

Aus dem Fachbereich
für Orthopädie
Prof. Dr. med Dieter Kohn
der medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

Mobilität im Alter

Beeinflusst die Arthrose des rechten Hüftgelenks die
Fahrtüchtigkeit und ab wann können Patienten nach einer
Alloarthroplastik der rechten Hüfte wieder Autofahren?

- eine prospektive Studie am Fahrsimulator -

Zur Erlangung des medizinischen Doktorgrades
der Universität des Saarlandes

Vorgelegt 2018 von
Sarah-Sophia Bernhardt
Geboren am 19.11.1991 in Speyer

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Michael D. Menger

1. Gutachter

2. Gutachter

Jahr der Promotion 2018

Gewidmet meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1	ZUSAMMENFASSUNG	1
1.2	SUMMARY	4
2	EINLEITUNG	6
2.1	ARTHROSE	7
2.1.1	GENESE	7
2.1.2	SYMPTOME	8
2.1.3	STADIEN	9
2.1.4	DIAGNOSE	10
2.1.5	THERAPIE	11
2.1.5.1	Operative Therapieansätze	12
2.2	MOBILITÄT IM ALTER	12
2.2.1	DEMOGRAPHISCHER WANDEL	12
2.2.2	STELLENWERT DER MOBILITÄT IM ALTER	14
3	ZIEL DER STUDIE	18
4	MATERIAL UND METHODEN	19
4.1	PATIENTENGUT	19
4.2	RÖNTGEN	20
4.3	IMPLANTATE	20
4.4	OPERATIONSVERFAHREN	21
4.5	NACHBEHANDLUNG	21
4.6	PROJEKTPARTNER	22
4.7	FAHRSIMULATOR UND SIMULATIONSSOFTWARE	22
4.8	STUDIENPROTOKOLL	26
4.8.1	FAHRAUFGABEN	27
4.8.2	PARAMETER	30
4.8.2.1	Reaktionszeiten	30
4.8.2.2	Klinische Untersuchung	31
4.8.2.3	Score nach Merle d'Aubigné und Postel	31
4.8.2.4	Visuelle Analogskala U	32
		I

4.8.2.5	Visuelle Analogskala T	32
4.8.2.6	Driving Activity Load Index (<i>DALI</i>)	32
4.8.2.7	Abschlussfragebogen	33
4.8.2.8	Schmerzmedikation	33
4.8.2.9	Subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit (VAS-F)	34
4.8.2.10	Bildgebung	34
4.8.3	UNTERSUCHUNGSZEITPUNKTE	34
4.9	DATENERFASSUNG UND STATISTIK	34
5	ERGEBNISSE	36
5.1	ANALYSE DER BREMSREAKTIONSZEITEN	36
5.1.1	VERLANGSAMUNGSEREIGNIS	36
5.1.2	VOLLBREMUNGSEREIGNIS	37
5.1.3	LANGZEITVERLAUF	39
5.2	KLINISCHE UNTERSUCHUNG	42
5.3	SCORE NACH MERLE D'AUBIGNÉ	43
5.4	VISUELLE ANALOGSKALEN FÜR SCHMERZ, FUNKTION UND ZUFRIEDENHEIT IM ALLTAG	45
5.5	VISUELLE ANALOGSKALEN FÜR SCHMERZ, FUNKTION UND ZUFRIEDENHEIT WÄHREND DER SIMULATIONSFAHRT	47
5.6	DRIVING ACTIVITY LOAD INDEX	49
5.7	ABSCHLUSSFRAGEBOGEN	50
5.8	VISUELLE ANALOGSKALA ZUR SUBJEKTIVEN EINSCHÄTZUNG DER FAHRTÜCHTIGKEIT	51
5.9	ANALGETIKAEINNAHME	53
5.10	RÖNTGEN	54
6	DISKUSSION	56
6.1	MODELL DER STUDIE	56
6.1.1	STUDIENDESIGN	56
6.1.2	STUDIENPROTOKOLL	61
6.1.3	PROBANDEN	62
6.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	63
6.2.1	BREMSREAKTIONSZEITEN	63
6.2.1.1	Verlangsamungsereignis	64
6.2.1.1.1	Bremsreaktionszeit von Koxarthrosepatienten auf ein Verlangsamungsereignis	64
6.2.1.1.2	Postoperative Bremsreaktionszeiten auf ein Verlangsamungsereignis	65
6.2.1.2	Vollbremsungsereignis	65
6.2.1.2.1	Bremsreaktionszeit von Koxarthrosepatienten auf ein Vollbremsungsereignis	65

6.2.1.2.2	Postoperative Bremsreaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis	67
6.2.1.2.3	Postoperativer Langzeitverlauf der Bremsreaktionszeit auf ein Vollbremsungsereignis	75
6.2.2	KORRELATION DER FAHRTÜCHTIGKEIT VON ARTHROSEPATIENTEN MIT DEM KLINISCHEN BEFUND	77
6.2.3	FAHRTÜCHTIGKEIT NACH HÜFTENDOPROTHESE	79
6.2.4	SUBJEKTIVE EINSCHÄTZUNG DER FAHRTÜCHTIGKEIT	80
6.3	LIMITIERUNGEN DER ARBEIT	81
7	SCHLUSSFOLGERUNG	82
8	DANKSAGUNG	84
9	LITERATURVERZEICHNIS	86
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	96
11	TABELLENVERZEICHNIS	98
12	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	100
13	ANHANG	101

1 Zusammenfassung

1.1 Zusammenfassung

Der demographische Wandel stellt aktuell eine große Herausforderung an unsere Gesellschaft dar. Als Folge von EU-weit anhaltend niedrigen Geburtenraten und einer immer weiter steigenden Lebenserwartung führt er zu einer alternden Bevölkerung. Es wird vermutet, dass ca. zwei Drittel aller Menschen über 65 Jahren vom Verschleiß mindestens eines Gelenkes betroffen sind. Da für eine wachsende Zahl älterer Menschen der Erhalt der Mobilität einen zentralen Aspekt für ihre Unabhängigkeit und Lebensqualität darstellt, unterziehen sich immer mehr Menschen einem operativen Gelenkersatz. In Deutschland werden jährlich über 400.000 künstliche Gelenke implantiert. Inwieweit die Fahrtüchtigkeit älterer Patienten durch die Arthrose eingeschränkt ist und wie sich eine Alloarthroplastik auf die Fahrtüchtigkeit auswirkt, ist bislang nicht in ausreichendem Maße geklärt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher zu untersuchen, ob die rechtsseitige Koxarthrose den Straßenverkehr gefährdet und zu welchem Zeitpunkt nach einer Hüftalloarthroplastik eine sichere aktive Wiederteilnahme am Straßenverkehr möglich ist.

In der hier vorgestellten prospektiven klinischen Studie wurde die Fahrtüchtigkeit von insgesamt 30 Patienten mit einer Arthrose des rechten Hüftgelenkes (cox; n=30) untersucht, die sich im Verlauf einer Hüftprothesenimplantation unterzogen. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 60,3 (± 11.4) Jahre. Gesunde gleichaltrige Probanden (con; n=30) dienten als Kontrolle. Die Durchführung der Fahraufgaben erfolgte an einem Fahrsimulator bestehend aus einem für die Studie modifizierten PKW (Marke Smart, Daimler-AG) und einer Fahrsimulationssoftware (OpenDS), welche während der Simulationsfahrt die Analyse von Reaktionszeiten auf unterschiedliche Bremsereignisse zuließ. Als Parameter diente uns jeweils die Zeit, die benötigt wurde, den Fuß vom Gaspedal zu nehmen (i; Gasoff), die Zeit bis zum Erstkontakt mit dem Bremspedal (ii; Brake0) sowie die Zeit, bis zu der die Bremse über 80% betätigt wurde (iii; Brake80). Die Simulationsfahrten erfolgten einen Tag präoperativ (t0; n=30), 6 Wochen postoperativ (t1; n=16) sowie 3 Monate (t2; n=5) nach der Hüftprothesenimplantation. Bei allen Probanden wurde prä- und

postoperativ ein klinisch-radiologischer Untersuchungsbefund sowie der Score nach Merle d'Aubigné und Postel erhoben. Die subjektive Einschätzung der Hüftfunktion im Alltag (VAS-U) und während der Simulationsfahrt (VAS-T) sowie der Fahrtüchtigkeit selbst wurde mittels visueller Analogskala erfasst. Zudem analysierten wir die subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit mittels visueller Analogskala (VAS-F). Die statistische Auswertung erfolgte unter Zuhilfenahme der Analysesoftware SPSS mittels T-Test.

Patienten mit einer rechtsseitigen Koxarthrose brauchten signifikant länger das Bremspedal im Rahmen eines Vollbremsungsereignis zu betätigen als die gesunde Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Bei der Analyse der Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Verlangsamungsereignis konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe der Koxarthrosepatienten und der gesunden Kontrollgruppe beobachtet werden. Der nativradiologische Arthrosegrad nach Kellgren korrelierte nicht mit den Bremsreaktionszeiten der Probanden. Allerdings zeigte der Score nach Merle d'Aubigné eine signifikante Korrelation zu den Bremsreaktionszeiten von Koxarthrosepatienten, sodass Patienten mit niedrigeren Score-Werten länger brauchten um die Bremse vollständig zu betätigen (Brake80).

Koxarthrosepatienten schätzten ihre Fahrtüchtigkeit subjektiv nicht signifikant schlechter als die gesunden Kontrollprobanden ein.

6 Wochen nach der Hüftprotheseimplantation (t_1) gaben die Patienten eine signifikante Verbesserung der Funktion und Zufriedenheit sowie eine Schmerzreduktion sowohl im Alltag als auch während der Simulationsfahrt an. Zu diesem Untersuchungszeitpunkt konnten weder bei den erreichten Bremsreaktionszeiten auf ein Verlangsamungs- noch auf ein Vollbremsungsereignis eine signifikante Reaktionszeitverbesserung im Vergleich zu präoperativ (t_0) beobachtet werden. Allerdings konnte das präoperative Ausgangsniveau im Mittel wieder erreicht werden.

Bei der Analyse der Bremsreaktionszeiten 12 Wochen postoperativ (t_2) zeigten sich patientenabhängig sehr individuelle Verläufe in der Rehabilitationszeit der BRT, wobei einige Patienten ihre Fahrtüchtigkeit deutlich verbessern konnten, andere jedoch ihre präoperativen Ausgangswerte nicht wieder erreichen konnten.

Zusammenfassend könnten Schmerzen und Bewegungseinschränkungen auf dem Boden einer Koxarthrose bei einer noch aktiven Teilnahme am Straßenverkehr durch

die signifikante Verlängerung der Bremsreaktionszeiten in einem erhöhten Unfallrisiko resultieren. Der radiologische Arthrosegrad hat hierbei keinen Einfluss auf das Bremsverhalten der Patienten. Eine Prothesenimplantation führt zu einer deutlichen Schmerzreduktion, Verbesserung der Beweglichkeit und zu einer subjektiv höheren Zufriedenheit während des Autofahrens, scheint jedoch objektiv die Fahrtüchtigkeit 6 Wochen postoperativ nicht positiv zu beeinflussen.

Eine allgemeine Empfehlung zur aktiven Wiederteilnahme am Straßenverkehr zu diesem Zeitpunkt kann daher nicht ausgesprochen werden. Bei den sehr individuellen Langzeitverläufen sollte bei einer dahingehenden Beratung vielmehr die Funktion des Hüftgelenks unter Zuhilfenahme des Scores nach Merle D'Aubigné berücksichtigt werden.

1.2 Summary

Demographic change is a major challenge for our society in this day and age. It is the result of low birth rates and a continuously rising life expectancy. It is assumed that one third of people over 65 years of age are affected by the degeneration of at least one joint. As the preservation of their mobility represents an important aspect of independence and quality of life for most people, more and more patients that suffer from osteoarthritis choose to undergo surgery for an artificial joint replacement. In Germany more than 400,000 artificial joints are implanted every year. In which way osteoarthritis affects an elderly patient's ability to drive a car and how this ability develops after the surgery is not yet fully understood. The goal of this study was, therefore, to examine whether osteoarthritis of the right hip affects one's driving and when it is safe to resume driving after the replacement of a right hip. In this prospective clinical study the ability to drive of 30 patients with osteoarthritis of the right hip, who underwent a surgery for an artificial joint replacement, was examined (cox; n=30). The mean age in this collective was 60.3 (± 11.4) years. A healthy collective with the same age was used as a control group (con; n=30). The testing took place in a driving simulator consisting of a modified automobile (Smart, Daimler-AG) and a simulation software (OpenDS), which enabled us to measure the brake reaction times on various brake events. The time it took a patient to remove the foot from the gas pedal (i; Gasoff), to put it on the braking pedal (ii; Brake0) as well as to press the brake at 80% (iii; Brake80) were measured. The testing took place once preoperatively one day before surgery (t0; n=30), 6 weeks after the surgery (t1; n=16) and 3 months after the hip joint replacement (t2; n=5). All patients were clinically as well as radiographically examined and surveyed using the Score of Merle d'Aubigné and Postel. The subjective assessment of the functioning of the hip joint in everyday life (VAS-U) as well as during the examination (VAS-T) was recorded. Additionally, we asked our subjects to assess their personal ability to drive on a visual analogue scale (VAS-F). The statistical analysis was performed with SPSS via T-Test.

Patients with osteoarthritis of the right hip took significantly longer to press the brake pedal in an emergency brake than healthy subjects ($p < 0,05$). Analyzing the brake reaction time following a deceleration event, no significant difference between patients with osteoarthritis of the right hip and healthy subjects could be found. The radiographic degree of osteoarthritis represented in the Kellgren Score did not correlate with the

brake reaction times of the patients. The Score of Merle d'Aubigné, on the other hand, showed a significant correlation with the brake reaction time it took the patients with osteoarthritis to fully press the brake pedal (Brake80). Interestingly, patients with osteoarthritis did not assess their ability to drive lower than healthy subjects. 6 weeks after the surgery for total hip replacement (t1) patients presented a significant improvement in contentment with the replaced joint as well as function of the right hip. The patients stated that there had been a significant reduction of pain in everyday life and during the testing. After 6 weeks postoperatively we could find neither in emergency brake events nor in deceleration events a significant improvement of brake reaction times in comparison to preoperatively (t0). However, on average the preoperative initial level could be reached again. Analyzing the brake reaction times at 12 weeks postoperatively (t2) the subjects showed very individual courses in rehabilitation of their preoperative state. Some patients were able to immensely improve their preoperative brake reaction time. Others were not able to restore their preoperative level. In summary, the pain and the limited mobility caused by the osteoarthritis of the right hip joint could lead to a significantly increased accident hazard as brake reaction times are affected. The radiographic degree of the degeneration of the joint has no influence on the braking performance of the patients. The implantation of total hip prosthesis leads to a significant reduction of pain, improved mobility and a higher degree of contentment with the hip while driving a car, but it does not seem to objectively improve the ability to drive at 6 weeks postoperatively. General advice regarding resuming driving a car after 6 weeks after the total hip replacement can, therefore, not be given. Considering the highly individual courses of rehabilitation in our patients it is important to evaluate the functioning of the hip joint on an individual basis with the aid of the Score of Merle d'Aubigné and to advise patients individually on their ability to drive.

2 Einleitung

Die demographische Entwicklung der Bevölkerung stellt eine der größten Herausforderungen der heutigen Zeit an unsere Gesellschaft dar. Niedrige Geburtenraten und stetig steigende Lebenserwartung führen zu einem demographischen Wandel hin zu einer alternden Gesellschaft. Die Arthrose der großen Gelenke ist eine Erkrankung, die stark mit einem hohen Lebensalter assoziiert ist und aufgrund der demographischen Entwicklung eine zunehmende Prävalenz zeigt. Anhand einer Querschnittsstudie in der Population einer englischen Kleinstadt konnten Lawrence et al. eine radiologisch sichtbare Osteoarthrose mindestens eines Gelenkes in 97% der über 65-Jährigen feststellen [45]. Laut Jacobson et al. sind 5,3% der über 60-Jährigen von einer Koxarthrose betroffen [35]. Da die Arthrose des Hüftgelenks die Mobilität deutlich herabsenken kann, stellt der operative Gelenkersatz in Form der Endoprothesenversorgung eines degenerativ erkrankten Gelenks in diesem Zusammenhang eine der wesentlichsten medizinischen Errungenschaften der letzten Jahrzehnte in Bezug auf die Lebensqualität der Patienten dar. In Deutschland wurden im Jahr 2011 ca. 232.320 Hüftgelenksendoprothesen implantiert, was einer Gesamt-Totalendoprothesen-Rate von ca. 286 Hüftendoprothesen pro 100.000 Einwohnern entspricht [74]. Somit zählt die endoprothetische Versorgung des Hüftgelenks bereits heute zu den 20 häufigsten durchgeführten operativen Eingriffen in Deutschland. Da drei von vier der Patienten, die sich einer Operation zum operativen Gelenkersatz unterzogen, hierbei älter als 64 Jahre waren [55], ist im Zuge des demographischen Wandels in den kommenden Jahren mit einem weiteren Anstieg der Rate an endoprothetischen Operationen des Hüftgelenks zu rechnen. Im Rahmen dieser Entwicklung ist die Frage nach der Mobilität und damit vor allem auch der Fahrtüchtigkeit bei Arthrose und nach deren operativen Versorgung aktueller denn je. Bei den betroffenen Patienten besteht dahingehend ein ausgeprägter Beratungswunsch dem die behandelnden Ärzte aktuell nur auf Basis unzureichender Datenlage nachkommen können.

2.1 Arthrose

Die *Koxarthrose* wird als eine degenerative Veränderung des Gelenkknorpels des Femurkopfes und des Acetabulums mit sekundärer Knochenläsion und entzündlich bedingter Schrumpfung der Gelenkkapsel definiert [58].

2.1.1 Genese

Einer Arthrose zugrunde liegt immer ein Missverhältnis zwischen Belastbarkeit und Belastung des Gelenkknorpels. Es werden primäre von sekundären Formen unterschieden [2]. Bei der primären Arthrose liegt keine bekannte Ursache für die degenerativen Veränderungen vor [33][47]. Sekundäre Arthrosen können unterschiedlichste Ursachen haben und sind oft multifaktoriell bedingt. Überlastung durch Gelenkdysplasien, Achsenfehler oder erworbene Formstörungen der Hüfte, wie zum Beispiel bei einem Morbus Perthes, können ebenso sekundäre Arthrosen zur Folge haben, wie Traumata, bakterielle und rheumatische Entzündungen, metabolische und endokrine Erkrankungen, sowie selten hämatologische Erkrankungen wie die Hämophilie [31].

