtigt werden können und dass Ergebnisse schnellstmöglich eine großflächige Verbreitung finden.

Diese Studie kam, wie auch alle anderen Untersuchungen zur Fahrtüchtigkeit nach HTEP, zu dem Schluss, dass ein eindeutiger Termin als Antwort auf die Frage „Herr/Frau Doktor, wann darf ich wieder Auto fahren?“ weder möglich noch wünschenswert ist. Aufgrund der Rechtslage, der Individualität eines jeden Falls und der vielen Parameter, die in die Fahrtüchtigkeit hineinspielen, kann ein Arzt die Entscheidung niemals **für** einen Patienten treffen. Er kann ihm jedoch mit den hier veröffentlichten Ergebnissen bei der Einschätzung helfen, insbesondere wenn der Eingriff über einen minimalinvasiven AL-Zugang erfolgte. In jedem Fall sollten Ärzte ihren Patienten jedoch ausführliche Informationen zur postoperativen Fahrtauglichkeit beispielweise in Form eines Flyers zur Verfügung stellen und ihnen bei Nachfragen beratend zur Seite stehen. Ziel ist es, dass der Patient am Ende zuversichtlich ist, eine wohlreflektierte Entscheidung bezüglich seiner eigenen Fahrtüchtigkeit zu treffen. Mit diesem Appell nach einem Wandel weg von strikten Fahrverboten, hin zu einer flexiblen, vom individuellen Fortschritt des Patienten abhängigen Regelung der Rückkehr in den Straßenverkehr, steht diese Studie ganz im Zeichen der Zeit. Ebenso wie immer weniger invasive Operationstechniken und revolutionäre Konzepte wie

„fast-track“ oder „Enhanced Recovery“, zielt diese Haltung darauf, den Impact eines endoprothetischen Eingriffs auf den Alltag des Patienten zu minimieren und so seine schnellstmögliche Genesung zu unterstützen.

6. Literaturverzeichnis

1. Halder AM, Stiehler M und Günther K-P. Historie und Epidemiologie. In: Claes L, ed. *Hüfte und Hüftrevision*. AE-Manual der Endoprothetik. Heidelberg: Springer; 2012.
2. World Health Organization. Chronic rheumatic conditions [Internet]. Geneva: World Health Organisation; c2019.
<http://www.who.int/chp/topics/rheumatic/en/>. Accessed September 12, 2019.
3. Organisation for Economic Corporation and Development. Health at a Glance 2011: OECD indicators [Internet]. [Paris]: OECD Publishing; 2011. ISBN 978-92-64-11153-0. <https://www.oecd.org/els/health-systems/49105858.pdf>. Accessed February 10, 2019.
4. Rabenberg M. *Arthrose*. Berlin: Robert Koch-Inst; 2013.
5. Räuchle M, Cemerka M, Eibenberger B, Breitenseher M. Arthrose – Update 2012. *Radiol*. 2012;52(2):149-155. doi:10.1007/s00117-011-2236-5
6. Ganz R, Leunig M, Leunig-Ganz K, Harris WH. The Etiology of Osteoarthritis of the Hip: An Integrated Mechanical Concept. *Clin Orthop*. 2008;466(2):264-272. doi:10.1007/s11999-007-0060-z
7. Putz R, Simon U, Claes L, Nötzli HP und Wyss TF. Funktionelle Anatomie und Biomechanik. In: Claes L, ed. *Hüfte und Hüftrevision*. AE-Manual der Endoprothetik. Heidelberg: Springer; 2012.
8. Murray RO. The Aetiology of Primary Osteoarthritis of the Hip. *Br J Radiol*. 1965. doi:10.1259/0007-1285-38-455-810
9. Harris WH. Etiology of osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop*. 1986;(213):20-33.
10. Harris WH, Bourne RB, Oh I. Intra-articular acetabular labrum: a possible etiological factor in certain cases of osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Am*. 1979;61(4):510-514.
11. Bretschneider H, Günther K-P. Hüftgelenk – Arthrose und Arthritis. *Orthop Unfallchirurgie Up2date*. 2015;10(03):231-256. doi:10.1055/s-0041-101944
12. Lane NE, Nevitt MC, Lui L-Y, de Leon P, Corr M, for the Study of Osteoporotic Fractures Research Group. Wnt signaling antagonists are potential prognostic biomarkers for the progression of radiographic hip osteoarthritis in elderly Caucasian women. *Arthritis Rheum*. 2007;56(10):3319-3325. doi:10.1002/art.22867