Die beschriebenen Erkrankungen führen primär zu Knorpelschäden. Da das bradytrophe Knorpelgewebe lediglich mangelhaft perfundiert ist und hauptsächlich passiv über die Synovialflüssigkeit ernährt wird, ist es kaum regenerationsfähig. Die Pathogenese der Arthrose ist durch einen langsam-progredienten Verlauf gekennzeichnet [7].

Die mikroskopische Pathogenese der Arthrose kommt durch ein Missverhältnis der anabolen und katabolen Stoffwechselprozesse im Knorpelgewebe zustande. Hyaliner Gelenkknorpel besteht aus Chondrozyten, aus der extrazellulären Matrix sowie Wasser. Um den mechanischen Belastungen auf Dauer gerecht zu werden, muss die Extrazellulärmatrix in einem Gleichgewicht aus katabolen und anabolen Prozessen ständig erneuert werden. Im Falle eines Ungleichgewichts, kommt es zunächst zum Abbau von Kollagenen der Knorpeloberfläche, worauf die Chondrozyten mit der Produktion knorpeluntypischer Matrixkomponenten reagieren, die zu einer vermehrten Wassereinlagerung im Knorpelgewebe führt. Dieser vorgeschädigte Knorpel ist anfällig für mechanischen Abrieb und damit für weitere Schädigung [69].

Im Verlauf folgen makroskopische und nativradiologisch sichtbare Veränderungen. Durch die Reduktion des Knorpelüberzuges wird der Gelenkspalt progredient

schmäler. Ebenso kann eine subchondrale Sklerosierung beobachtet werden. Diese Veränderungen finden an der Stelle der größten Belastung der Gelenkfläche statt, im Falle des Hüftgelenks am Pfannendach in Form einer sichelförmigen Sklerosezone, sowie in der Bildung von perifovealen Osteophyten.

Bei progredientem Knorpelverlust wirkt die Belastung des Knochens über Reibung an den Gelenkflächenrändern anregend auf die Knochenneubildung. Es entstehen osteophytäre Randanbauten mit einer konsekutiven Gelenkdeformierung im Verlauf, einer *Arthrosis deformans*. Im Zuge des Gelenknorpelverlustes wird die kraftaufnehmende Fläche des Gelenks immer kleiner und die verbleibende kraftaufnehmende Fläche maximal belastet. Der physiologische Knochen unter diesen lasttragenden Gelenkabschnitten bildet sich unter der hohen Belastung zurück, woraufhin sich hier sogenannte Geröllzysten bilden. Des Weiteren bilden sich häufig Verkalkungen an den umliegenden Weichteilstrukturen. Der Knochenaufbau im Sinne von Osteophyten sowie der Knochenabbau, gekennzeichnet durch Geröllzysten, können sich über einen längeren Zeitraum ausgleichen. Klinisch manifest wird eine Arthrose erst als aktivierte Arthrose bei durch Knochenabrieb im Gelenk ausgelöster Synovialitis oder durch Einbruch von Geröllzysten. Die zunehmende Deformierung und Lateralisation des Hüftkopfes kann letztlich in einer vollständigen Versteifung in Form von einer knöchernen Ankylose des Gelenkes resultieren [58].

2.1.2 Symptome

Das Hauptsymptom der Arthrose sind Schmerzen, die auf dem Boden einer Synovialitis, Periostdehnungen und subchondraler Mikrofrakturierung entstehen [75]. Dieser Schmerz kann je nach Stadium belastungsabhängig, bewegungsabhängig oder im Ruhezustand vorhanden sein. Im Verlauf kann eine progrediente Einschränkung der Beweglichkeit, insbesondere der Innenrotation, Ab- und Adduktion sowie Extension des Hüftgelenks, beobachtet werden.

Aufgrund dessen kommt es zu zunehmenden Verkürzungen von Bändern und Muskeln sowie zu einer weichteiligen Progredienz der entstehenden Hüftgelenkskontraktur.

Im Falle einer aktivierten Arthrose werden die Beschwerden häufig in Form von Ruheschmerzen wahrgenommen. Weitere Symptome einer Arthrose sind die Morgensteifigkeit, die Schwellung des Gelenkes, Muskelverspannungen in der

gelenknahen Muskulatur sowie Bewegungseinschränkung und schließlich Deformitäten sowie Achsabweichungen und Instabilitäten. Diese Symptome können letztlich in einem vollständigen Funktionsverlust des Gelenks resultieren [58].

2.1.3 Stadien

Zur Beurteilung der Hüftgelenksfunktion hat sich in der klinischen Praxis der Score nach Merle d'Aubigné etabliert [54]. Dieser Score hat sich sowohl zur präoperativen Funktionsbeurteilung der Hüfte als auch zur postoperativen Kontrolle nach Total-Hüft-Endoprothesen außerordentlich bewährt [57][4]

Des Weiteren haben Kellgren und Lawrence 1957 eine Stadieneinteilung anhand des nativradiologischen Befundes entwickelt, die den Verlauf der degenerativen Gelenkerkrankung in die Grade 1-4 einteilt[39] (Tab. 1).

Grad	Befund
0	Keine Anzeichen für Arthrose
1	Geringe subchondrale Sklerosierung, keine Gelenkspaltverschmälerung, keine Osteophythen
2	Geringe Gelenkspaltverschmälerung, Beginnende Osteophytenbildung, Angedeutete Unregelmäßigkeit der Gelenkfläche
3	Ausgeprägte Osteophytenbildung, deutliche Gelenkspaltverschmälerung, Deutliche Unregelmäßigkeit der Gelenkfläche
4	Ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung bis zur vollständigen Destruktion, Deformierung/Nekrose der Gelenkpartner

Tabelle 1 Stadieneinteilung der Arthrose nach Kellgren und Lawrence[39]

2.1.4 Diagnose

Bei der Diagnosefindung kommt der Anamnese eine wichtige Bedeutung zu. Die Patienten berichten über einen chronischen Verlauf mit oft jahrelangen stabilen Phasen, sowie Phasen mit vermehrten Beschwerden im Rahmen einer aktivierten Arthrose. Die progrediente Verschlechterung der Beweglichkeit bleibt von den Patienten oftmals lange Zeit unbemerkt. Die Hauptbeschwerden der Patienten sind je nach Stadium der Arthrose charakteristische Schmerzen. Die Angabe von Hüftgelenkserkrankungen in der Krankheitsanamnese gibt einen Hinweis auf die Ursache der Arthrose[14].

Bei der klinischen Untersuchung können stadienabhängig unterschiedliche Untersuchungsbefunde erhoben werden. In den Anfangsstadien lassen sich selten äußerliche Veränderungen oder Ergüsse feststellen. Die Bewegungsausmaße sind allerdings schon frühzeitig schmerzhaft eingeschränkt. Schmerzen treten entweder belastungs- oder bewegungsabhängig auf. Besonders charakteristisch ist der sogenannte Anlaufschmerz. Stauchungs- und Rüttelmanöver können ebenso degenerativ bedingte Schmerzen im Hüftgelenk provozieren. Im Verlauf der Erkrankung kommt es zu Kontrakturen, insbesondere der Beuge- und Adduktionsmuskulatur. Durch diese Kontrakturen wird das Becken nach vorne gekippt und die Lendenlordose gesteigert.

In fortgeschrittenen Stadien der Arthrose zeigen sich in der Untersuchung außerdem Deformitäten sowie immer deutlichere Bewegungs- und Funktionseinschränkungen des Gelenks, die in der klinischen Untersuchung oftmals bereits durch die Gangbildanalyse oder in Form einer Beinlängendifferenz diagnostiziert werden können.

Neben Anamnese und Untersuchung ist die nativradiologische Untersuchung der Hüfte bei der Diagnosefindung essentiell notwendig. Hierbei korreliert der nativradiologische Befund nicht regelhaft mit der Intensität der angegebenen Beschwerden. Daher müssen in der Diagnose des Schweregrades und der Einschränkung durch eine Koxarthrose sowohl klinische als auch bildgebende Befunde berücksichtigt werden[58].

Röntgenologisch können bei der Koxarthrose typischerweise eine Gelenkspaltverschmälerung, eine subchondrale Sklerosierung, Geröllzysten sowie osteophytäre Randanbauten beobachtet werden [34]. Eine

Gelenkspaltverschmälerung von mehr als 0,6 mm in 12 Monaten wird in der Literatur als Indiz für einen deutlichen Progress der Arthrose angesehen [18]

2.1.5 Therapie

Die Therapieoptionen der Hüftgelenksarthrose beinhalten konservative sowie operative Therapieansätze.

Konservativ werden Analgetika, Antiphlogistika und physikalische Therapiemaßnahmen kombiniert. Die Indikationen zur konservativen Therapie sind ein geringer Leidensdruck sowie eine geringgradige Einschränkung der Funktion des Hüftgelenks bei gutem Ansprechen auf die konservativen Therapiemöglichkeiten. Nicht zuletzt ist der Patientenwunsch ein entscheidendes Kriterium zur Therapieentscheid. Der Patient ist über Ursache, Verlauf und Behandlungsmöglichkeiten der Koxarthrose, sowie über Allgemeinmaßnahmen, wie Mobilisation und Gewichtsreduktion, aufzuklären. Des Weiteren werden im Rahmen einer physiotherapeutischen Behandlung Muskelübungen zum Aufbau der umliegenden Muskulatur und zur Lockerung kontrakter Weichteile vermittelt. Auch im Hinblick auf eine mögliche spätere operative Versorgung der Osteoarthrose spielt die Physiotherapie eine wichtige Rolle. So konnten Martini et al. nachweisen, dass intensive präoperative Physiotherapie den postoperativen Kraftverlust einer operierten Hüfte im Vergleich zur Gegenseite deutlich verringert. Des Weiteren habe eine präoperative Physiotherapie einen positiven Einfluss auf die postoperative Beweglichkeit des operierten Hüftgelenks [52].

Im Rahmen der physikalischen Therapie werden Verfahren, wie die Balneotherapie, Thermo-, Elektro-, Ultraschall-, Magnetresonanz-, und Hydrotherapie eingesetzt, zu deren Wirksamkeit bislang jedoch keine validen Studien vorliegen [17]. Mit Hilfe von Einlagen und Gehhilfen können außerdem übermäßige Belastungen der Gelenke abgefangen werden.

Eine medikamentöse Therapie sowie lokale Injektionen können bei Nichtansprechen auf andere konservative Behandlungsmethoden diskutiert werden [75]. Die lokale intraartikuläre Injektion von Analgetika und Glukokortikoiden gewährleistet eine hohe lokale Konzentration der Medikamente direkt im Gelenkspalt. Von systemischen Wirkungen ist bei korrekter Applikation in den Gelenkspalt nicht auszugehen [40]. Die Wirkung von hyaluronsäurehaltigen Präparaten zur intraartikulären Injektionstherapie

wurde in der Vergangenheit von verschiedenen Autoren kontrovers diskutiert [67] [10][70]

Ziele der medikamentösen Therapie stellen insbesondere die Schmerztherapie und konsekutiv die Verbesserung von Schonhaltungen und der daraus resultierenden Funktionseinschränkungen dar. Kausale medikamentöse Therapien in der Behandlung der Arthrosen existieren derzeit nicht.

In der bisherigen Leitlinie zur medikamentösen Schmerztherapie bei Koxarthrose ist Paracetamol aufgrund geringer Neben- und Wechselwirkungen für den längerfristigen Einsatz empfohlen [17]. Aktuelle Studien weisen jedoch auf eine eingeschränkte Wirksamkeit von Paracetamol auf die durch Arthrose bedingten Schmerzen hin [11], somit könnte die Schmerztherapie mit Paracetamol in Zukunft an Bedeutung verlieren. Desweiteren konnte in zahlreichen klinischen Studien die Wirksamkeit nichtsteroidaler Antirheumatika (NSAR) zur symptomatischen Behandlung von Arthrosen (Schmerzlinderung, Funktionsbesserung) nachgewiesen werden [76][22] [71][72].

2.1.5.1 Operative Therapieansätze

Bei therapieresistenten Beschwerden und entsprechendem Leidensdruck der Patienten kommen operative Maßnahmen zum Einsatz. Hierbei besteht die Möglichkeit der gelenkerhaltenden Verfahren, wie Umstellungsosteotomien und Chondroplastiken sowie Arthrodesen.

Die Endoprothetik hat heute die Arthrodesese durch Erhalt der Beweglichkeit und der funktionellen guten Ergebnisse weitestgehend abgelöst. Letztendlich scheint lediglich der Ersatz des Gelenkes eine sichere und erfolgsversprechende Therapie bei der Behandlung der Koxarthrose zu sein[47].

Bei komplikationslosem Verlauf und regelrechtem Prothesensitz kann die Lebensqualität des Patienten deutlich verbessert werden und über mehrere Jahre hinweg erhalten werden[75].

2.2 Mobilität im Alter

2.2.1 Demographischer Wandel

Der demographische Wandel stellt eine der größten Herausforderungen an unsere Gesellschaft dar. Der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung von 2009

des statistischen Bundesamtes sind die aktuellen Bevölkerungspyramiden bis 2060 zu entnehmen (Abb. 2-1).

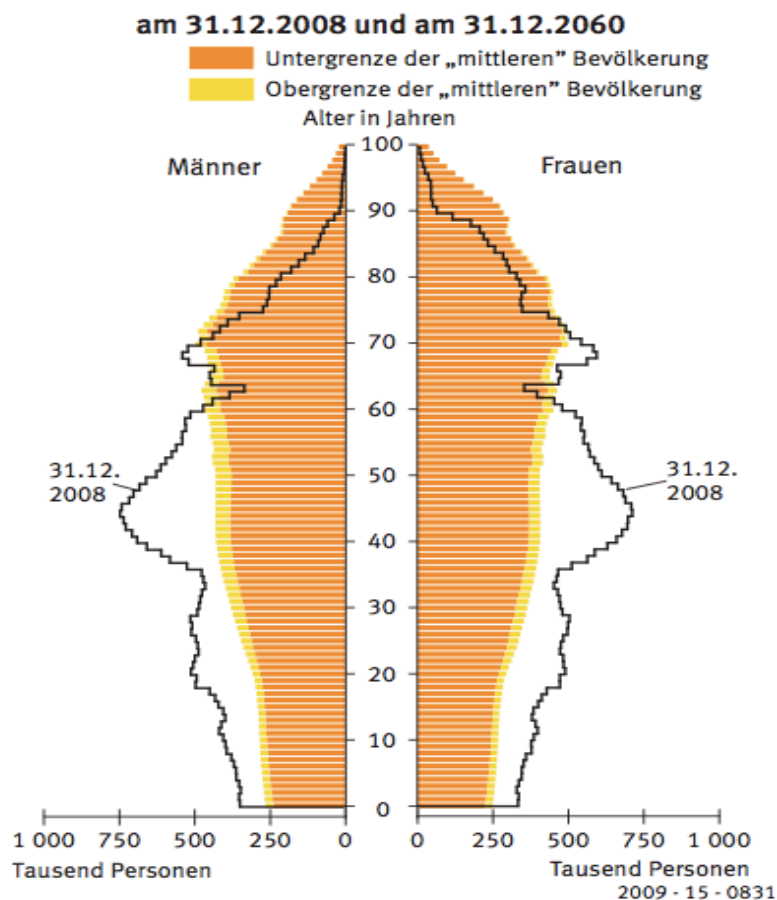


Abbildung 2-1 Bevölkerungspyramide 2008 im Vergleich zu 2060 [68]. Die Untergrenze der Bevölkerungsvorausberechnung basiert auf drei Annahmen: 1. Konstante Geburtenhäufigkeit von 1,4 Kindern pro Frau. 2. Steigende Lebenserwartung von 8 Jahren bei Jungen bzw. 7 Jahren bei Mädchen. 3. Wanderungssaldo von 100.000 Personen pro Jahr.

Abbildung 2-1 zeigt sowohl die Gesellschaftspyramiden für 2008 als auch die jeweilige Ober- und Untergrenze der Vorausrechnung für 2060. Die in diesem Kapitel angegebenen Zahlen für 2060 beziehen sich auf die Untergrenze der mittleren Bevölkerung von 2060, also den orangefarbenen Bereich. Die Pyramide für 2060 zeigt vor allem eine starke Zunahme der Bevölkerungsgruppe der 75 bis 100 Jährigen, sowie eine deutliche Verschmälerung der Altersgruppe der 0 bis 60-Jährigen im Vergleich zur Bevölkerung 2008.

Bereits 2008 ließ sich die Form der deutschen Gesellschaftsgrafik keiner Pyramide mehr zuordnen. Durch die stetig regredienten Geburtenzahlen wird sich bis 2060 die deutsche Gesellschaftsgrafik weiter zu einer Urnenform umwandeln. Die auffällig

breiter werdende Spitze der Grafik lässt sich vor allem durch die stetig besser werdende medizinische Versorgung sowie einem aufgeklärtem Hygienebewusstsein und der dadurch steigenden allgemeinen Lebenserwartung erklären. Laut einer Statistik des Robert-Koch-Instituts betrug die Lebenserwartung 1990 für Frauen 78,8 Jahre und 72,3 Jahre für Männer. Bis 2002 war die Lebenserwartung bei Frauen um 2,81 und bei Männern um 3,76 Jahre gestiegen [44].

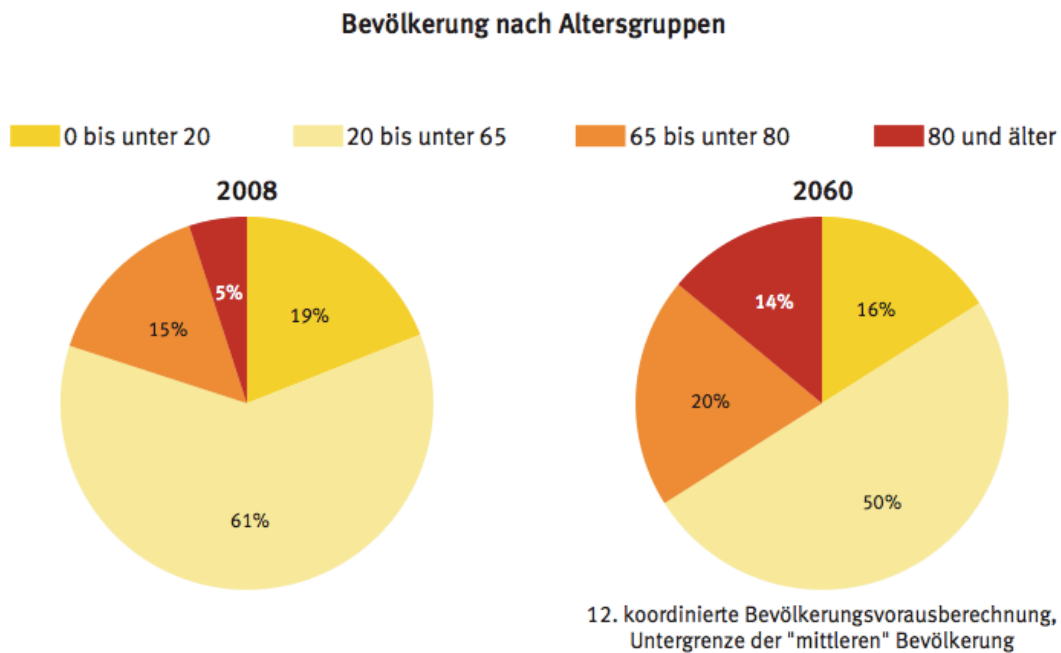


Abbildung 2-2 Bevölkerung nach Altersgruppen in Prozent 2008 im Vergleich zu 2060 [68]

Im Jahre 2008 betrug der Anteil der über 80-Jährigen Menschen in der Bevölkerung 5%, was einer absoluten Zahl von 4 Millionen Einwohnern entsprach (Abb. 2-2). Im Jahr 2050 wird die Zahl der über 80-Jährigen voraussichtlich auf 10 Millionen und somit auf 14% der Bevölkerung gestiegen sein. Diese Verschiebungen in der Altersstruktur der deutschen Bevölkerung sind unter Anderem auf das Altern der aktuell stark besetzten mittleren Jahrgänge zurück zu führen. Im Jahr 2060 wird demnach voraussichtlich jeder 3. Deutsche das 65. Lebensjahr erreicht haben [68].