13. Harrasser N, Eisenhart-Rothe R, Biberthaler P. *Facharztwissen Orthopädie Unfallchirurgie*. 1st ed. Heidelberg: Springer-Verlag; 2016.
<https://books.google.de/books?id=AhvqDAAAQBAJ&printsec=copyright&hl=de#v=onepage&q&f=false>.
14. Hackenbroch MH. Coxarthrose. In: König B, Reinhardt D, Schuster H-P, eds. *Kompendium der praktischen Medizin*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2000:1071-1078. doi:10.1007/978-3-642-59754-1_90
15. National Institute for Health and Care Excellence. Osteoarthritis: care and management - Clinical guideline CG177 [Internet]. [London]: NICE; Feb 2014.
https://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html#other. Accessed February 10, 2019.
16. Statistisches Bundesamt. Staat & Gesellschaft - Krankenhäuser - Die 20 häufigsten Operationen [Internet]. [Wiesbaden]: Destatis; c2019.
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Krankenhaeuser/Tabellen/DRGOperationen.html>. Accessed June 26, 2018.
17. Malchau H, Herberts P, Eisler T, Garellick G, Söderman P. THE SWEDISH TOTAL HIP REPLACEMENT REGISTER: *J Bone Jt Surg-Am Vol*. 2002;84:2-20. doi:10.2106/00004623-200200002-00002
18. Fender D, Harper WM, Gregg PJ. Outcome of Charnley total hip replacement across a single health region in England. *J BONE Jt Surg*. 1999;81(4):5.
19. Nilsson A-K. Predictors of patient relevant outcome after total hip replacement for osteoarthritis: a prospective study. *Ann Rheum Dis*. 2003;62(10):923-930. doi:10.1136/ard.62.10.923
20. Katz JN. Preferences, Quality, and the (Under)utilization of Total Joint Arthroplasty: *Med Care*. 2001;39(3):203-205. doi:10.1097/00005650-200103000-00001
21. Faulkner A, Kennedy L, Baxter K, Donovan J, Wilkinson M, Bevan G. Effectiveness of Hip Prostheses in Primary Total Hip Replacement. 1998:146.
22. Holzwarth U, Cotogno G, Institute for Health and Consumer Protection. *Total Hip Arthroplasty: State of the Art, Challenges and Prospects*. Luxembourg: Publications Office; 2011.
23. Wiles P. The surgery of the osteo-arthritic hip. *Br J Surg*. 1958;45(193):488-497. doi:10.1002/bjs.18004519315
24. Smith-Petersen MN. EVOLUTION OF MOULD ARTHROPLASTY OF THE HIP

- JOINT. *J Bone Joint Surg Br.* 1948;30-B(1):59-75. doi:10.1302/0301-620X.30B1.59
25. Kurtz S, Mowat F, Ong K, Chan N, Lau E, Halpern M. Prevalence of primary and revision total hip and knee arthroplasty in the United States from 1990 through 2002. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(7):1487-1497. doi:10.2106/JBJS.D.02441
 26. Chidambaram R, Cobb A g. Change in the age distribution of patients undergoing primary hip and knee replacements over 13 years – an increase in the number of younger men having hip surgery. *Orthop Proc.* 2009;91-B(SUPP_I):152-152. doi:10.1302/0301-620X.91BSUPP_I.0910152
 27. Gurría A, Andriukaitis V. Health at a Glance: Europe 2014. :144.
 28. Mancuso CA, Jout J, Salvati EA, Sculco TP. Fulfillment of Patients' Expectations for Total Hip Arthroplasty: *J Bone Jt Surg-Am Vol.* 2009;91(9):2073-2078. doi:10.2106/JBJS.H.01802
 29. Vissers MM, Bussmann JB, Verhaar JAN, Arends LR, Furlan AD, Reijman M. Recovery of Physical Functioning After Total Hip Arthroplasty: Systematic Review and Meta-Analysis of the Literature. *Phys Ther.* 2011;91(5):615-629. doi:10.2522/ptj.20100201
 30. Venkataramanan V, Gignac MA, Mahomed NN, Davis AM. Expectations of recovery from revision knee replacement. *Arthritis Rheum.* 2006;55(2):314-321. doi:10.1002/art.21856
 31. Lovell TP. Single-Incision Direct Anterior Approach for Total Hip Arthroplasty Using a Standard Operating Table. *J Arthroplasty.* 2008;23(7):64-68. doi:10.1016/j.arth.2008.06.027
 32. Pfeil J, Frank J, Gumpert NM, Laurer H. *Hüftchirurgie.* (Pfeil J, ed.). Heidelberg: Steinkopff; 2008.
 33. Ibrahim MS, Khan MA, Nizam I, Haddad FS. Peri-operative interventions producing better functional outcomes and enhanced recovery following total hip and knee arthroplasty: an evidence-based review. *BMC Med.* 2013;11(1):37. doi:10.1186/1741-7015-11-37
 34. Berger RA, Jacobs JJ, Meneghini RM, Della Valle C, Paprosky W, Rosenberg AG. Rapid Rehabilitation and Recovery with Minimally Invasive Total Hip Arthroplasty: *Clin Orthop.* 2004;429:239-247. doi:10.1097/01.blo.0000150127.80647.80

35. Müller M, Tohtz S, Dewey M, Springer I, Perka C. Evidence of Reduced Muscle Trauma Through a Minimally Invasive Anterolateral Approach by Means of MRI. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(12):3192-3200. doi:10.1007/s11999-010-1378-5
36. Wohlrab D, Hagel A, Hein W. Vorteile der minimalinvasiven Implantation von Hüfttotalendoprothesen in der frühen postoperativen Rehabilitationsphase. *Z Für Orthop Ihre Grenzgeb.* 2004;142(06):685-690. doi:10.1055/s-2004-832447
37. Xian-long Z, Hao S, Xiao-long Q, Qi W. Anterolateral muscle sparing approach total hip arthroplasty: an anatomic and clinical study. *Chin Med J (Engl).*:6.
38. Wagner M, Breusch SJ, Ewerbeck V, Aldinger PR, Rudert M, Holzapfel BM, Günther K-P, Gotterbarm T, Kirschner P, Halder AM, Grützner PA, Gebhard F, Krischak G, Niggemeyer O, Rüter W, Nöth U, Rackwitz L, Fürst M, Lohmann CH, Niemeier A, Zeiler G und Gradinger R. Operation. In: Claes L, ed. *Hüfte und Hüftrevision.* AE-Manual der Endoprothetik. Heidelberg: Springer; 2012.
39. Alexander Grimberg, Volkmar Jansson (Wissenschaftlicher Direktor), Thoralf Liebs, Oliver Melsheimer, Arnd Steinbrück (Endoprothetik Register Deutschland). Jahresbericht 2017 [Internet]. Berlin: EPRD; 2018. ISBN: 978-3-9817673-3-9. https://www.eprd.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Publikationen/Berichte/EPRD-Jahresbericht_2017_Einzelseiten_Online-Version.pdf. Accessed February 10, 2019.
40. Sendtner E, Boluki D, Grifka J. Aktueller Stand der minimalinvasiven Hüftendoprothetik in Deutschland, neue Implantate und Navigation - Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage. *Z Für Orthop Unfallchirurgie.* 2007;145(03):297-302. doi:10.1055/s-2007-965344
41. Seidlitz C, Kip M. Einführung in das Indikationsgebiet und Verfahren. In: Bleß H-H, Kip MJ, eds. *Weißbuch Gelenkersatz: Versorgungssituation endoprothetischer Hüft- und Knieoperationen in Deutschland.* Springer Open. Berlin Heidelberg: Springer; 2017.
42. Kirschner P, Goebel S, Rudert M und Heisel J. Postoperative Maßnahmen. In: Claes L, ed. *Hüfte und Hüftrevision.* AE-Manual der Endoprothetik. Heidelberg: Springer; 2012.
43. Heisel J, Jerosch J. Standardisierte postoperative Nachbehandlung von Hüftgelenkendoprothesen. 2003. 2003:6.