2.2.2 Stellenwert der Mobilität im Alter

Für eine wachsende Zahl älterer Menschen ist der Erhalt der Mobilität ein zentraler Aspekt für die Unabhängigkeit. Hierbei leistet die Endoprothetik in der Medizin einen entscheidenden Beitrag zum Erhalt der physischen Bewegungsfreiheit. Im Jahre 2011 waren in Deutschland 74 Prozent der Patienten, die eine Hüftprothese erhielten

über 65 Jahre alt [74]. Der Erhalt der Mobilität setzt jedoch auch voraus, dass die Sicherheit bei der Teilnahme am Straßenverkehr gewährleistet ist.

Die Möglichkeit selbstständig Einkäufe oder Arztbesuche zu erledigen, wie auch an sozialem Leben teilzunehmen, ist ein persönliches Anliegen der älteren Bevölkerungsschicht. Wenn körperliche Defizite die Mobilität einschränken, führt dies zu sozialer Vereinsamung bis hin zur Isolation, woraus psychische Defizite bis zur Depression resultieren können [46].

Chen et al. führten eine anonyme Befragung unter Patienten aus ländlicher Umgebung durch, bei denen unter anderem ein operativer Gelenkersatz durchgeführt wurde. Die Ergebnisse dieser Befragung zeigten, dass die postoperative Fahrunfähigkeit für viele der Patienten eine finanzielle Belastung darstellte und zu einer zunehmenden Abhängigkeit von Freunden und Familie führte. Daraus lässt sich folgern, dass es für diese Patienten sowohl von sozialer als auch finanzieller Bedeutung war, postoperativ möglichst frühzeitig wieder fahrfähig zu sein. Hinsichtlich ihrer Fahrfähigkeit konsultierten allerdings wenige dieser Patienten ihren Arzt [9].

Der Verlust der Mobilität kann weiterhin auch einen Verlust der Selbstständigkeit bis hin zur Pflegebedürftigkeit bedeuten. Laut Hackmann und Moog ist mit einer Zunahme der Pflegefälle von 2,2 Mio. Fällen im Jahr 2007 auf etwa 4,4 Mio. Fälle bis zum Jahr 2050 zu rechnen [26]. Diese Zahlen stellen eine enorme Herausforderung an die Altenpflege dar.

Die Selbstständigkeit der Älteren ist daher nicht nur ein persönliches Anliegen der betroffenen Generation, sondern rückt auch in global-gesellschaftliches Interesse, wenn man die demographische Entwicklung betrachtet.

Eine Aufstellung des Robert Koch Instituts, bezüglich Arbeitsunfähigkeit und Frühberentung aufgrund von Arthrose zeigt, dass die Koxarthrose im Jahr 2011 ursächlich für insgesamt 2.585.157 Arbeitsunfähigkeitstage war. Des Weiteren war 2011 die Erstdiagnose Arthrose in 6021 Fällen die Ursache eines Krankheitsverlaufs, der zu einer Berentung aufgrund verminderter Erwerbsfähigkeit führte [61].

Aufgrund der steigenden Lebenserwartung wurde 2007 beschlossen das Renteneintrittsalter ab 2012 stufenweise auf 67 Jahre anzuheben. Auch im Hinblick auf diese Entwicklung wäre es also wünschenswert, die Mobilität Älterer im Allgemeinen und Arthrosekranker im Speziellen zu erhalten um so Invalidität,

Arbeitsunfähigkeit und vorzeitige Berentung zu verhindern, nicht nur im Interesse des Einzelnen, sondern auch um die entstehenden Kosten für die Gesamtgesellschaft zu reduzieren. Dies kann durch Prävention und adäquate medizinische Versorgung erreicht werden, sodass die verlängerte Lebenszeit in Gesundheit verbracht werden kann.

Eine schwedische Studie zeigt, dass sich bereits im Alter von 50-70 Jahren bei mehr als 8% der Bevölkerung eine klinisch manifeste, die Mobilität bedrohende, Arthrose nachweisen lässt [36]. Gerade Berufstätige sind häufig darauf angewiesen mit dem PKW mobil zu sein.

Zusammenfassend ist Mobilität im Alter in unserer heutigen Gesellschaft ein zentraler Aspekt für Unabhängigkeit, Gesundheit und Lebensqualität. Durch Erhalt der Mobilität können zudem Kosten durch eine Vermeidung der Pflegebedürftigkeit, verminderter Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen und verzögertes Renteneintrittsalter weiter reduziert werden.

Mobilität setzt jedoch auch eine objektive sichere aktive Teilnahme am Straßenverkehr voraus.

Alleine in der Klinik für Orthopädie und orthopädischer Chirurgie der Universitätskliniken des Saarlandes wurden im Jahre 2010 350 Eingriffe im Bereich der Hüft- und Knieendoprothetik vorgenommen. Ein großer Teil dieser Patienten war maßgeblich auf die Fortbewegungsmöglichkeit mit dem Kraftfahrzeug angewiesen und daher an einer schnellen Wiederaufnahme der aktiven Teilnahme am Straßenverkehr interessiert. Viele Patienten äußerten bereits präoperativ den Wunsch nach einer ärztlichen Beratung bezüglich des Zeitpunkts des Wiedererlangens der Fahrtüchtigkeit nach der Operation.

Nur wenige Studien beschäftigten sich in der Vergangenheit mit dieser Thematik [30][50][24][1]. Allen vorangehenden Studien ist gemeinsam, dass die Versuchsbedingungen oftmals nur wenig realitätsgetreu mit teilweise veralteten technischer Ausstattung waren.

Die Umgebung in Form von anderen Verkehrsteilnehmern, der Fahrroute sowie der unterschiedlichen Bedienelemente des Fahrzeuges, die ein Autofahrer zeitgleich wahrnehmen muss, wurde in keiner der genannten Studien berücksichtigt [30][50][24][1]. Daher war es das Ziel des hier vorgestellten Modells, anhand eines Fahrsimulators - der realistische Versuchsbedingungen durch die Simulation

realitätsnaher Verkehrssituationen bietet - neue Erkenntnisse über die Fahrtüchtigkeit von Patienten mit Koxarthrose sowie nach endoprothetischen Operationen zu erlangen.

3 Ziel der Studie

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mit Hilfe eines realitätsgetreuen Fahrsimulators neue Erkenntnisse über die Fahrtüchtigkeit von Patienten mit Arthrose des rechten Hüftgelenkes sowie nach endoprothetischer Versorgung der Koxarthrose zu erlangen.

Hierbei wurde die Hypothese aufgestellt, dass Patienten, welche an einer Arthrose des rechten Hüftgelenkes leiden, eine geringere Bremskraft und Bremsreaktionszeit als gleichaltrige gesunde Probanden aufweisen. Eine weitere Hypothese ist, dass eine zu frühe Wiederteilnahme gerade der frisch operierten Patienten am Straßenverkehr in einem erhöhten Unfallrisiko resultiert.

In der hier vorgestellten prospektiven Kohortenstudie wurde basierend auf dieser Annahme zunächst das Fahrverhalten gesunder Probanden untersucht und mit den Personen, die an einer rechtsseitigen Koxarthrose erkrankt waren verglichen. Zudem wurde die Fahrtüchtigkeit derer Arthrose-Patienten analysiert, die sich im weiteren Verlauf einem endoprothetischen Eingriff der rechten Hüfte unterzogen. Ziel war es hierbei zu untersuchen, ob und wann die Probanden ihre präoperative Fahrfähigkeit wieder erreichen oder sogar -verglichen zu den präoperativen Ausgangswerten- verbessern konnten.

Anhand der Analyse von Bremsreaktionszeiten auf Vollbremsungs- und Verlangsamungsereignisse, der subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit und dem klinisch-radiologischen Untersuchungsbefund wurde auf folgende Fragestellungen im Detail eingegangen:

1. Gefährdet die rechtsseitige Koxarthrose akut den Straßenverkehr?
2. Anhand welcher Parameter lässt sich die Fahrfähigkeit eines arthrosekranken Patienten klinisch einschätzen?
3. Ab wann können Patienten nach einem endoprothetischen Gelenkersatz der rechten Hüfte wieder aktiv am Straßenverkehr teilnehmen?

4 Material und Methoden

4.1 Patientengut

Alle an dieser Studie teilnehmenden Patienten wurden über die Endoprothesensprechstunde des nach ClarCert® zertifizierten Endoprothesenzentrums der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes aquiriert. Es wurden insgesamt 30 Patienten mit rechtsseitiger Koxarthrose eingeschlossen, die im Zeitraum von August 2014 bis September 2015 vorstellig wurden und im Verlauf mit einer Hüft-Totalendoprothese versorgt wurden (Gruppe A; n=30). Alle Patienten waren zum Zeitpunkt der Operation noch aktiv und regelmäßig am Straßenverkehr beteiligt. Des Weiteren erfüllten die Patienten folgende Einschlusskriterien:

- Keine Frakturen oder Vor-Operationen am zu untersuchenden Gelenk oder Nachbargelenk
- Kein Wirbelsäulenleiden mit Lumboischialgie in die rechte Extremität
- Keine Paresen
- Keine Entzündungen
- Keine neurologischen Grunderkrankungen
- Kein Flexionsdefizit (kleiner 90°)
- Keine nicht ausgeglichene Einschränkung der Sehfähigkeit

Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 61.7 ± 11.4 Jahre . Insgesamt nahmen 16 Männer und 14 Frauen an der Studie teil.

Gesunde Probanden (Gruppe B; n=30) mit anamnestisch keinen klinischen Beschwerden oder bekannter, radiologisch gesicherter Koxarthrose, dienten als Kontrolle. Das Durchschnittsalter in dieser Gruppe betrug 58.9 ± 11.2 Jahre. Es wurde das Fahrverhalten von 20 gesunden Männern und 10 gesunden Frauen untersucht.

4.2 Röntgen

Alle in dieser Studie verwendeten Röntgenbilder wurden im Zeitraum von August 2014 bis September 2015 in der Röntgenabteilung der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie des Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar angefertigt.

Bei den verwendeten Röntgenapparaten (Philips Healthcare 2010 und Varian Medical Systems 2011) bestehen hinsichtlich der Bildqualität keinerlei Unterschiede. Die Anwendungsgebiete dieser Röntgenapparate liegen in der allgemeinen Röntgenaufnahmetechnik.

Der Untersucher verwendete zur Auswertung der Röntgenbilder standardisiert den selben PLANILUX Röntgenfilmbetrachter (Siemens; 43x105 cm). Zur Sicherstellung der ordnungsgemäßen Funktion wird das Gerät regelmäßig gemäß BGV A2 und BGV A3 gewartet.

4.3 Implantate

In der Versuchsgruppe A unterzogen sich alle teilnehmenden Patienten aufgrund einer rechtsseitigen Koxarthrose einer primären Hüft-Totalendoprothesen-Operation. Die Wahl der Implantate erfolgte nach sorgfältiger OP-Planung unter Berücksichtigung des Alters, der Aktivität und der Knochenqualität des Patienten.

Bei den in dieser Studie eingeschlossenen Patienten kamen für die Prothesenschäfte ausschließlich Produkte der Sparte Aesculap der Firma B. Braun zum Einsatz. Bei den verwendeten Modellen handelte es sich um die Schäfte des „Bicontact®“ Systems S, H und N, jeweils zementiert oder zementfrei implantierbar, sowie der „Metha®“ Schaft für Kurzschaftprothesen, der zementfrei implantiert wird. Insgesamt erhielten 24 der 30 in die Studie eingeschleusten Patienten unzementierte Schäfte des „Bicontact®“ Systems, bei 4 Patienten wurden „Bicontact®“ Schäfte zementiert und 2 Patienten erhielten einen „Metha®“ Schaft.

Für den zementfreien Ersatz der Gelenkpfanne wurden bei insgesamt 6 Patienten SC Schraubring-Prothesen® der Firma Aesculap sowie bei 23 Probanden Press-fit Pfannenmodelle „Reflection NH®“ und „Reflection SP3®“ der Firma Smith & Nephew implantiert.

1 Patient erhielt einen zementierten Pfannenersatz mittels Schnapppfanne der Firma Link.

4.4 Operationsverfahren

Bei allen Patienten wurde der trans-gluteale Zugang zum Hüftgelenk nach Bauer [3] gewählt. Nach Luxation des Hüftkopfes und Osteotomie des Schenkelhalses erfolgte die Präparation und Ausfräsung, sowie, unter Einbehaltung von 40° Inklination und 20° Anteversion der zementierte oder zementfreie Einsatz der Hüftpfanne. Anschließend wurde unter Zuhilfenahme von Raspeln und Bohrern der Markraum des Femurs für den Einsatz des Prothesenschaftes vorbereitet und die Luxationssicherheit, die Einstellung des Prothesenkopfes sowie die Beinlänge mithilfe der größten Raspel und eines aufgesetzten Prothesenprobekopfes unter Bildwandlerkontrolle überprüft. Zuletzt wurde der Prothesenstiel zementiert oder zementfrei implantiert. Es erfolgte ein schichtweiser Wundverschluss, wobei die Haut geklammert wurde [41].

4.5 Nachbehandlung

Im Rahmen des postoperativen Verlaufs erfolgte bei allen Patienten die Nachbehandlung standardisiert nach hausinternen. Die postoperative Thromboseprophylaxe erfolgte leitliniengerecht nach dem aktuellen Wissensstand der *Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften* (AWMF) [19]. Analgetika wurden nach dem Weltgesundheitsorganisation(WHO)-Stufenschema verabreicht. Unter Berücksichtigung bekannter Kontraindikationen und konsequenter Kombination mit Protonenpumpenhemmer erfolgte eine Ossifikationsprophylaxe mit Nicht-steroidalen Antirheumatika (NSAR) über sieben Tage postoperativ [38]. Bei insgesamt 4 Patienten wurde aufgrund gastrointestinaler oder nephrologischer Kontraindikationen auf eine postoperative Radiatio in hiesiger Strahlenklinik zur Ossifikationsprophylaxe zurückgegriffen [38].

Das operierte Bein wurde für die ersten zwei postoperativen Wochen in der Schweizer-Schiene mit einem zwischen den Oberschenkeln eingefügten Spreizkeil zum Luxationsschutz gelagert. Ab dem ersten postoperativen Tag erfolgte die schmerzadaptierte Mobilisation unter Vollbelastung unter physiotherapeutischer Anleitung. Der erste Verbandswechsel erfolgte am zweiten postoperativen Tag, die einliegenden Redon-Drainagen wurden spätestens am dritten postoperativen Tag entfernt. Alle Patienten erhielten während des stationären Aufenthalts eine kontinuierliche Gangschule und Gebrauchsschulung für Hüftprothesen sowie intensive physiotherapeutische Beübungen zum Muskelaufbau, Schmerzreduktion

und zur Beweglichkeitsverbesserung. Bei allen an der Studie teilnehmenden Patienten war zum Entlassungszeitpunkt eine Beweglichkeit der rechten Hüfte für die Extension/Flexion von 0°-0°-90° sowie für die Abduktion von mindestens 30° möglich. Es folgten während des gesamten klinischen Aufenthalts regelmäßige Verbandswechsel und Laborkontrollen. Ab dem 14. postoperativen Tag konnte das einliegende Nahtmaterial entfernt werden. Alle an dieser Studie teilnehmende Patienten führten eine postoperative Anschlussheilbehandlung unter stationären Bedingungen mit anschließender Fortführung der physiotherapeutischen Übungsmaßnahmen unter ambulanten Bedingungen durch. Eine Wiedervorstellung zur klinisch-radiologischen Verlaufskontrolle wurde für sechs Wochen sowie drei Monate postoperativ vereinbart.

4.6 Projektpartner

Seit November 2014 erfüllt das EndoProthetikZentrum Homburg/Saar der Klinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie die Vorgaben der Initiative EndoCert® zur Zertifizierung eines EndoProthetikZentrums (EPZ) der Maximalversorgung als qualitätssichernde Maßnahme im Bereich der endoprothetischen Versorgung. Die Indikationsstellung zum Gelenkersatz sowie der operative Eingriff selbst erfolgten stets unter standardisierten Bedingungen und höchster Qualitätskontrolle.

Die Durchführung dieser Studie erfolgte in enger Zusammenarbeit und mit Unterstützung des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI). Das Unternehmen white_c ist ein offizielles Spin-Off Unternehmen des DFKI und ist aus der Automotive Forschungsgruppe des DFKI's entstanden. Zwischen den beiden großen wissenschaftlichen Partnern DFKI und den Universitätskliniken des Saarlandes UKS besteht eine unmittelbare Partnerschaft über den Verbund mit der Universität des Saarlandes.

Der Kern der verwendeten Fahrsimulator-software OpenDs wurde von der Automotive Gruppe des DFKI entwickelt, während white_c den Support sowie mögliche Erweiterungen zum Programm anbietet.

4.7 Fahrsimulator und Simulationssoftware

OpenDs ist eine flexible und erweiterbare OpenSource Software, die 3D-Fahrsimulationen in realistischer Umgebung ermöglicht [53]. Hochauflösende Punktwolken, wie sie auch immer häufiger in der Vermessungstechnik wie auch in

der Unfallforschung zum Einsatz kommen, bilden die Basis für die virtuelle Umgebung der Fahrsimulation. Für die Simulationserstellung durch OpenDS erfolgt die Verrechnung und Visualisierung dieser Punktwolken, die mit Hilfe eines 3D-Laserscanners gewonnen werden, der die Umgebung aus verschiedenen Positionen mit einem Laserstrahl abtastet. Die dabei gewonnen Einzelaufnahmen werden zu einer Punktwolke mit mehreren hundert Millionen Punkten zusammengesetzt.

Für das möglichst realistische Erleben der Testbedingungen wird die Fahrsimulation von einem Probanden aus der Kabine eines handelsüblichen Fahrzeugs der Marke Smart von Mercedes-Benz gesteuert (Abb. 4-1 und 4-2).



Abbildung 4-1 Versuchsaufbau in dorsaler Ansicht



Abbildung 4-2 Versuchsaufbaus in cranialer Ansicht

Der Proband durchläuft die Simulation auf dem Fahrersitz eines original PKW's und steuert mit den dort vorhandenen Pedalen und dem Lenkrad den virtuellen Wagen durch die Simulation. Hierbei blickt der Proband durch die Frontscheibe des Smarts auf eine gebogene Leinwandfläche, auf die die Fahrtstrecke mittels mehrerer Beamer projiziert wird (Abb. 4-3).

Die Integration dieser realistischen Fahrumgebung in Form der Fahrerkabine eines herkömmlichen Kleinwagens in die Testung vermittelt ein wahrheitsgetreues Fahrgefühl während der Simulation. Somit können möglichst realistische Ergebnisse zur Fahrfähigkeit des Probanden generiert werden. Bereits die Überprüfung der einfachen Bewegungsabläufe wie das Einsteigen in das Auto, die Einstellung der Sitzhöhe sowie die der Spiegel wird ermöglicht.



Abbildung 4-3 Ansicht der Simulation aus der Perspektive des Probanden auf dem Fahrersitz

Die Simulation versetzt den Patienten in die Situation einer Autofahrt auf einer geraden Straße ohne Kurven in einer Autokolonne. Die Fahrumgebung beinhaltet hierbei eine Berglandschaft im Hintergrund, eine Grünfläche, worin die Fahrstrecke eingebettet ist, ein vorausfahrendes Fahrzeug sowie ein, oben rechts in die Simulation integrierten Rückspiegel, in dem ein nachfahrendes Fahrzeug angezeigt wird. Zusätzlich beinhaltet die Simulation eine Geschwindigkeitsanzeige unten rechts im Blickfeld des Probanden (Abb. 4-3).

Während der Simulation muss der Proband gleichzeitig auf die Umgebung und das Verkehrsgeschehen wie auch auf das sichere Führen des Fahrzeuges in angemessener Geschwindigkeit und Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug achten. Der Proband muss nacheinander auf Brems- und Verlangsamungsereignisse des vorausfahrenden Fahrzeuges reagieren. Zudem werden die Probanden während der Simulationsfahrt angehalten auf ein Blinkereignis des nachfahrenden Fahrzeuges zu achten. Dieses wird im Rückspiegel angezeigt und signalisiert das Überholbestreben des nachfahrenden Fahrzeuges. Beim Wahrnehmen dieses Signals muss durch den Probanden ein eigens hierfür installierter Knopf am Lenkrad betätigt

werden. So wird gewährleistet, dass der Proband sich nicht ausschließlich auf die Bewegungen des Wagens vor ihm konzentriert und Brems- und Verlangsamungsereignisse erwartet, sondern auch die Umgebung des eigenen Fahrzeugs und das nachfahrende Auto im Blick behält. Dies sorgt für ein mit der Situation im echten Straßenverkehr vergleichbares Aufmerksamkeitsniveau.

Die von Lenkrad, Gaspedal, Bremspedal und Drucksensor am Lenkrad übermittelten Signale werden extern in einem angeschlossenen PC umgewandelt und als Datensatz gespeichert. Um die Reaktion des Probanden auf ein Brems- oder Verlangsamungsereignis besser analysieren zu können, erfasst der Simulator die Dauer verschiedener Phasen der vollständigen Bremsreaktion. Zunächst wird die Zeit gemessen, die der Proband bei dem jeweiligen Ereignis benötigt um den rechten Fuß vom Gaspedal zu nehmen *RTgasOff*. Anschließend wird die Dauer der Bremsreaktion bis zum Aufsetzen des Fußes auf die Bremse *RTBrake0* sowie des 80%igen Durchdrückens des Bremspedals *RTBrake80* gemessen. Zusätzlich erfasst der Simulator, wie oft ein Brems-, Verlangsamungs- oder Blinksignal verpasst wird. Außerdem wird die Abweichung von der Fahrbahnmitte mittels Sensoren an der Lenkung gemessen.

OpenDS wurde für Forschung und Entwicklung im Bereich Verkehr, Mobilität und Automotive entwickelt. Über die Internetpräsenz www.opens.de wird die OpenSource Software mittlerweile vielen wissenschaftlichen Einrichtungen zu Forschungszwecken zur Verfügung gestellt. Das DFKI Spin-Off Unternehmen *white_c* entwickelt OpenDS dabei stetig weiter und bietet Zusatzimplementierungen zur Software an.

4.8 Studienprotokoll

Die Testfahrten der Koxarthrosepatienten (cox; n=30) erfolgte einmal präoperativ am Tag vor der geplanten Operation sowie zweimal im postoperativen Verlauf nach sechs Wochen und drei Monaten (Abb. 4-4).

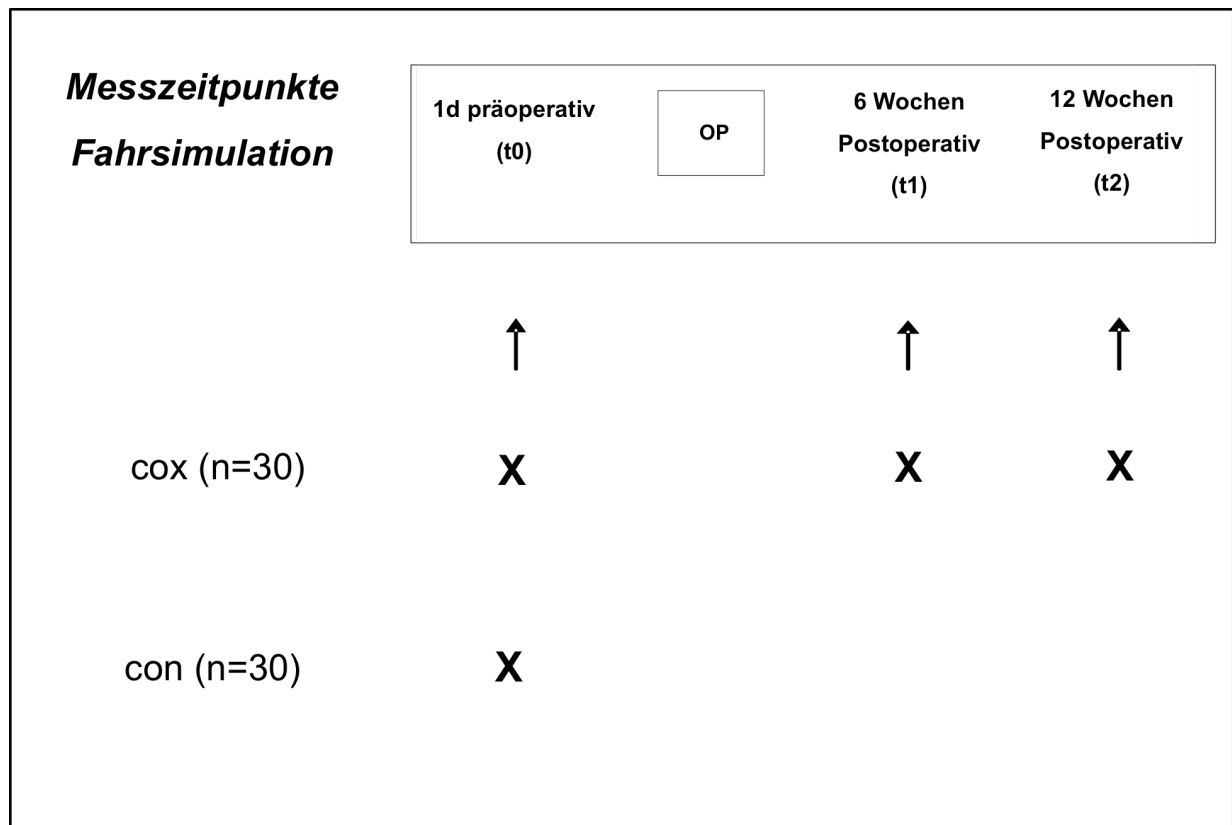


Abbildung 4-4 Studienprotokoll

Der Testablauf setzt sich in chronologischer Reihenfolge zusammen aus:

- Aufklärungsgespräch
- Klinischer Untersuchung
- Visuelle Analogskala im Alltag
- Erhebung des Scores nach Merle d'Aubigne
- Drei Fahrten im Simulator
- Visuelle Analogskala während der Testung
- DALI-Fragebogen zur Belastung
- VAS-subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit
- Abschlussfragebogen.

Der gesamte Ablauf pro Patient dauerte etwa 30 Minuten.

4.8.1 Fahraufgaben

Vor Versuchsbeginn erfolgt die Aufklärung durch den Untersucher, sowie die schriftliche Einverständniserklärung durch den Patienten. Dies wird auf dem Dokument „Schriftliche Einverständniserklärung des Patienten zur Teilnahme an einer klinischen Studie“ vermerkt (vgl. Anlage 1). Der Patient wird über das Ziel, den

Ablauf, Vor- und Nachteile sowie Risiken der Testung aufgeklärt und darauf hingewiesen, dass die Teilnahme freiwillig erfolgt und er jeder Zeit ohne Angabe von Gründen von dieser Entscheidung zurücktreten kann. Im Rahmen des Aufklärungsgespräches wird der Patient dahingehend unterrichtet, dass es während dem Versuch zu Übelkeit und Unwohlsein kommen kann, dass dies dem Untersucher unverzüglich zu melden ist und dass die Testung dann abgebrochen werden kann.

Des Weiteren wird der Patient darauf hingewiesen, dass die erhobenen Daten anonym bleiben und ausschließlich in anonymisierter Form an außenstehende Institute zur Datenauswertung weitergegeben werden.

Zusätzlich erfolgt der Hinweis, dass der Untersucher den Patienten jederzeit aus der Studie ausschließen darf, wenn Bedenken bezüglich gesundheitlicher Folgen für den Patienten durch die Teilnahme an der Studie entstehen sollten.

Der Patient wird gebeten auf der Fahrerseite des Simulators Platz zu nehmen und den Sitz größengerecht einzustellen. Danach wird der Ablauf des Versuchs vorgelesen und Zeit für Rückfragen gegeben.

Der Patient wird angewiesen mit einer konstanten Geschwindigkeit von 90 km/h und einem Abstand von 35 m zum vorausfahrenden Auto in der Mitte einer Autokolonne zu fahren und nicht zu überholen. Durch adäquate Lenkung soll das Fahrzeug dabei in der Mitte der rechten Spur gehalten werden.

Zunächst wird eine Beispielfahrt durchgeführt. Diese Beispielfahrt dient der Gewöhnung des Patienten an die Simulationsbedingungen.

Diese Fahrt dauert etwa drei Minuten.

Im Anschluss daran verliest der Untersucher die Instruktionen für drei Fahrereignisse, die standardisiert während der folgenden Fahrten auftreten werden und gibt Anweisungen, wie der Patient im jeweiligen Fall reagieren soll.

1. Das vordere Auto bremst plötzlich, d.h. sein Bremslicht leuchtet auf und es wird abrupt langsamer. Bitte betätigen Sie dann so schnell und kräftig wie möglich die Bremse und halten Sie den Sicherheitsabstand ein!
(Vollbremsungsereignis)

2. Das vordere Auto wird anschließend wieder auf 90 km/h beschleunigen. Bitte versuchen Sie dann, so schnell wie möglich wieder aufzuschließen, sodass die vorherige Geschwindigkeit von etwa 90 km/h sowie der Abstand von 35 Metern wiederhergestellt ist.
3. Das vordere Auto wird etwas langsamer, ohne zu bremsen (kein Bremslicht). Bitte betätigen Sie dann ebenfalls die Bremse und halten Sie den Sicherheitsabstand ein! (Verlangsamungsereignis)
4. Das vordere Auto wird anschließend wieder auf 90 km/h beschleunigen. Bitte versuchen Sie dann, so schnell wie möglich wieder aufzuschließen, sodass die vorherige Geschwindigkeit von etwa 90 km/h sowie der Abstand von 35 Metern wiederhergestellt ist.
5. Das hintere Auto blinkt links. Betätigen Sie bitte die Taste auf dem Lenkrad! (Situationsbefinden)

Es folgt eine weitere Übungsfahrt. Der Einstieg in die Fahraufgabe anhand von Übungsfahrten ist gängige Praxis in bereits durchgeführten Studien am Fahrsimulator mittels OpenDS [15][62]. Diese Übungsfahrten dienen zur Gewöhnung des Probanden an die Fahraufgabe.

Auch diese Fahrt dauert etwa drei Minuten und beinhaltet vier Blink-Ereignisse, vier Verlangungs-Ereignisse und vier Brems-Ereignisse. Etwa alle 15 sec tritt ein Ereignis ein. Für den Patienten ist nicht ersichtlich, wann welches Ereignis zu welchem Zeitpunkt eintritt.

An die zwei vorangegangenen Beispielfahrten schließt sich nun die sechs-minütige Testfahrt an. Diese beinhaltet wiederum je acht Blink-,Verlangsamungs-,und Bremsereignisse, wobei diese analog zur Beispielfahrt zwei alle 15 sec auftreten. (vgl. Anlage 5)

4.8.2 Parameter

Insgesamt wurden bei allen Probanden folgende Parameter erhoben.

1. Reaktionszeiten (Kap. 4.8.2.1)
 - Thinking time (Zeit von Reizeinfluss bis Fuß vom Gaspedal genommen wird)
 - Movement time (Zeit von Beinbewegung bis Kontakt Bremse)
 - Brake travel time (Zeit bis 80% der Bremse betätigt werden)
2. Klinischer Untersuchungsbefund (Kap. 4.8.2.2, Anlage 2)
3. Score nach Merle d'Aubigné und Postel (Kap. 4.8.2.3, Anlage 3)
4. Visuelle Analogskala im Alltag (VAS-U) (Kap. 4.8.2.4, Anlage 4)
5. Visuelle Analogskala während Fahrsimulator (VAS-T) (Kap. 4.8.2.5, Anlage 6)
6. Fragebogen DALI ((Kap. 4.8.2.6, Anlage 7)
7. Abschlussfragebogen 3VPT v3 (Kap. 4.8.2.7, Anlage 8)
8. Analgetikaeinnahme (Kap. 4.8.2.8, Anlage 8)
9. Subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit (VAS-F) (Kap. 4.8.2.9, Anlage 8)
10. Bildgebung (Kap. 4.8.2.10)

4.8.2.1 Reaktionszeiten

Während der Testfahrt wurden sowohl auf Vollbremsungs – als auch Verlangsamungsereignisse folgende Parameter gemessen.

1. Thinking time (Gasoff): Die Zeit, vom Reizeinfluss bis zum vollständigen Lösen des Fußes vom Gaspedal.

2. Movement time (Brake 0): Die Zeit, vom Reizeinfluss bis zum Erstkontakt mit dem Bremspedal.
3. Brake travel time (Brake 80): dabei wird die Zeit vom Reizeinfluss bis das Bremspedal zu 80% durchgedrückt wird gemessen. 80 % Bremsbetätigung in dem hier beschriebenen Versuchsaufbau sind mit einer vollständigen Betätigung der Bremse gleich zu setzen. Die Pedalposition zur Messung einer vollständigen Bremsaktion wurde experimentell bestimmt und auf 80% festgelegt, da es bei dem eingesetzten Kraftfahrzeugmodell der Marke Smart (Daimler-AG) mit stehendem Motor zu einem hohen Pedalwiderstand kommt und eine Betätigung der Bremse zu 100% nahezu unmöglich ist.

4.8.2.2 Klinische Untersuchung

Anschließend erfolgt die orientierende klinische Untersuchung der rechten Hüfte. Hierbei werden neben dem Weichteilstatus, das Bewegungsausmaß nach der Neutral-Null-Methode (Extension/Flexion, Innen-/Außenrotation, Adduktion/Abduktion), sowie der pDMS-Status (periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität) erhoben. Zusätzlich wird sowohl auf Druckschmerz in der Leiste und über dem Trochanter major, als auch auf einen Rüttelschmerz und Stauchungsschmerz geachtet. Die Untersuchung erfolgt im Seitenvergleich zur Gegenseite am liegenden Patienten. Die Ergebnisse werden auf dem extra für diese Studie angefertigten Untersuchungsbogen dokumentiert (vgl. Anlage 2).

4.8.2.3 Score nach Merle d'Aubigné und Postel

Zur Beurteilung der Hüftgelenksfunktion hat sich im Bereich der Hüftendoprothetik der Score nach Merle d'Aubigné und Postel in den vergangenen Jahrzehnten besonders etabliert [54]. Der Score wurde erstmals im Jahre 1949 angewendet. Dieser Score setzt sich zu 66% aus der subjektiven Einschätzung von Schmerz und Gehfähigkeit und zu 33% aus der objektiven Beurteilung der Beweglichkeit der Hüfte zusammen. Diese drei Kategorien werden mit jeweils einer Punktzahl von 0-6 bewertet (vgl. Anlage 3). Die Ergebnisse der einzelnen Kategorien werden addiert. Der Score-Wert ergibt sich aus der Addition der Punktwerte der einzelnen Unterkategorien [54]. Der Score nach Merle d'Aubigné und Postel hat sich sowohl zur präoperativen Funktionsbeurteilung der Hüfte als auch zur postoperativen Kontrolle nach Total-Hüft-Endoprothesen außerordentlich bewährt [57][4]

4.8.2.4 Visuelle Analogskala U

Die Visuelle Analogskala ist eine anerkannte und in der klinischen Anwendung weit verbreitete Möglichkeit zur Messung und Objektivierung von subjektiven klinischen Parametern wie Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit [20][49]. Mithilfe der Visuellen Analogskala wird zunächst vor dem Versuch eine Einschätzung von Schmerz, Funktion und Zufriedenheit in der alltäglichen Belastung des rechten Hüftgelenks erhoben, um diese Parameter sowohl mit dem Empfinden während der Simulationsfahrt als auch mit dem Empfinden während den postoperativen Kontrollen zu vergleichen.