44. Jerosch J, Heisel J. Standardisierte postoperative Nachbehandlung von Hüftgelenksendoprothesen. In: *Fortbildung Orthopädie/Traumatologie*. Fortbildung Orthopädie. Darmstadt: Steinkopff; 2005.
45. Heisel J, Jerosch J. *Rehabilitation nach Hüft- und Knieendoprothese: Reihe Rehabilitation*. 1st ed. Köln: Deutscher Ärzteverlag; 2007.
46. Weißer M, Zerwes U, Krupka S, Schönfelder T, Klein S, Bleß H-H. Versorgungssituation. In: Bleß H-H, Kip MJ, eds. *Weißbuch Gelenkersatz: Versorgungssituation endoprothetischer Hüft- und Knieoperationen in Deutschland*. Springer Open. Berlin Heidelberg: Springer; 2017.
47. Schwenk W. „Fast-track“-Rehabilitation. In: Gnant M, Schlag PM, eds. *Chirurgische Onkologie*. Vienna: Springer Vienna; 2008:69-80. doi:10.1007/978-3-211-48613-9_9
48. Kehlet H, Dahl JB. Anaesthesia, surgery, and challenges in postoperative recovery. *The Lancet*. 2003;362(9399):1921-1928. doi:10.1016/S0140-6736(03)14966-5
49. Kehlet H, Wilmore DW. Multimodal strategies to improve surgical outcome. *Am J Surg*. 2002;183(6):630-641. doi:10.1016/S0002-9610(02)00866-8
50. Hansen TB. Fast track in hip arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 2017;2(5):179-188. doi:10.1302/2058-5241.2.160060
51. Arbeitsgemeinschaft Endoprothetik. AE Pressemeldung: Hüft- und Knie-Prothese: schon am OP-Tag wieder auf den Beinen [Internet]. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Endoprothetik; 2018 Nov 28. <https://www.ae-germany.com/die-ae/presse/ae-pressemeldungen>. Accessed September 21, 2019.
52. Barbieri A, Vanhaecht K, Van Herck P, Sermeus W, Faggiano F, Marchisio S, Panella M. Effects of clinical pathways in the joint replacement: a meta-analysis. *BMC Med*. 2009;7(1):32. doi:10.1186/1741-7015-7-32
53. Winther SB, Foss OA, Wik TS, Davis SP, Engdal M, Jessen V, Husby OS. 1-year follow-up of 920 hip and knee arthroplasty patients after implementing fast-track: Good outcomes in a Norwegian university hospital. *Acta Orthop*. 2015;86(1):78-85. doi:10.3109/17453674.2014.957089
54. Larsen K, Hansen TB, Søballe K, Kehlet H. Patient-reported outcome after fast-track hip arthroplasty: a prospective cohort study. *Health Qual Life Outcomes*. 2010;8(1):144. doi:10.1186/1477-7525-8-144

55. World Health Organization. Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit [Internet]. [Berlin]: Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI); c2005.
<https://www.dimdi.de/dynamic/de/klassifikationen/downloads/?dir=icf>.
Accessed February 10, 2019.
56. Legh-Smith J, Wade DT, Hewer RL. Driving after a stroke. *J R Soc Med*. 1986;79(4):200-203.
57. Hallett JD, Zasler ND, Maurer P, Cash S. Role Change After Traumatic Brain Injury in Adults. *Am J Occup Ther*. 1994;48(3):241-246.
doi:10.5014/ajot.48.3.241
58. Stergiou-Kita M, Grigorovich A. Community Reintegration Following a Total Joint Replacement: A Pilot Study: Community Re-integration Following a Total Joint. *Musculoskeletal Care*. 2014;12(2):103-113. doi:10.1002/msc.1065
59. Moon S. Untersuchung des Gleichgewichts und des Gangbildes bei Patienten mit Knie- und Hüftendoprothese. 2014. <https://d-nb.info/1058857509/34>.
Accessed February 4, 2019.
60. Marecek GS, Schafer MF. Driving After Orthopaedic Surgery: *J Am Acad Orthop Surg*. 2013;21(11):696-706. doi:10.5435/JAAOS-21-11-696
61. Rees JL, Sharp RJ. Safety to drive after common limb fractures. *Injury*. 2002;33(1):51-54. doi:10.1016/S0020-1383(00)00153-4
62. Roberts C, Protzer L. "Doctor, can I drive?": The need for a rational approach to return to driving after musculoskeletal injury. *Injury*. 2016;47(3):513-515.
doi:10.1016/j.injury.2016.02.010
63. Nuñez VA, Giddins GEB. "Doctor, when can I drive?": an update on the medico-legal aspects of driving following an injury or operation. *Injury*. 2004;35(9):888-890. doi:10.1016/j.injury.2003.11.009
64. Chen V, Chacko AT, Costello FV, Desrosiers N, Appleton P, Rodriguez EK. Driving After Musculoskeletal Injury: Addressing Patient and Surgeon Concerns in an Urban Orthopaedic Practice. *J Bone Jt Surg-Am Vol*. 2008;90(12):2791-2797. doi:10.2106/JBJS.H.00431
65. Batra A, Gogos S, Nizam I. When do patients drive after minimally invasive anterior hip replacements? A single surgeon experience of 212 hip arthroplasties. *SICOT-J*. 2018;4:51. doi:10.1051/sicotj/2018045
66. Abbas G, Waheed A. Resumption of Car Driving after Total Hip Replacement.