Der Patient ordnet dabei sein subjektives Befinden auf einer Skala von null bis 10 ein. Hierbei ist die Skala für das alltägliche Schmerzempfinden bezeichnet von null für „keine Schmerzen“ bis 10 für „sehr starke Schmerzen“. Für die Funktion des rechten Hüftgelenks im Alltag entspricht null auf der Skala „keine Funktion“ und 10 kennzeichnet „Optimale Funktion“. Schließlich gilt null auf der Zufriedenskala als „nicht zufrieden“ und 10 „sehr zufrieden“.

Die Ergebnisse werden auf dem Untersuchungsbogen „Visuelle Analogskala U“ dokumentiert (vgl. Anlage 4)

4.8.2.5 Visuelle Analogskala T

Direkt nach den Testfahrten wird der Patient erneut zu Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit im rechten Hüftgelenk befragt, diesmal bezogen auf das Befinden während der Testfahrten.

Die Erhebung erfolgt analog zu der Befragung direkt vor den Testfahrten zum Befinden im Alltag, auf Skalen von jeweils null bis 10.

Die Ergebnisse werden auf dem Untersuchungsbogen „Visuelle Analogskala T“ festgehalten (vgl. Anlage 6)

4.8.2.6 Driving Activity Load Index (DALI)

Um die Anforderung an die kognitiven Fähigkeiten des Patienten während der drei Testfahrten zu erfassen und ein subjektives Maß für die Belastung während des Fahrens zur Testung hinzuzufügen, wird der DALI-Test zur Messung der Beanspruchung während des Fahrens verwendet[59].

Der Driving Activity Load Index (*DALI*) ist ein validierter Test zur Messung der Beanspruchung während des Autofahrens und wurde bereits in mehreren Studien

zur Messung der Beanspruchung während des Autofahrens unter unterschiedlichen Bedingungen herangezogen[8][29].

Als subjektive Einschätzung soll der Patient sein Empfinden auf einer Skala von eins „gering“ bis sechs „hoch“ in sieben Bereichen angeben.

Zunächst wird die Anforderung an die globale Aufmerksamkeit erfragt. Im Folgenden wird differenzierter auf einige Bereiche eingegangen wie die „Visuelle Anforderung“, „Auditive Anforderung“ und „Motorische Anforderung“. Erfragt wird hierbei jeweils das Beanspruchungsniveau, das in dem jeweiligen Bereich erforderlich war, um die Gesamtleistung zu erzielen.

Des Weiteren erfragt der Bereich „Zeitliche Anforderung“ die Beanspruchung durch das schnelle zeitliche Aufeinanderfolgen der einzelnen Fahraufgaben. Unter dem Überbegriff „Stress“ wird auf das Stress Niveau während des Versuchsablaufs durch Irritation, Müdigkeit, Unsicherheit, Entmutigung etc. eingegangen. Die „Interferenz“ bezieht sich auf die Beanspruchung, die durch die Anforderung durch eine gleichzeitige Zweitaufgabe neben der eigentlichen Fahraufgabe, durch das Reagieren auf das Blinken im Rückspiegel, besteht (vgl. Anlage 7)

4.8.2.7 Abschlussfragebogen

Der Abschlussfragebogen im Anschluss an die Testfahrt beinhaltet 13 Aussagen zur Fahrsimulation. Der Patient wird gebeten, anzugeben, inwieweit die jeweilige Aussage seiner eigenen Meinung entspricht bzw. das eigene Verhalten widerspiegelt. Diese Beurteilung soll immer in Bezug zur zuvor bewältigten Fahraufgabe gesetzt werden.

Die Aussagen beziehen sich sowohl auf das Verständnis der Fahraufgabe, auf die subjektive Einschätzung der erbrachten Leistung in der Fahraufgabe, auf das körperliche und mentale Befinden während der Fahraufgabe sowie einer Einschätzung der aktuellen Fahrfähigkeit aufgrund der eben abgeleisteten Fahraufgabe.

Zuletzt wird die präoperative Frequenz des Autofahrens (vgl. Anlage 8).

4.8.2.8 Schmerzmedikation

Die aktuelle Schmerzmedikation zu den Untersuchungszeitpunkten wurde im Rahmen des Abschlussfragebogens erfasst. Hierbei wurde auf Art und Häufigkeit der Schmerzmitteleinnahme eingegangen. (vgl. Anlage 8)

4.8.2.9 Subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit (VAS-F)

Im Anschluss an den Versuch werden die Probanden gebeten ihre subjektive Fahrtüchtigkeit im Alltag in einer visuellen Analogskala von 0 bis 100 einzuschätzen. (vgl. Anlage 8)

4.8.2.10 Bildgebung

Bei allen teilnehmenden Probanden, die sich einer Hüftprothesenimplantation unterzogen, wurden präoperativ Röntgenaufnahmen der Hüften zur präoperativen Planung angefertigt. Anhand dieser Aufnahmen wurde bei allen Studienteilnehmern der Arthrosegrad nach Kellgren bestimmt [39] und dokumentiert.

4.8.3 Untersuchungszeitpunkte

Die Patienten wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten untersucht.

- Untersuchungszeitpunkt t0: Ein Tag vor der geplanten Operation (n=30)
- Untersuchungszeitpunkt t1: Sechs Wochen postoperativ (n=16)
- Untersuchungszeitpunkt t2: Drei Monate postoperativ (n=5)

Die postoperativen Simulationsfahrten wurden im Rahmen des elektiven Wiedervorstellungstermins 6 und 12 Wochen postoperativ in der Endoprothesensprechstunde der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie durchgeführt.

Zu den Rückgängen der Probandenzahlen zu den postoperativen Untersuchungszeitpunkten kam es aufgrund von

- Ausscheiden aus der Studie auf Patientenwunsch
- Gefühl des Unwohlseins bei den vorangegangenen Testfahrten
- Terminlichen Schwierigkeiten
- Nicht zur Verfügung stehender Versuchsaufbau für 10 Tage, da dieser auf einem Kongress des DFKI ausgestellt wurde.

4.9 Datenerfassung und Statistik

Die Datenerfassung erfolgte während den Simulationsfahrten computergestützt mit OpenDS (entwickelt von der Automotive Group des Deutschen Forschungszentrums für künstliche Intelligenz, Erweiterungssoftware zur Verfügung gestellt von white|c) sowie mithilfe vorher eigens dafür angefertigten Messbögen. Die

Daten wurden aus den elektronischen Datensätzen extrahiert und gemeinsam mit den erhobenen Daten aus den Messbögen in Excel®-Tabellen übertragen sowie elektronisch gespeichert. So konnte auch zu einem späteren Zeitpunkt Zugriff darauf gewährleistet werden.

Alle erhobenen Werte wurden als ein Mittelwert mit Standardabweichung (STD) angegeben. Somit wurde ein Vergleich der Gruppen untereinander sowie zwischen den unterschiedlichen Untersuchungstagen innerhalb einer Gruppe möglich. Die graphische Darstellung der Mittelwerte erfolgte mittels Boxplots, Kreis- und Kuchendiagrammen sowie Verlaufskurven, die mithilfe von Microsoft Excel® (Microsoft Office 2011) angefertigt wurden.

Zur Analyse der gewonnenen Daten wurde das Programm IBM SPSS Statistics der Firma IBM Version 22.0.0.1 verwendet. Um die Fahrdaten der Arthrosepateen mit der gesunden Vergleichsgruppe zu vergleichen, wurde nach Prüfung der Daten auf Normalverteilung ein T-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Für den Vergleich zwischen präoperativen und postoperativen Testungen erfolgte ein T-Test für abhängige Stichproben. Ab einem $p < 0,05$ wurde von einem signifikanten Unterschied ausgegangen. Signifikante Unterschiede wurden in den zuvor erstellten Graphen entsprechend gekennzeichnet.

5 Ergebnisse

5.1 Analyse der Bremsreaktionszeiten

Die Fahrtüchtigkeit der Probanden wurde anhand der Bremsreaktionszeiten auf verschiedene Ereignisse analysiert. Hierbei stellt das Verlangsamungsereignis sicher das am häufigsten im alltäglichen Straßenverkehr vorkommende Ereignis dar. Um genauere Aussagen über die Fähigkeit einen möglicherweise lebensrettenden Emergency-Stop durchführen zu können, wurden zudem die Bremsreaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis untersucht.

5.1.1 Verlangsamungsereignis

Die Analyse der Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Verlangsamungsereignis zeigte, dass die gesunde Kontrollgruppe (con; n=30) zum Anheben des rechten Fußes vom Gaspedal im Mittel 1504 ms, für das Aufsetzen auf das Gaspedal 1910ms, sowie für das 80 prozentige Durchdrücken des Bremspedals 2280ms benötigte. Die Probanden, die klinisch-radiologisch an einer rechtsseitigen Koxarthrose erkrankt waren (cox; n=30) benötigten im Vergleich zu den Gesunden zwar etwas länger, jedoch nicht signifikant länger den Fuß vom Gaspedal zu nehmen (1502 ms), den Bremskontakt herzustellen (2059 ms) und die Bremse vollständig zu betätigen (2341 ms) (Abb. 5-1).

Bei der Analyse der Fahrtüchtigkeit der frisch operierten Probanden (6 Wochen postoperativ) konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Zeit im Vergleich zu den präoperativen Ausgangswerten festgestellt werden, die die Patienten benötigten den Fuß vom Gaspedal zu nehmen, den Erstkontakt zu Bremse herzustellen oder diese vollständig zu betätigen (Abb. 5-1).

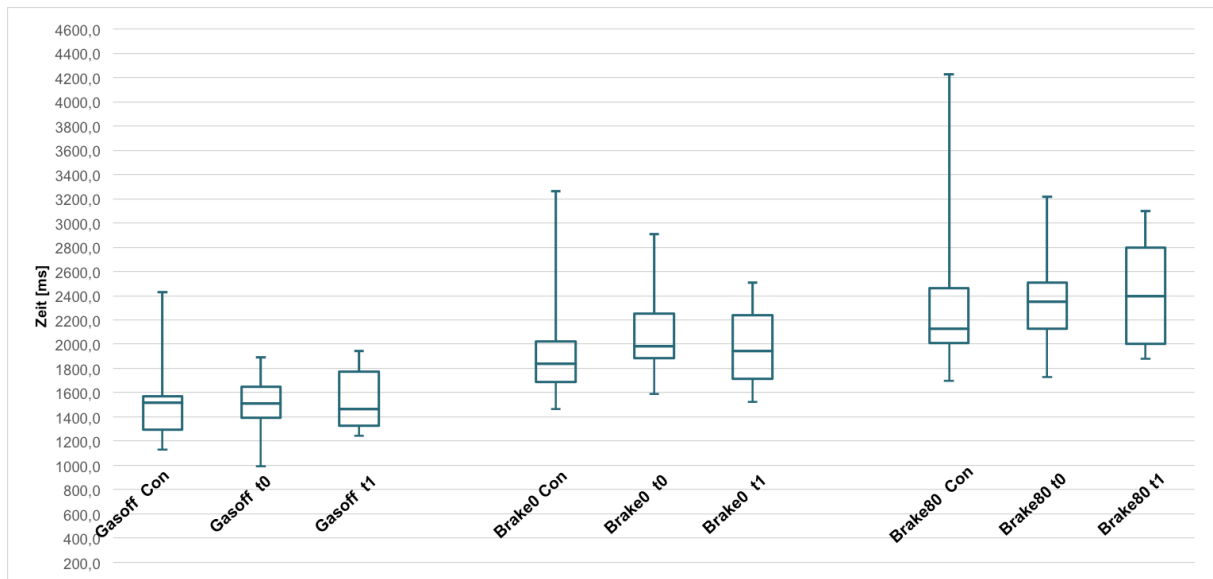


Abbildung 5-1 Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Verlangsamungsereignis für die Gruppen Gesund (Con, n=30), Koxarthrose präoperativ (Cox (t0), n=30) sowie Sechs Wochen postoperativ (Cox (t1) n=16); Gasoff means Thinking time; Brake0 means movement time; Brake80 means brake travel time; * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con; °means $p < 0,05$ vs Cox, °°means $p < 0,01$ vs Cox

5.1.2 Vollbremsungsereignis

Bei der Analyse der Bremsreaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis zeigte sich, dass die gesunde Kontrollgruppe mittlere Bremsreaktionszeiten von 854ms bis zum Anheben des rechten Fußes vom Gaspedal, 1152ms bis zum Aufsetzen des Fußes auf das Bremspedal sowie 1586ms bis zum 80 prozentigen Durchdrücken des Bremspedals aufwies.

Die Patienten, die an einer rechtsseitigen Koxarthrose litten, zeigten verglichen zu der gesunden Kontrolle keine Reaktionszeitverlängerung, bis der Fuß vom Gaspedal genommen wurde (GasOff = 850 ms). Bis der Erstkontakt zum Bremspedal hergestellt wurde dauerte in dieser Versuchsgruppe zwar länger (Brake0 = 1247 ms), jedoch nicht signifikant länger verglichen zu den gesunden gleichaltrigen Kontrollprobanden. Es zeigte sich jedoch, dass die Koxarthrosepatienten signifikant länger benötigten, die Bremse vollständig zu betätigen als die gesunde Kontrollgruppe (Brake80 = 1914 ms; $p < 0,05$). Die arthrosekranken Probanden waren hierbei 327,1ms langsamer als die gesunden Vergleichsprobanden.

Durch die Implantation einer Hüftprothese konnte in der 6-Wochen-Kontrolle die Bremsreaktionszeit in keiner der einzelnen Etappen des Bremsvorgangs verbessert werden (Abb. 5-2).

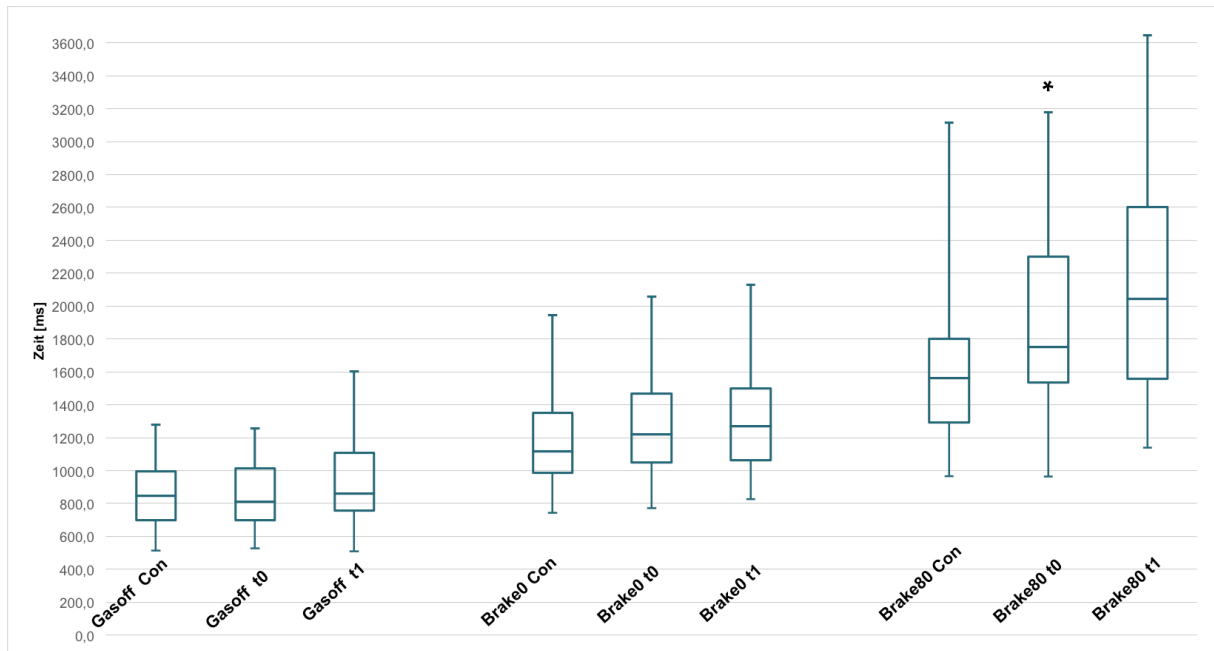


Abbildung 5-2 Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Vollbremsungsereignis für die Gruppen Gesund (Con, n=30), Koxarthrose präoperativ (Cox (t0), n=30) sowie Sechs Wochen postoperativ (Cox (t1) n=16); Gasoff means Thinking time; Brake0 means movement time; Brake80 means brake travel time; * means p<0,05 vs Con; **means p<0,01 vs Con; °means p<0,05 vs Cox, °°means p<0,01 vs Cox

Fünf Koxarthrosepatienten wiesen 6 Wochen postoperativ eine längere Bremsreaktionszeit auf als präoperativ. Drei der Patienten erreichten ihr präoperatives Niveau wieder. Vier Patienten konnten ihre Bremsreaktionszeit verglichen zu präoperativ verbessern ohne die BRT der gesunden Kontrollprobanden zu erreichen. Dahingegen konnten bei vier Patienten 6 Wochen postoperativ Bremsreaktionszeiten beobachtet werden, die vergleichbar waren mit denen der gesunden Kontrollgruppe (Abb. 5-3).

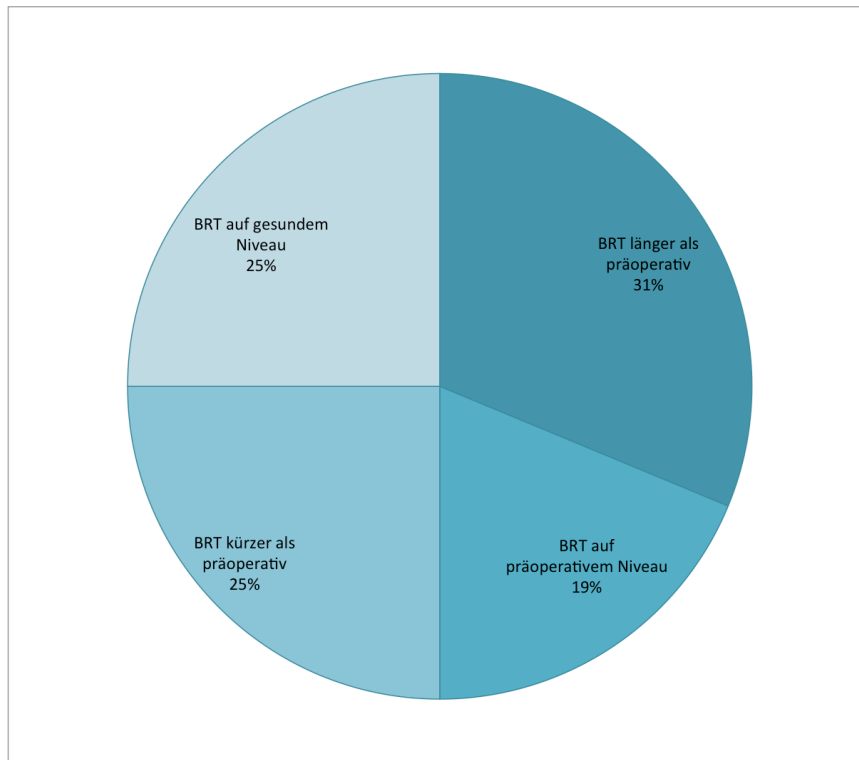


Abbildung 5-3 Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Vollbremsungsereignis an t1 (6 Wochen postoperativ; n=16) als Einzelanalyse

5.1.3 Langzeitverlauf

Um den Langzeitverlauf hinsichtlich des Fahrverhaltens nach einem endoprothetischem Hüftgelenkersatz darzustellen, wurde aufgrund der geringen Fallzahl in der Testung drei Monate postoperativ (n=5) eine qualitative Analyse auf Individualebene durchgeführt. Für diese Analyse standen fünf Patienten zu einer Kontrolle 12 Wochen nach erfolgtem Hüftgelenkersatz zur Verfügung.