- J Orthop Surg*. 2011;19(1):54-56. doi:10.1177/230949901101900112
67. Berger RA. Total Hip Arthroplasty Using the Minimally Invasive Two-Incision Approach. *Clin Orthop*. 2003;(417):10.
 68. J. Muh S, Shishani Y, Streit J, Lucas CA, Sahgal V, Kraay M, Gobezie R. The Impact of Joint Replacement on Driver Function and Safety. *Open J Orthop*. 2012;02(03):121-125. doi:10.4236/ojo.2012.23022
 69. Poehling-Monaghan KL, Kamath AF, Taunton MJ, Pagnano MW. Direct Anterior versus Miniposterior THA With the Same Advanced Perioperative Protocols: Surprising Early Clinical Results. *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(2):623-631. doi:10.1007/s11999-014-3827-z
 70. Franz A, Mannel H, Brüggemann G-P, Schmidt J. Bremsfähigkeit von Patienten nach endoprothetischer Versorgung des Hüftgelenks – Einfluss von Prothesendesign und präoperativem Status. *Z Für Orthop Unfallchirurgie*. 2012;150(05):533-538. doi:10.1055/s-0032-1315245
 71. Ganz SB, Levin AZ, Peterson MG, Ranawat CS. Improvement in Driving Reaction Time After Total Hip Arthroplasty: *Clin Orthop*. 2003;413:192-200. doi:10.1097/01.blo.0000072468.32680.ff
 72. Hernandez VH, Ong A, Orozco F, Madden AM, Post Z. When Is It Safe for Patients to Drive after Right Total Hip Arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2015;30(4):627-630. doi:10.1016/j.arth.2014.11.015
 73. Neumann U, Krause P, Erler K, Brückner L. Veränderung des Reaktionsvermögens bei Autofahrern nach Implantation eines künstlichen Hüftgelenkes (HTEP). *Aktuelle Traumatol*. 2003;33(3):135-137. doi:10.1055/s-2003-40687
 74. Qurashi S, Chinnappa J, Lord SJ, Nazha A, Gordon J, Chow J. Driving After Microinvasive Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017;32(5):1525-1529. doi:10.1016/j.arth.2016.11.052
 75. Ruel AV, Lee Y, Boles J, Boettner F, Su E, Westrich GH. A Novel Assessment of Braking Reaction Time Following THA Using a New Fully Interactive Driving Simulator. *HSS J* ®. 2015;11(2):143-147. doi:10.1007/s11420-015-9437-9
 76. Jordan M, Hofmann UK, Grünwald J, Meyer M, Sachsenmaier S, Wülker N, Kluba T, Ipach I. Influence of Left- and Right-Side Total Hip Arthroplasty on the Ability to Perform an Emergency Stop While Driving a Car. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95(9):1702-1709. doi:10.1016/j.apmr.2014.03.009

77. MacDonald W, Owen J. The effect of total hip replacement on driving reactions. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70-B(2):202-205. doi:10.1302/0301-620X.70B2.3346288
78. Al-Khayer A, Schueler A, Kruszewski G, Armstrong G, Grevitt MP. Driver Reaction Time Before and After Treatment for Lumbar Radiculopathy: *Spine.* 2008;33(15):1696-1700. doi:10.1097/BRS.0b013e31817b5bb7
79. Huang H-T, Liang J-M, Hung W-T, Chen Y-Y, Guo L-Y, Wu W-L. Timeframe for return to driving for patients with minimally invasive knee arthroplasty is associated with knee performance on functional tests. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014;15(1). doi:10.1186/1471-2474-15-198
80. Liebensteiner MC, Rochau H, Renz P, Smekal V, Rosenberger R, Birkfellner F, Haid C, Krismer M. Brake response time returns to the pre-surgical level 6 weeks after unicompartmental knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(8):1926-1931. doi:10.1007/s00167-014-3050-1
81. Schwienbacher S, Aghayev E, Hofmann UK, Jordan M, Marmotti A, Röder C, Ipach I. Driving and emergency braking may be impaired after tibiotalar joint arthrodesis: conclusions after a case series. *Int Orthop.* 2015;39(7):1335-1341. doi:10.1007/s00264-015-2789-4
82. Gerdes B. Druck, Differenzdruck. In: Gevatter H-J, Grünhaupt U, eds. *Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik in der Produktion.* VDI-Buch. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 2006. doi:10.1007/3-540-34823-9
83. Raudszus D, Josten J, Zlocki A, Eckstein L. Modellierung der Bremsreaktion des Fahrers zur Bewertung von aktiven Fußgängerschutzsystemen - Bestimmung des Bremsverhaltens im Fahrsimulator. *Grundlagen Anwendungen Mensch-Masch-Interakt.* 2013:391-400.
84. Mortimer. Brake force requirement study: driver vehicle braking performance as a function of brake system design variables. *Appl Ergon.* 1971;2(3):183. doi:10.1016/0003-6870(71)90053-6
85. Nguyen T, Hau R, Bartlett J. Driving reaction time before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8(4):226-230. doi:10.1007/s001670000115
86. Hofmann U, Thumm S, Jordan M, Mittag F, Rondak I, Ipach I. How do ankle braces affect braking performance? An experimental driving simulation study with healthy volunteers. *J Rehabil Med.* 2015;47(10):963-969.