Hierbei handelte es sich um die Versuchspersonen (Vpn) 23 (männlich, 51 Jahre) Vpn 29 (männlich, 80 Jahre), Vpn 33 (weiblich, 58 Jahre), Vpn 41 (weiblich, 61 Jahre) und Vpn 4 (weiblich, 67 Jahre).

Bei der Analyse der Reaktionszeiten, die die operierten Probanden benötigten um nach einem Vollbremsungsereignis den Fuß vom Gaspedal zu nehmen, zeigte sich ein sehr individueller Einzelverlauf (Abb. 5-4).

Bei insgesamt drei Versuchspersonen (Vpn 23, 33 und 49) konnten längere Gas-off-Reaktionszeiten drei Monate postoperativ als präoperativ beobachtet werden. Dabei handelte es sich um Probanden, deren präoperative Reaktionszeiten überdurchschnittlich gut im Vergleich zu den anderen Koxarthrosepatienten waren und nahezu denen der gesunden Vergleichsgruppe entsprachen (Abb. 5-4).

Eine Versuchsperson (Vpn 41) konnte ihren präoperativen Ausgangswert von 1028 ms 3 Monaten postoperativ wieder erreichen. VPN 29 konnte sich im Langzeitverlauf im Vergleich zu seiner präoperativen Gas-off-Reaktionszeit von 1201ms auf 681ms deutlich verbessern (Abb. 5-4).

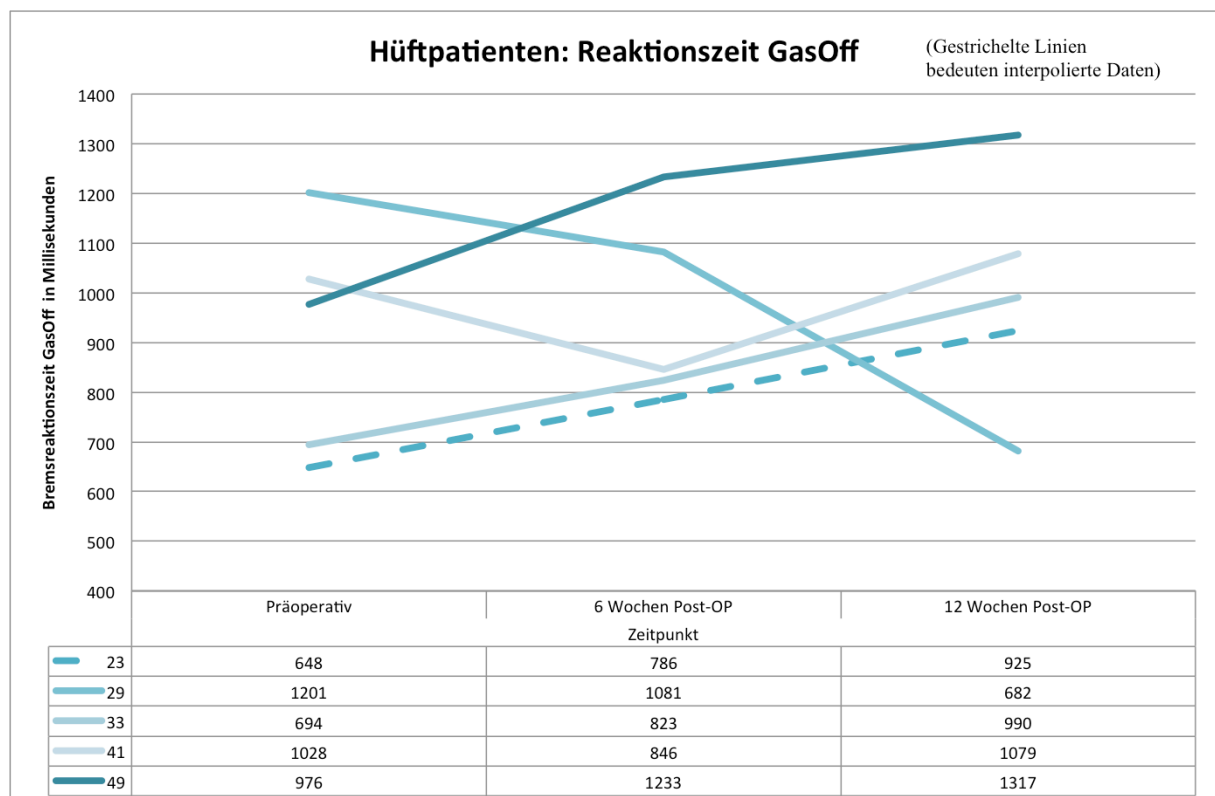


Abbildung 5-4 Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit GasOff nach operativem Hüftgelenkersatz bei Koxarthrosepatienten (n=5) zu den Zeitpunkten t₀, t₁ und t₂

Auch bei der Untersuchung der individuellen Langzeitverläufe der Brake-0-Bremsreaktionszeit 12 Wochen postoperativ zeigte sich, dass die drei Versuchspersonen 23, 33 und 49, die präoperativ ebenso gute Werte wie Gesunde aufwiesen, 12 Wochen nach der Operation ihre präoperativen Ausgangswerte nicht wieder erreichen konnten. Dahingegen reagierten die Versuchspersonen 41 und 29 hinsichtlich der Zeit, die benötigt wurde, den Fuß zum Bremspedal zu führen 12 Wochen postoperativ deutlich schneller als präoperativ. Bei VPN 29 handelte es sich hierbei um eine Reaktionszeitverbesserung von 570ms (Abb. 5-5).

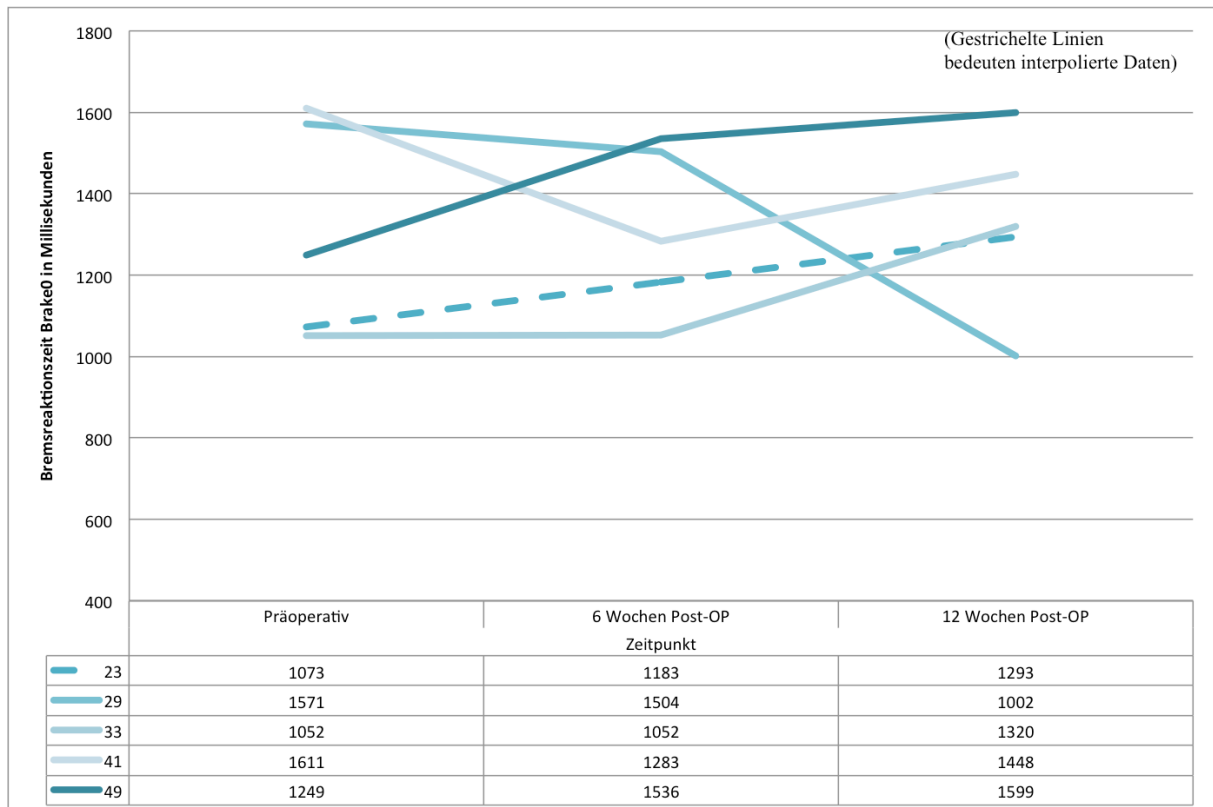


Abbildung 5-5 Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit Brake0 nach operativem Hüftgelenksersatz bei Koxarthrosepatienten (n=5) zu den Zeitpunkten t0, t1 und t2

Bei der Analyse der Zeit, die benötigt wurde, um das Bremspedal zu 80% zu betätigen (Brake80), zeigte die Versuchsperson 29 in der 12-Wochen-Kontrolle sogar eine Verbesserung der Brake-80-BRT um insgesamt 1170ms (Abb. 5-6).

Proband 23 erreichte eine BRT von 1671ms zu diesem Untersuchungszeitpunkt, was nahezu vollständig seinem präoperativen Ausgangswert von 1564ms entsprach (Abb. 5-6).

Die Versuchspersonen 41 und 49 wiesen längere Brake-80-Bremsreaktionszeiten 12 Wochen postoperativ auf, ohne dass ihre präoperativen Ausgangswerte wieder erreicht werden konnten (Abb. 5-6).

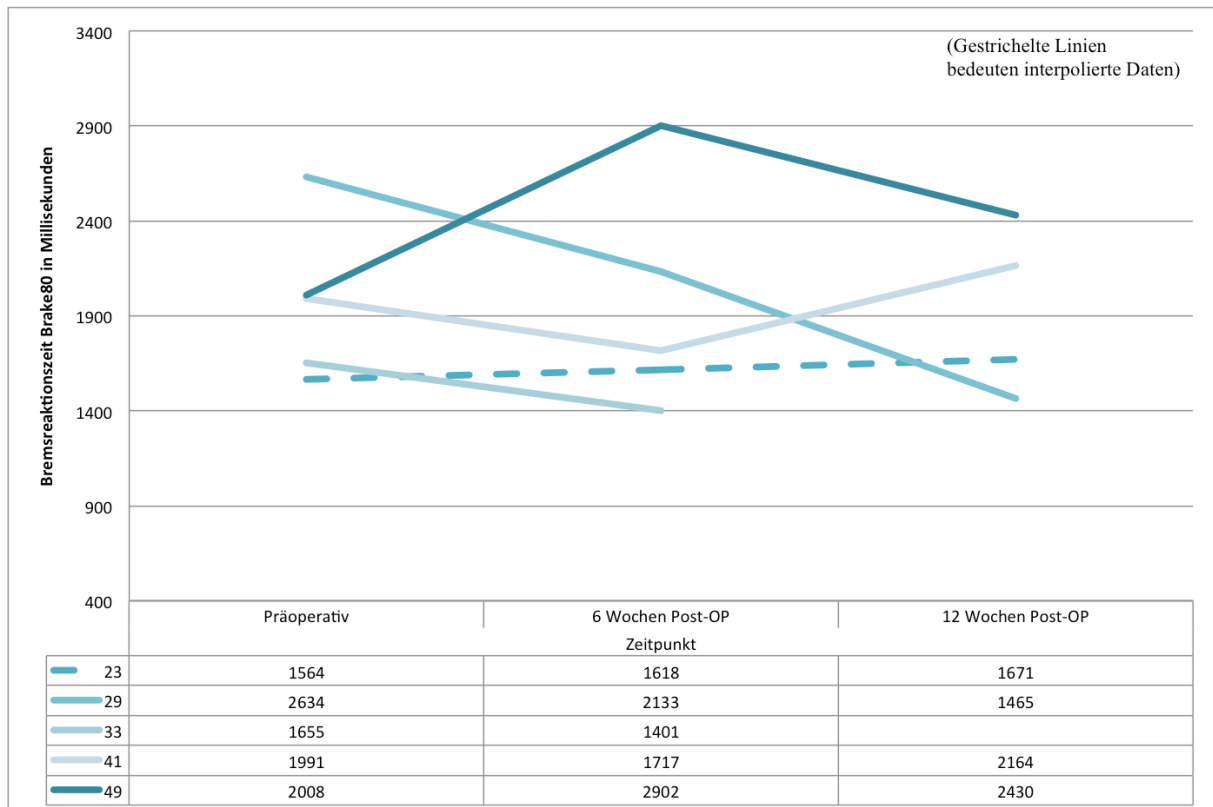


Abbildung 5-6 Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit Brake80 in ms nach operativem Hüftgelenkersatz bei Koxarthrosepatienten (n=5) zu den Untersuchungszeitpunkten t0, t1 und t2 für die Versuchspersonen 23,29,33,41 und 49

5.2 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30) zeigte keinerlei Auffälligkeiten. Alle Probanden waren hinsichtlich des rechten Hüftgelenks vollständig beschwerdefrei und zeigten ein normales Bewegungsausmaß von 10°-0°-120° in Extension und Flexion, mit geringgradigen individuellen Schwankungen im physiologischen Referenzbereich.

In der klinischen Untersuchung der Koxarthrosepatienten (cox; n=30) waren bei allen Patienten die Haut und Weichteile präoperativ intakt und reizlos. Sechs Wochen postoperativ waren die Operationswunden der nachuntersuchten Patienten (n=16) bei 15 Patienten verheilt, bei einem Patienten zeigte sich noch eine leichte Rötung jedoch ohne Anhalt auf lokale Infektion.

Präoperativ konnte ein inguinaler Druckschmerz bei über der Hälfte (53,34%) der untersuchten Patienten ausgelöst werden. Sechs Wochen postoperativ war dies bei keinem dieser Patienten mehr der Fall.

Über dem Trochanter major gaben 37% der Patienten präoperativ einen Druckschmerz an. Sechs Wochen nach Hüftprothesenimplantation klagten lediglich

noch 12% der untersuchten Patienten über eine Druckdolenz über dem Trochanter major, wobei dieser bei einem Patienten schon präoperativ bestand und nur bei einem Patienten neu aufgetreten war. In der 12-Wochen-Kontrolle waren auch diese beiden Patienten dahingehend beschwerdefrei.

Acht von 30 Patienten beklagten präoperativ einen Stauchungsschmerz im rechten Hüftgelenk. Sechs Wochen postoperativ konnte kein Stauchungsschmerz bei sechs dieser Patienten mehr ausgelöst werden, die verbleibenden zwei Patienten standen für eine Kontrolluntersuchung nicht zur Verfügung.

Präoperativ klagten 66% der Probanden über einen Rüttelschmerz im rechten Hüftgelenk. Sechs Wochen postoperativ wies noch einer dieser Patienten einen solchen Schmerz bei der klinischen Untersuchung auf. Nach weiteren sechs Wochen war auch dieser Patient beschwerdefrei.

Das Bewegungsausmaß in Extension und Flexion war bei den arthrosekranken Probanden der Gruppe A im Vergleich zur gesunden Vergleichsgruppe deutlich eingeschränkt. Die Flexion lag durchschnittlich bei $92^\circ \pm 6,8$ und die Extension bei 0° . Zwei Patienten wiesen ein Streckdefizit von jeweils 10 Grad auf. Drei Monate postoperativ hatten alle untersuchten Patienten ein Zielbewegungsausmaß von mindestens 90° Flexion sowie 0° Extension wiederlangt. Keiner dieser Patienten wies ein Extensionsdefizit drei Monate postoperativ auf.

Keine der in der hier vorgestellten Studie teilnehmenden Probanden wies prä- oder postoperativ Störungen der peripheren Durchblutung oder Motorik auf. Eine Versuchsperson klagte 6 Wochen postoperativ über neu aufgetretene leichte Parästhesien im Dermatom L5 rechtsseitig, es war jedoch keine Fußheberparese feststellbar.

5.3 Score nach Merle d'Aubigné

Bei der klinischen Beurteilung des Hüftgelenks zeigten sich für die erreichten Scorewerte nach Merle d'Aubigné ein deutlicher, statistisch signifikanter Unterschied zwischen der arthrosekranken Testgruppe und der gesunden Vergleichsgruppe. ($p=0.00$) Mit einem Mittelwert von 11,1 schnitten die Koxarthrosepatienten im Score nach Merle d'Aubigné deutlich schlechter als die gesunde Vergleichsgruppe (Mittelwert 17,9) ab. Koxarthrosepatienten weisen daher sowohl signifikant niedrigere Scorewerte nach Merle d'Aubigné als auch signifikant längere Bremsreaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis als Gesunde auf. (Tab. 2)

	Gesund (con)	Arthrose (Cox)
BRT Brake80	1568 ± 436 ms	1913 ± 549 ms *
Merle d'Aubigné	17,9 ± 0,3	11,1 ± 2,5 **

*Tabelle 2 Bremsreaktionszeit Brake80 und Score nach Merle d'Aubigné und Postel, jeweils für die gesunde Kontrollgruppe (Con), sowie Koxarthrosepatienten (Cox). * means p<0,05 vs Con; **means p<0,01 vs Con Mittelwert ± STD*

Es konnte eine signifikante Korrelation zwischen der Reaktionszeit auf ein Vollbremsungsereignis und dem von Koxarthrosepatienten präoperativ erreichtem Wert innerhalb des Merle d'Aubigné - Scores festgestellt werden. ($\rho=-0.45$; $p=.012$). Somit korrelierten längere Bremsreaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis signifikant mit niedrigeren Ergebnissen im Merle d'Aubigné- Score. (Tab. 3)

Score nach Merle d'Aubigné	BRT Brake80
18 bis 13 Punkte (n=7)	1572ms ± 621
12 bis 7 Punkte (n=21)	1959ms ± 474
6 bis 1 Punkt (n=2)	2632ms ± 205

Tabelle 3 Zusammenhang von Bremsreaktionszeit Brake80 Mittelwert ± STD und Score nach Merle d'Aubigné und Postel innerhalb der Gruppe der Koxarthrosepatienten (Cox, n=30). Signifikante Korrelation von Brake80 und Score nach Merle d'Aubigné $\rho=-0.45$ ($p=0,012$).