doi:10.2340/16501977-2011

87. Thumm, S. Einfluss des Tragens von Hüft- und Wirbelsäulenorthesen sowie -bandagen auf die Brems-Reaktionszeit von Fahrern eines Kraftfahrzeuges [Internet]. Tübingen: Publikationen Universitätsklinik Tübingen; 2017. [https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/bitstream/handle/10900/77718/Thumm_Brems-Reaktionszeit%20unter%20Ortheseneinfluss_Diss%20\(2017\).pdf?sequence=1](https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/bitstream/handle/10900/77718/Thumm_Brems-Reaktionszeit%20unter%20Ortheseneinfluss_Diss%20(2017).pdf?sequence=1). Accessed May 4, 2019.
88. Spalding T, Kiss J, Kyberd P, Turner-Smith A, Simpson A. Driver reaction times after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 1994;76-B(5):754-756. doi:10.1302/0301-620X.76B5.8083265
89. Mortimer RG. Foot Brake Pedal Force Capability of Drivers. *Ergonomics.* 1974;17(4):509-513. doi:10.1080/00140137408931381
90. Green M. "How Long Does It Take to Stop?" Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times. *Transp Hum Factors.* 2000;2(3):195-216. doi:10.1207/STHF0203_1
91. Rod F, Favrat B, Belaieff W, Hoffmeyer P. Resuming motor vehicle driving following orthopaedic surgery or limb trauma. *Swiss Med Wkly.* November 2012. doi:10.4414/smw.2012.13716
92. Althaus, D. Ein praxisorientierter empirischer Ansatz zur Bestimmung des Ausfallverhaltens konventioneller Bremssysteme in Personenkraftwagen [Internet]. Wuppertal: Universitätsbibliothek Wuppertal; 2009. <https://core.ac.uk/download/pdf/33795372.pdf>. Accessed September 21, 2019.
93. Rodriguez JA, Deshmukh AJ, Rathod PA, Greiz ML, Deshmane PP, Hepinstall MS, Ranawat AS. Does the Direct Anterior Approach in THA Offer Faster Rehabilitation and Comparable Safety to the Posterior Approach? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(2):455-463. doi:10.1007/s11999-013-3231-0
94. Europäische Union. VERORDNUNG (EG) Nr. 631/2009 DER KOMMISSION vom 22. Juli 2009 mit Durchführungsbestimmungen für Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 78/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Schutzes von Fußgängern und anderen ungeschützten Verkehrsteilnehmern sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinien 2003/102/EG und 2005/66/EG [Internet]. Brüssel: Amtsblatt der Europäischen

- Union; 2009, Jul 22. 2009. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9c93ec30-9f81-4e4c-a3a2-81e6d974878b/language-de>. Accessed February 9, 2019.
95. Straßen Verkehrs Zulassungs Ordnung vom 26.April 2012, §41, Absatz 4. https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/___41.html. Accessed February 15, 2019.
 96. Europäische Union. RICHTLINIE 98/91/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. Dezember 1998 über Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger, die zur Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße bestimmt sind, und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG über die Betriebserlaubnis für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger [Internet]. Brüssel: Amtsblatt Nr. L 081 der Europäischen Union; 1998, Mar 18. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A31998L0012>. Accessed February 10, 2019.
 97. Europäische Union. VERORDNUNG (EG) Nr. 661/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit (Text von Bedeutung für den EWR) [Internet]. Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union; 2009, Jul 31. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:32009R0661>. Accessed October 2, 2019.
 98. Europäische Union. VERORDNUNG (EG) Nr. 78/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. Januar 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen im Hinblick auf den Schutz von Fußgängern und anderen ungeschützten Verkehrsteilnehmern, zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinien 2003/102/EG und 2005/66/EG. [Internet]. Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union; 2009, Feb 04. <https://publications.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/938a725f-d32b-4216-bf23-143c3ac7e8a2/language-de>. Accessed February 10, 2019.
 99. Hofmann UK, Jordan M, Rondak I, Wolf P, Kluba T, Ipach I. Osteoarthritis of the knee or hip significantly impairs driving ability (cross-sectional survey). *BMC Musculoskelet Disord*. 2014;15(1). doi:10.1186/1471-2474-15-20
 100. Lee HC, Lee AH, Cameron D, Li-Tsang C. Using a driving simulator to identify