Zudem ließ sich feststellen, dass sich die Koxarthrosepatienten 6 Wochen nach endoprothetischem Hüftgelenksersatz um durchschnittlich 4,69 Score-Punkte verglichen zum präoperativen Ausgangswert verbesserten ($p=0,00$) (Abb. 5-7). Aufgrund der nur geringen Patientenfallzahl 12 Wochen postoperativ konnten zu diesem Untersuchungszeitpunkt keine validen Daten erhoben werden.

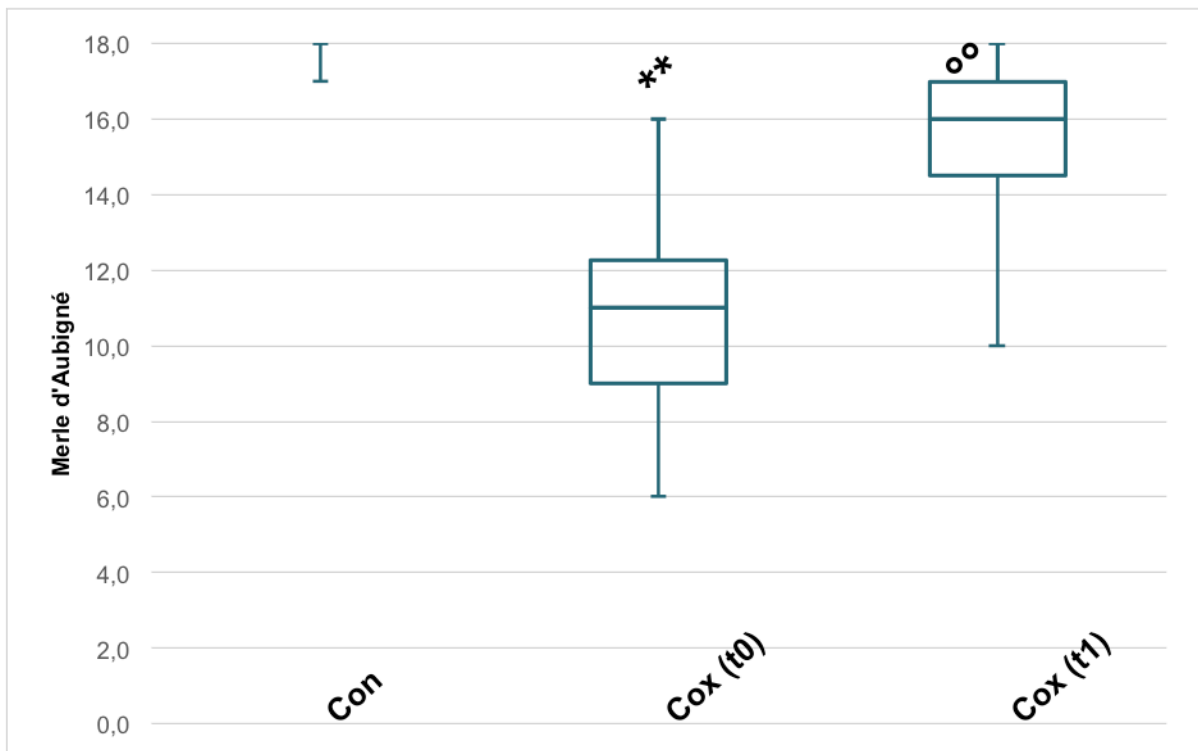


Abbildung 5-7 Merle d'Aubigné Score- Mittelwert für die gesunde Vergleichsgruppe (Con) sowie für die Gruppe der Koxarthrose-Patienten präoperativ (Cox(t0)) und im postoperativen Verlauf nach sechs Wochen (Cox(t1)). ; * means $p < 0,05$ vs Con; ** means $p < 0,01$ vs Con; ° means $p < 0,05$ vs Cox, °° means $p < 0,01$ vs Cox

5.4 Visuelle Analogskalen für Schmerz, Funktion und Zufriedenheit im Alltag

Die Auswertung der Visuellen Analogskalen für Schmerz, Funktion und Zufriedenheit im Alltag erfolgte unter Zuhilfenahme des t-Tests. Mit einem t-Test für unabhängige Stichproben wurden zunächst die Mittelwerte der arthrosekranken Versuchsgruppe (cox; $n=30$) zum Zeitpunkt „präoperativ“ mit den Mittelwerten der gesunden Kontrollgruppe (con; $n=30$) verglichen. Sowohl für die Schmerzen im Alltag als auch bei der Selbsteinschätzung der Patienten zu Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk im Alltag zeigten sich hoch signifikante Unterschiede innerhalb der beiden Untersuchungsgruppen.

Bei der Analyse der Schmerzangabe im Alltag zeigte sich eine Differenz zwischen den Mittelwerten der gesunden und der arthrosekranken Patienten von 5,6 Punkten ($p=0,00$). Die Unterschiede lagen bei den Mittelwerten zur Funktion des rechten

Hüftgelenks bei 5,86 Punkten ($p=0,00$) und bei 8 Punkten auf der Zufriedenheitsskala $p=$ ($p=0,00$) (Tab. 4).

	Schmerzen im Alltag	Funktion im Alltag	Zufriedenheit im Alltag
Cox (t0) (n=30)	6,67 ± 2,23	3,77 ± 1,74	1,77 ± 1,91
Con (n=30)	1,07 ± ,254	9,63 ± ,765	9,77 ± ,626
p-Wert	,00	,00	,00

Tabelle 4 Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk im Alltag. Vergleich der Messergebnisse der Koxarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t0 (cox; n=30) mit den Messergebnissen der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30). Mittelwert ± STD

Um den postoperativen Verlauf hinsichtlich der Schmerzen, der Funktion des rechten Hüftgelenks sowie der Zufriedenheit mit dem Gelenk im Alltag beurteilen zu können, wurden die Mittelwerte der Ergebnisse der Koxarthrosepatienten (cox) in der Sechs-Wochen-Kontrolle (t1) sowie der Drei-Monats-Kontrolle (t2) in einem t-Test für abhängige Stichproben mit den präoperativen Ausgangswerten verglichen. Hier zeigte sich eine signifikante Verbesserung in den Bereichen Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit im Vergleich zu den präoperativen Werten zum Beobachtungszeitpunkt t0 sowohl für den Untersuchungszeitpunkt t1 als auch für den Versuchszeitpunkt t2. Bereits sechs Wochen nach der Operation bemerkten die Koxarthrosepatienten eine signifikante Funktionsverbesserung der rechten Hüfte ($p=0,00$). Im Langzeitverlauf konnte eine Schmerzreduktion von durchschnittlich 3,47 Punkten erreicht werden ($p=0,10$). Ebenso steigerte sich die Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk im Alltag postoperativ im Mittel um 6,23 Punkte ($p=0,011$) (Tab. 5).

VAS Variable	6 Wochen (t1)	3 Monate (t2)
Schmerzen im Alltag		
postoperativ	2,00 ± 1,15	3,2 ± 2,17
Präoperativ (t0)	6,67 ± 2,23	6,67 ± 2,23
p-Wert	,00	,010
Funktion im Alltag		
postoperativ	7,25 ± 1,95	6,6 ± 2,07
Präoperativ (t0)	3,77 ± 1,74	3,77 ± 1,74
p-Wert	,00	,094
Zufriedenheit im Alltag		
postoperativ	9,00 ± 1,83	8,0 ± 2,0
Präoperativ (t0)	1,77 ± 1,91	1,77 ± 1,91
p-Wert	,00	,011

Tabelle 5 Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk im Alltag. Vergleich der Messergebnisse der operierten Koxarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t1 (cox; n=16) und t2 (cox; n=5) mit den präoperativen Ausgangswerten zum Beobachtungszeitpunkt t0 (cox; n=30). Mittelwert ± STD

5.5 Visuelle Analogskalen für Schmerz, Funktion und Zufriedenheit während der Simulationsfahrt

Bei der Analyse der Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit während der Simulationsfahrt zeigte sich, dass die Koxarthrosepatienten (cox; n=30) vor der Hüftprothesenimplantation (t0) im Mittel ein Schmerzniveau von 2,6 Punkten äußerten. Die Funktion der rechten Hüfte während den Testfahrten wurde in dieser Gruppe im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe (con; n=30) signifikant schlechter eingestuft (p=0,00). Die Zufriedenheit mit der rechten Hüfte während der Simulation wurde von den Koxarthrosepatienten durchschnittlich mit 7,87 angegeben, wohingegen die gesunde Kontrollgruppe 9,83 von 10 möglichen Punkten angab. Somit zeigten sich Koxarthrosepatienten während der Fahraufgabe signifikant unzufriedener mit ihrer rechten Hüfte, schätzten die Funktion der Hüfte signifikant schlechter ein und gaben signifikant stärkere Schmerzen an (alle p=0,00). (Tab. 6).

	Schmerzen während der Fahrt	Funktion während der Fahrt	Zufriedenheit während der Fahrt
Arthrosekrank, präoperativ	2,6 ± 1,98	7,83 ± 2,65	7,87 ± 2,73
Gesund	1,03 ± ,183	9,77 ± ,626	9,83 ± ,461
p-Wert	,00	,00	,00

Tabelle 6 Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk während der Simulationsfahrt. Vergleich der Messergebnisse der Koxarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t0 (cox; n=30) mit den Messergebnissen der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30). Mittelwert ± STD

Auch für das Schmerzniveau während der Simulationsfahrt konnte im Vergleich zum präoperativen Zustand (t0) bereits sechs Wochen nach der Operation eine signifikante Verbesserung (t1) beobachtet werden (p=0,01). Zudem zeigten sich eine bessere Funktion des Gelenks (p=0,016) sowie eine höhere Zufriedenheit (p=0,013) mit dem rechten Hüftgelenk während der Testfahrt verglichen zu den präoperativen Ausgangswerten (t0) (Tab. 7).

VAS Variable	6 Wochen (t1)	3 Monate (t2)
Schmerzen		
postoperativ	1,44 ± 1,51	1,8 ± ,84
präoperativ	2,6 ± 1,98	2,6 ± 1,98
p-Wert	,01	,02
Funktion		
postoperativ	9,69 ± ,873	
präoperativ	7,83 ± 2,65	9,6 ± ,55
p-Wert	,016	7,83 ± 2,65 ,13
Zufriedenheit		
postoperativ	9,81 ± ,544	9,0 ± 1,73
präoperativ	7,87 ± 2,73	7,87 ± 2,73
p-Wert	,013	,16

Tabelle 7 Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk während der Simulationsfahrt. Vergleich der Messergebnisse der operierten Koxarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t1 (cox, n=16) und t2 (cox; n=5) mit den präoperativen Ausgangswerten zum Beobachtungszeitpunkt t0 (cox; n=30). Mittelwert ± STD

5.6 Driving Activity Load Index

Um die Anforderung an die kognitiven Fähigkeiten der Patienten während der Simulationsfahrten zu erfassen und somit ein subjektives Maß für die Belastung während des Fahrens zu gewinnen, wurde der DALI-Test angewendet.

Bei der Belastungsanalyse der Probanden durch die Fahraufgabe mithilfe des Driver Activity Load Index zeigte sich, dass es zwischen den Koxarthrosepatienten (cox; n=30) und der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30) hinsichtlich der sieben Testdimensionen Globale Aufmerksamkeit, Visuelle Anforderung, Auditive Anforderung, Motorische Anforderung, Stress, Zeitliche Anforderung und Interferenz keine signifikanten Unterschiede gab.

Auch bei der Untersuchung der subjektiven Fahraufgabenbelastung nach einer Hüftprothesenimplantation konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Belastung beim Vergleich der Messergebnisse innerhalb der beiden Untersuchungszeitpunkten (t1 und t2) festgestellt werden. Operierte Patienten

stufen weder 6 (t1) noch 12 (t2) Wochen postoperativ ihre Anforderungsbelastung höher ein als präoperativ (t0) (Tab. 8).

DALI	Con (n=30)	Cox (n=30)	Cox (n=16)	Cox (n=5)
Variable		t0	t1	t2
Globale	3,83 ± 1,683	4,63 ± 1,497	4,69 ± 1,49	3,8 ± 1,92
Aufmerksamkeit				
Auditive	1,87 ± 1,196	1,73 ± 1,337	3,06 ± 1,61	2,00 ± 1,41
Aufmerksamkeit				
Visuelle	2,93 ± 1,818	3,43 ± 1,775	1,38 ± 0,72	1,20 ± 0,45
Aufmerksamkeit				
Motorische	2,07 ± 1,363	1,97 ± 1,450	1,69 ± 1,20	1,20 ± 0,45
Aufmerksamkeit				
Stress	2,03 ± 1,402	1,67 ± 1,093	1,44 ± 1,03	1,80 ± 1,10
Zeitliche	1,70 ± 1,208	1,57 ± 1,073	1,25 ± 0,58	1,20 ± 0,45
Anforderung				
Interferenz	2,77 ± 1,675	2,53 ± 1,383	2,38 ± 1,45	2,00 ± 1,00

*Tabelle 8 Driver Activity Load Index (DALI) für die gesunde Kontrollgruppe (con; n=30), die arthrosekranke Versuchsgruppe (cox; n=30) präoperativ (t0) sowie 6 Wochen (t1; n=16) und 12 Wochen (t2; n=5) nach Hüftprothesenimplantation . Mittelwert ± STD. * means p<0,05. ** means p<0,01.*

5.7 Abschlussfragebogen

Bei der Auswertung des Abschlussfragebogens 3VPT v3 konnten signifikante Unterschiede hinsichtlich der Schmerzangabe im rechten Hüftgelenk innerhalb der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30) und der Gruppe der Patienten, die an einer Koxarthrose litten (cox; n=30) beobachtet werden (vgl. Anlage 8 Frage 11). Patienten, die an einer Koxarthrose litten stimmten der Aussage Schmerzen zu haben signifikant häufiger als die Probanden der gesunden Vergleichsgruppe zu ($p < 0,001$).

Bei der Analyse der Parameter in den postoperativen Verlaufskontrollen zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den präoperativen Angaben der Koxarthrosepatienten (cox; n=30, t0) im Vergleich zum 1. Nachuntersuchungszeitpunkt (t1). Die Patienten gaben sechs Wochen nach dem Hüftgelenkersatz (t1) signifikant häufiger an, „die Fahraufgabe problemlos meistern“ zu können als noch präoperativ (t0) (p= 0,014; vgl. Anlage 8 Frage 2). Ebenso wurde die Fahraufgabe von den Patienten zu diesem Untersuchungszeitpunkt (t1) als signifikant weniger „mental belastend“ eingeschätzt (p=0,006 ; vgl. Anlage 8 Frage 4). Desweiteren gaben die Patienten signifikant häufiger an, sich „beim Fahren sicher und der Aufgabe gewachsen“ zu fühlen (p=0,014 ; vgl. Anlage 8 Frage 5) und gaben deutlich seltener an sich beim Fahren „körperlich unsicher“ zu fühlen (p=0,009 ; vgl. Anlage 8 Frage 8).

Bezüglich des rechten Hüftgelenks hatten die Patienten während der Simulationsfahrt sechs Wochen postoperativ (t1) ein deutlich „stabileres Gefühl“ (p=0,033 ; Anlage 8 Frage 10) und konnten der Aussage „Schmerzen/ Beschwerden im rechten Hüftgelenk zu haben“ nur noch in einem signifikant geringerem Maß zustimmen (p=0,002 ; vgl. Anlage 8 Frage 11)

Bezogen auf das Fahrverhalten der beiden Versuchsgruppen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der wöchentlichen Fahrfrequenz der Probanden. Allerdings gaben die Koxarthrosepatienten an, deutlich weniger, jedoch nicht signifikant unterschiedlicher Kilometer im Jahr (durchschnittlich 12060 ± 11445 km) mit dem PKW zurückzulegen als die gesunde Kontrolle (con; n=30) (21552 ± 24144 km).

5.8 Visuelle Analogskala zur subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit (VAS-F)

Mittels Visueller Analogskala (VAS-F) wurden die Patienten um eine subjektive Einschätzung ihrer aktuellen Fahrtüchtigkeit auf einer Skala von null „gar nicht fahrtüchtig“ bis 100 „voll fahrtüchtig“ gebeten. Die Koxarthrosepatienten schätzten ihre Fahrtüchtigkeit nicht signifikant schlechter ein als die gesunden Probanden.

Bei der Analyse der subjektiven Fahrtüchtigkeit der Patienten nach Hüftprothesenimplantation zeigte sich, dass die operierten Probanden 6 Wochen postoperativ (t1) ihre Fahrtüchtigkeit nicht signifikant besser als zu dem präoperativen Untersuchungszeitpunkt (t0) einschätzten. Drei Monate nach dem

operativen Hüftgelenkersatz (t2) gaben die Patienten eine mittlere Fahrtüchtigkeit von 95,8% an. Dieser Wert entsprach der subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit der gesunden Vergleichsgruppe (Tab. 9).

Con (n=30)	Cox (n=30) t0	Cox (n=16) t1	Cox (n=5) t2
94,47 ± 10,6	89,0 ± 19,3	91,8 ± 9,5	95,8 ± 4,3

*Tabelle 9 Visuelle Analogskala zur subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30), der arthrosekranken Versuchsgruppe (cox; n=30) präoperativ (t0) sowie 6 Wochen (t1; n=16) und 12 Wochen (t2; n=5) nach Hüftprothesenimplantation . Mittelwert ± STD. * means p<0,05. ** means p<0,01.*

Die Koxarthrosepatienten schätzten ihre Fahrfähigkeit nicht signifikant schlechter als die gesunde Vergleichsgruppe ein. Gleichzeitig wiesen sie signifikant längere Bremsreaktionszeiten und niedrigere klinische Scorewerte nach Merle d'Aubigné auf (Tab. 10).

	Gesund	Koxarthrose
Score nach Merle d'Aubigné	17,9 ± 0,3	11,0 ± 2,5 **
Bremsreaktionszeit Brake80	1586,45 ms ± 435,78	1913,71 ms ± 549,24*
VAS Fahrtüchtigkeit	95 % ± 10,6	89 % ± 19,3

*Tabelle 10 Mittelwerte mit Standardabweichung der gesunden Kontrollgruppe sowie der Gruppe der Koxarthrosen für den klinischen Score nach Merle d'Aubigné, die objektive Reaktionszeit bis zum 80 prozentigen Durchdrücken der Bremse auf ein Vollbremsungsereignis sowie der subjektiven Selbsteinschätzung der Fahrfähigkeit durch die Patienten mittels VAS vgl. Anlage 8 „Abschlussfragebogen EuroQuol VAS“. * means p<0,05 ** means p<0,01*

5.9 Analgetikaeinnahme

Bei keinem der gesunden Probanden bestand die Notwendigkeit zur Analgetikaeinnahme.