- older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *J Safety Res.* 2003;34(4):453-459.
101. *MicroPort Orthopedics Inc. SuperPath® Direct Superior Portal Assisted Approach for THA - Animation [Internet]. [Location Unknown]: MicroPort Orthopedics Inc.; C2017. https://www.youtube.com/watch?v=Z1xD9Pa_GmQ. Accessed January 7, 2020.*
 102. Burkhardt M. *Reaktionszeiten Bei Notbremsvorgängen*. Köln: Verlag TÜV Rheinland; 1985.
 103. G Coley, A Wesley, N Reed, I Parry (Transport Research Laboratory) [Internet]. *TRL Report: Driver Reaction Times to Familiar but Unexpected Events. Berks: TRL Limited; 2010, Jan 5. Published Project Report PPR 313, ISBN: 978-1-84608-920-6. <https://trl.co.uk/reports/PPR313>. Accessed February 10, 2019.*
 104. Johansson G, Rumar K. Drivers' Brake Reaction Times. *Hum Factors J Hum Factors Ergon Soc.* 1971;13(1):23-27. doi:10.1177/001872087101300104
 105. Laurell H, Lisper H-O. Changes in Subsidiary Reaction Time and Heart-Rate During Car Driving, Passenger Travel and Stationary Conditions*. *Ergonomics.* 1976;19(2):149-156. doi:10.1080/00140137608931527
 106. Rafaelsen OJ, Bech P, Christiansen J, Christrup H, Nyboe J, Rafaelsen L. Cannabis and Alcohol: Effects on Simulated Car Driving. *Science.* 1973;179(4076):920. doi:10.1126/science.179.4076.920
 107. Darbutas T, Juodžbalienė V, Skurvydas A, Kriščiūnas A. Dependence of Reaction Time and Movement Speed on Task Complexity and Age. *Medicina (Mex).* 2013;49(1):4. doi:10.3390/medicina49010004
 108. Marques CJ, Cabri J, Barreiros J, Carita AI, Friesecke C, Loehr JF. The Effects of Task Complexity on Brake Response Time Before and After Primary Right Total Knee Arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(5):851-855. doi:10.1016/j.apmr.2007.10.025
 109. Sivak M, Post DV, Olson PL, Donohue RJ. Driver Responses to High-Mounted Brake Lights in Actual Traffic. *Hum Factors J Hum Factors Ergon Soc.* 1981;23(2):231-235. doi:10.1177/001872088102300210
 110. Erler K, Neumann U, Brückner L, Babisch J, Venbrocks R, Anders C, Scholle H-C. EMG-Mapping - Anwendung und Ergebnisse zur Erfassung muskulärer Koordinationsstörungen bei Patienten mit Knieendoprothese (Knie-TEP). *Z Für*

- Orthop Ihre Grenzgeb.* 2000;138(03):197-203. doi:10.1055/s-2000-11274
111. Dubois S, Bédard M, Weaver B. The association between opioid analgesics and unsafe driving actions preceding fatal crashes. *Accid Anal Prev.* 2010;42(1):30-37. doi:10.1016/j.aap.2009.06.030
 112. Gomes T, Redelmeier DA, Juurlink DN, Dhalla IA, Camacho X, Mamdani MM. Opioid Dose and Risk of Road Trauma in Canada: A Population-Based Study. *JAMA Intern Med.* 2013;173(3):196. doi:10.1001/2013.jamainternmed.733
 113. Allgemeiner Deutscher Automobil Club e.V.(ADAC). Medikamente im Straßenverkehr. Broschüre Nr.2831334 [Internet]. München: ADAC e.V.; 2013. https://www.adac.de/_mmm/pdf/vm_medikamente_im_strassenverkehr_flyer_0513_48788.pdf. Accessed June 26, 2018.
 114. Allgemeiner Deutscher Automobil Club e.V.(ADAC). Unterrichtsbeispiel: Berechnung des Anhaltewegs [Internet]. München: ADAC e.V. Bereich Verkehrssicherheitsprogramme (VSP); [Datum unbekannt]. https://www.adac.de/_mmm/pdf/verkehr_und_mathe_anhalteweg_45164.pdf. Accessed September 2, 2019.
 115. MacLeod K, Lingham A, Chatha H, Lewis J, Parkes A, Grange S, Smitham PJ. “When can I return to driving?”: A review of the current literature on returning to driving after lower limb injury or arthroplasty. *Bone Jt J.* 2013;95-B(3):290-294. doi:10.1302/0301-620X.95B3.29540
 116. Goodwin D, Baecher N, Pitta M, Letzelter J, Marcel J, Argintar E. Driving After Orthopedic Surgery. *Orthopedics.* 2013;36(6):469-474. doi:10.3928/01477447-20130523-08

7. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Irma Louise Sophie Spies, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Entwicklung der Bremskraft und Bremsreaktionszeit nach totalendoprothetischem Ersatz des rechten Hüftgelenks über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugang“ („Development of brake force and brake reaction time after minimally invasive total hip arthroplasty of the right hip via an anterolateral approach“) selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

8. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

9. Publikationsliste

Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Präsentationen:

Hardt S, Spies S, Kirschbaum S, Perka C, Krüger D, Hipfl C

„Wiedererlangung der Fahrtüchtigkeit nach H-TEP-Implantation – Wann ist Autofahren wieder sicher?“

Vortrag:

- NOUV 2019, Norddeutsche Orthopäden- und Unfallchirurgenvereinigung e.V., Dortmund, 2019
- DKOU 2019, Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V., Berlin, 2019

Sophie Spies hatte folgenden Anteil an der Präsentation:

Erhebung und Auswertung der Patientendaten und der Daten zur Bremskraft- und Bremsreaktionszeit, die mittels des Bremssimulators gemessen wurden und die das Ergebnis der vorliegenden Arbeit darstellen. Im Anschluss erfolgte die Erstellung des Vortrags und die Präsentation an den jeweiligen Kongressterminen.

PD Dr. med. Matthias Pumberger
Betreuender Hochschullehrer

Irma Louise Sophie Spies
Promovendin

10. Danksagung

Persönlich möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Carsten Perka, ärztlicher Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie, für die Initiierung des Bremsprojekts und die Unterstützung im Laufe der Studie bedanken. Ebenso möchte ich PD Dr. med. Matthias Pumberger für die gute Zusammenarbeit und das entgegengebrachte Vertrauen danken. Ich danke Dr. med. Sebastian Hardt für die freundliche Betreuung im Laufe der Monate und dafür, dass er meinen Weg in die Orthopädie und Unfallchirurgie der Charité Campus Mitte gelenkt hat.

Ich danke den Wegbegleitern im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, insbesondere Dr. med. Stefanie Kirschbaum, und dem Pflegepersonal der Stationen 114 und 120 für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung, die mir von allen Seiten zuteilwurde.

Ich möchte mich auch bei allen Patienten für die Zeit und ihr Entgegenkommen im Zusammenhang mit den durchgeführten Studien bedanken.

Zuletzt möchte ich meinen Dank meiner Familie und meinen Freunden aussprechen, die mir in Zeiten großer Anspannung die nötige Geduld und Liebe entgegenbrachten.

11. Bescheinigung Statistik



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE)

Direktor: Prof. Dr. Geraldine Rauch

Postanschrift:
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin
Besucheranschrift:
Reinhardtstr. 58 | 10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 450 562171
geraldine.rauch@charite.de
<https://biometrie.charite.de/>



Name, Vorname: Spies, Sophie

Emailadresse: [REDACTED]

Matrikelnummer: [REDACTED]

PromotionsbetreuerIn: Dr. Sebastian Hardt

Promotionsinstitution/ Klinik: CMSC Charité

Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Frau Sophie Spies innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- Termin 1: 15.04.2019
- Termin 2: 09.05.2019

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- Eine Fallzahlplanung für die Untersuchung ist nicht notwendig, da es sich um eine explorative Analyse einer entsprechend dem primären Endpunkt gewörmerten Studie handelt
- Eine Darstellung des Zusammenhangs der tatsächlichen und selbst wahrgenommenen Fahrtauglichkeit in einer Vierfeldertafel ist angemessen
- Zur Untersuchung der Wiedererlangung der Fahrtauglichkeit empfiehlt sich ein Test auf Nichtunterlegenheit (mit entsprechender vorab definierter Nichtunterlegenheitsgrenze) zum präoperativen Wert sowie ein Vergleich der postoperativen Werte zu entsprechenden objektiven Normwerten
- Zur Analyse der Einflüsse auf die präoperative Bremskraft bzw. Reaktionszeit empfiehlt sich ein lineares Regressionsmodell. Einzelvergleiche sind zu vermeiden.


Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 04.10.2019

Name des Beraters/ der Beraterin: Robert Röhle

[REDACTED]

Unterschrift Berater, Institutsstempel


UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN
Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie
Campus Charité Mitte
Charitéplatz 1 | D-10117 Berlin
Besucheranschrift: Rahel-Hirsch-Weg 5