11 der präoperativ untersuchten, arthrosekranken Probanden (cox; n=30) waren ebenfalls nicht auf die regelmäßige Einnahme von Analgetika angewiesen. Von den verbleibenden 19 Patienten nahmen 15 Patienten regelmäßig nicht steroidale-Anti-Rheumatika (NSAR) ein. Vier Patienten waren auf die Einnahme von Opiaten angewiesen. Insgesamt wurden 63 % der Patienten mit Analgetika behandelt (Abb. 5-8).

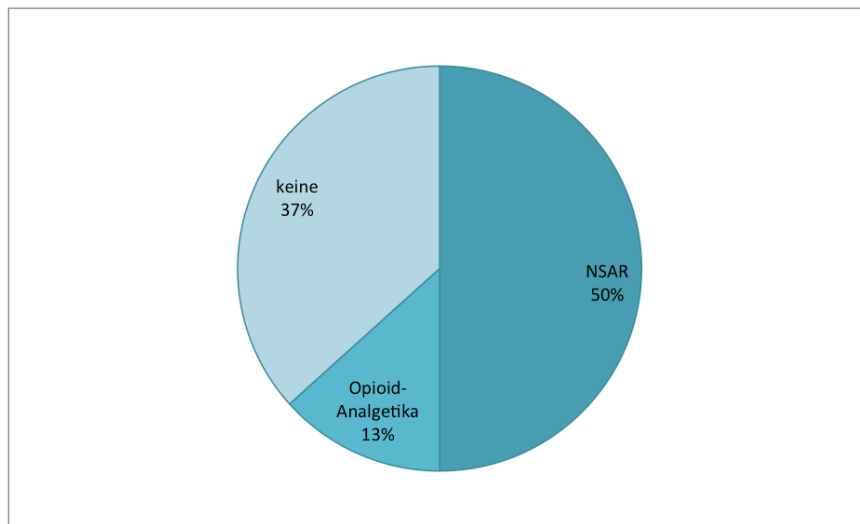


Abbildung 5-8 Analgetika-Einnahme der Koxarthrosepatienten (cox; n=30) präoperativ (t0)

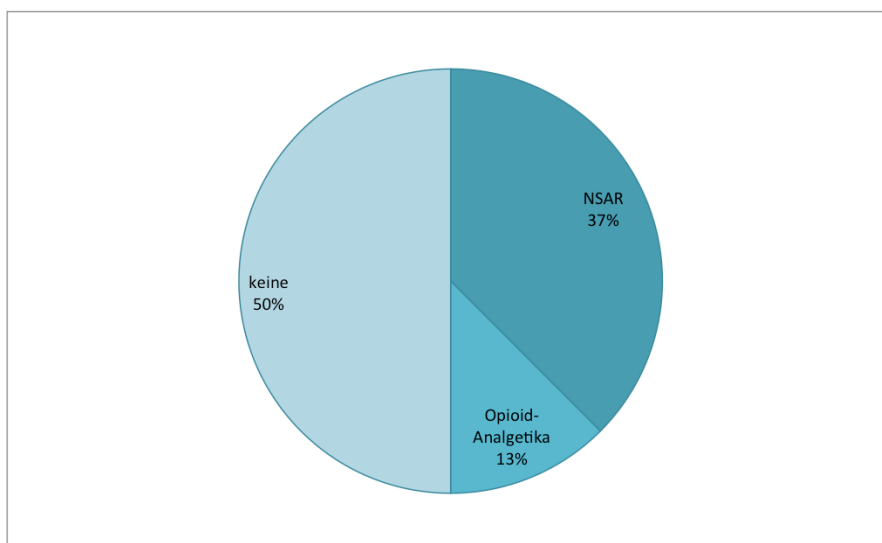


Abbildung 5-9 Analgetika-Einnahme der Koxarthrosepatienten (cox; n=30) 6 Wochen postoperativ (t1)

Sechs Wochen nach der Operation (t1) war nur noch die Hälfte der untersuchten Probanden (cox; n=16) auf die regelmäßige Einnahme von Analgetika angewiesen. Sechs der 16 Patienten, die zur postoperativen Sechs-Wochen-Kontrolle zur Verfügung standen, nahmen NSAR ein, während zwei Patienten Opioid-Analgetika benötigten (Abb. 5-9).

Von den fünf Patienten, die zu einer Drei-Monats-Kontrolle zur Verfügung standen, war nur noch ein Patient auf die Einnahme von Analgetika angewiesen.

5.10 Röntgen

Die präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen wurden hinsichtlich des Arthrosestadiums mithilfe des Kellgren und Lawrence Scores beurteilt[39]. In dieser Gruppe wurde keine Röntgenaufnahme mit Kellgren und Lawrence Stadium I befundet. Neun Patienten wiesen ein radiologisches Arthrosestadium II auf, während 20 Röntgenaufnahmen einem Stadium III zugeordnet wurden. Die Aufnahme eines Patienten wurde nativradiologisch als fortgeschrittenes Stadium IV nach Kellgren und Lawrence befundet (Abb. 5-10).

Hinsichtlich der Analyse der Bremsreaktionszeiten und des nativradiologischen Arthrosestadiums konnte innerhalb der Untersuchungsgruppe keine signifikante Korrelation der beiden Parameter beobachtet werden ($\rho = -0,21$; $p > 0,05$). In unserem Patientenkollektiv zeigten sich im Mittel sogar längere Bremsreaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis bei Patienten mit niedrig gradigeren Kellgren-Stadien (Tab. 11).

Kellgren-Stadium	BRT Brake80
2 (n=9)	2155ms ± 608
3 (n=20)	1821ms ± 512
4 (n=1)	1585ms

*Tabelle 11 Bremsreaktionszeit Brake80 auf ein Vollbremsungsereignis in Abhängigkeit vom Kellgrenstadium der Koxarthrosepatienten (Cox, n=30). Keine signifikante Korrelation der beiden Parameter nachweisbar ($\rho = -0,21$; $p > 0,05$); Mittelwert ± STD; Brake80 means Brake travel time, * means $p < 0,05$. ** means $p < 0,01$.*

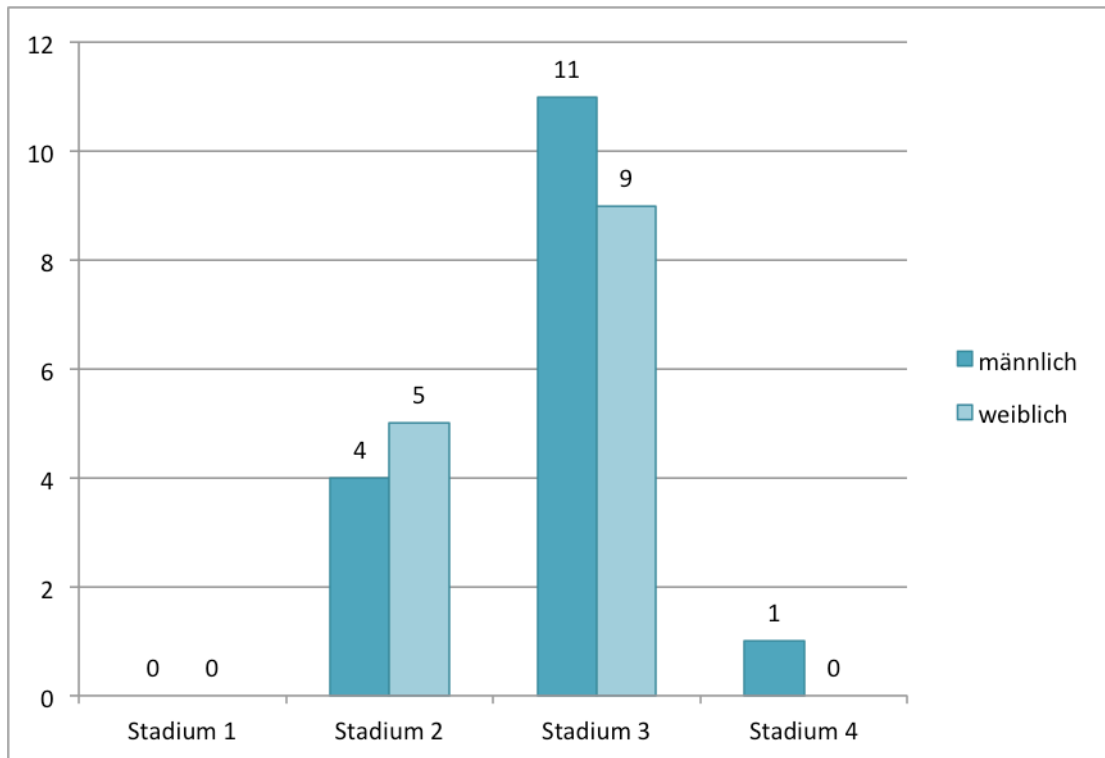


Abbildung 5-10 Übersicht über das Arthrosestadium der teilnehmenden Probanden nach Kellgren und Lawrence (cox; n=30).

6 Diskussion

6.1 Modell der Studie

6.1.1 Studiendesign

Es ist bekannt, dass Simulatoren verschiedenster Verkehrsmittel neben Unterhaltungszwecken zum Sicherheitstraining und zu Ausbildungszwecken unterschiedlicher Berufsgruppen eingesetzt werden. So entwickelt die Foerst GmbH seit 1976 Fahrsimulatoren für die LKW- und Busfahrerausbildung. Mittels eines „modifizierten Tutors“ können hier das Manövrieren, Gefahrenwahrnehmung und Fahrsicherheitstrainingseinheiten im Sattelschlepper, Tankfahrzeug, Bus, Kleinlastwagen, Feuerwehrfahrzeug oder Gliederzug simuliert werden [21]. Nicht nur in der Pilotenausbildung sondern auch zur Untersuchung von Verhaltensweisen und Leistungen von bereits ausgebildeten Verkehrspiloten sind Flugsimulatoren zum festen Bestandteil in der Analyse von Flugsicherheit, Flugbetrieb und Flugplanung geworden [6][65]. Des Weiteren wird in neuester Zeit über den Einsatz von Fahrsimulatoren in der Fahrausbildung zum Erhalt des KFZ-Führerscheins diskutiert [63].

Ebenfalls bekannt ist, dass besonders realitätsnahe Forschungsdesigns eine hohe externe Validität begünstigen [28]. Zudem ist eine realistische Darstellung einer Simulation ein zentrales Gütekriterium von Simulatoren [6][21][65]. Unter diesem Aspekt und in Abgrenzung zu bereits bestehenden Studien, war es Ziel dieser Studie, die Messung von Bremsreaktionszeiten anhand eines möglichst realistischen Simulationsmodells durchzuführen. Realitätsnähe sollte hierbei sowohl in Bezug auf die Fahrumgebung in Form einer echten Fahrerkabine, als auch hinsichtlich der Fahrstrecke und der Anforderungen im Straßenverkehr in Form von Bremsreaktionsreizen durch simulierte Bremsmanöver eines vorrausfahrenden Fahrzeuges, gegeben sein.

Frühere Studien an Fahrsimulatoren zeigten einen sehr einfachen Versuchsaufbau mit einem auf dem Boden installierten Brems- und Gaspedal sowie einem davor positionierten Stuhl. Zur Messung der Bremsreaktionszeiten reagierten die

Probanden auf ein Lichtsignal, das ihnen auf einem Monitor präsentiert wurde, mit Druck auf das Bremspedal [13][56].

1988 publizierten MacDonald und Owen erstmals eine Studie zur Analyse der Fahrtüchtigkeit nach einer Alloarthroplastik der Hüfte[50]. Jedoch konnte auch diese Arbeit einem realistischen Fahrgefühl nicht gerecht werden. Die Patienten saßen während der Untersuchung in einem gewöhnlichen Sitzmöbel und betätigten ein auf dem Boden stehendes Brems- und Gaspedal als Reaktion auf ein Farbsignal ausgehend von einem gegenüber angebrachten Monitor (Abb. 6-1).

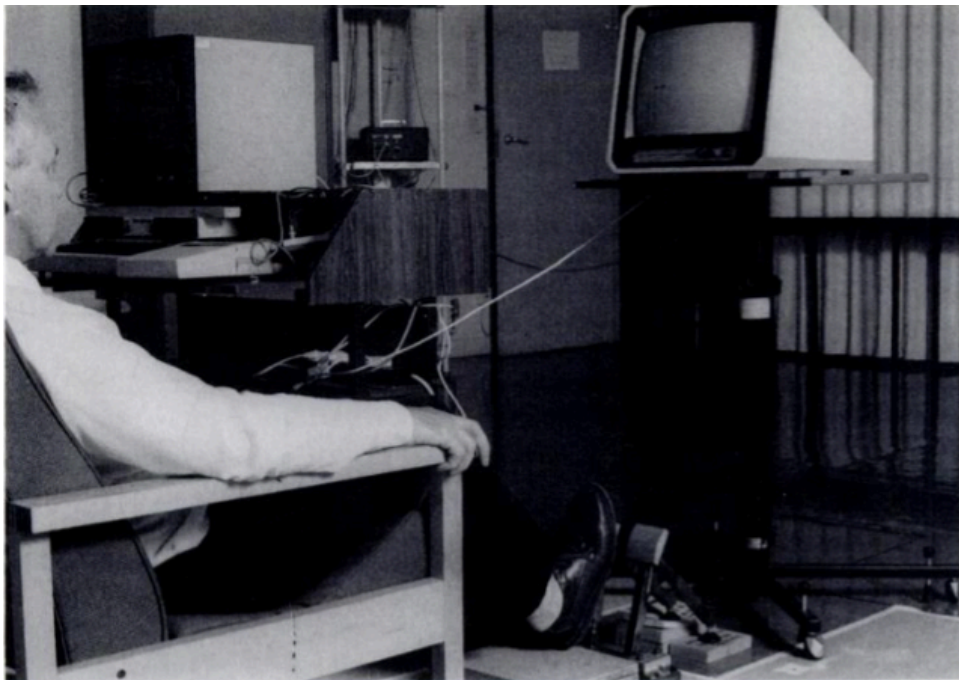


Abbildung 6-1 Fahrsimulator nach MacDonald und Owen [50]

1994 entwickelten Spalding et al. einen Versuchsaufbau zur Messung von Bremsreaktionszeiten nach dem endoprothetischen Ersatz des rechten Kniegelenks mit einem Fahrsimulator, der erstmals den Fahrersitz eines herkömmlichen Kraftfahrzeugs und ein Lenkrad beinhaltete und somit einer realistischen Fahrerkabine ähnlich war. Der visuelle Reaktionsreiz bestand allerdings auch in dieser Studie lediglich aus einem Lichtsignal auf einem vor dem Probanden installierten Bildschirm [66](Abb. 6-2).

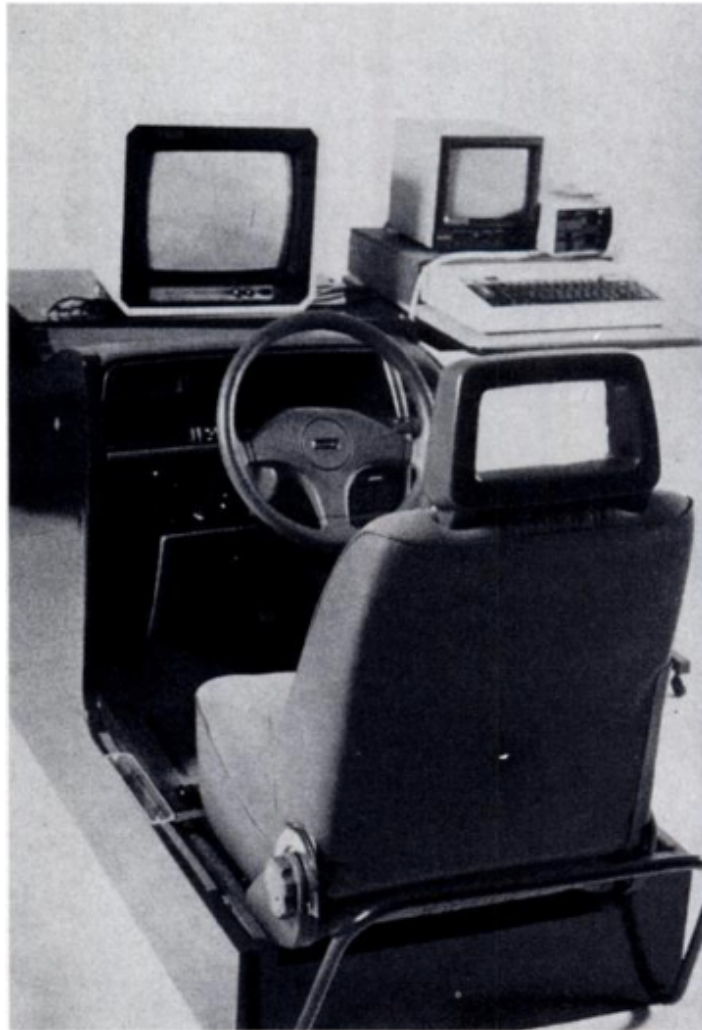


Abbildung 6-2 Fahrsimulator nach Spalding et al. [66]

2011 wendeten Dalury et al. erstmals ein visuelles Fahrsimulationsprogramm in der Entwicklung eines Simulationsmodells zur Erfassung von Bremsreaktionszeiten an [12]. Der Proband saß bei diesem Versuchsaufbau auf einem handelsüblichen Bürostuhl an einem Schreibtisch auf dem ein Lenkrad montiert war. Die Fahrsimulation wurde auf einem Monitor vor dem Probanden angezeigt. Der Reaktionsreiz bestand allerdings auch in dieser Simulation lediglich aus einem roten Lichtsignal [12] (Abb. 6-3). Auch in diesem Versuchsaufbau wurde nicht auf das Situationsbewusstsein der Probanden eingegangen. Durch die Aufgabenbewältigung von einem Bürostuhl aus, der bei einem Bremsvorgang in Form einer Vollbremsung keine Stabilität bietet, sowie der zweidimensionalen Darstellung der Simulation auf einem Computerbildschirm entstehen keine realitätsnahen Testbedingungen.



Abbildung 6-3 Fahrsimulator nach Dalury et al.[12]

Mit der Klärung der Frage, ob eine Koxarthrose die Fahrfähigkeit von Patienten einschränkt, beschäftigten sich bereits Hofmann et al. 2014 in einer Querschnittsstudie am Fahrsimulator [30]. Hierbei wurden sowohl Kox – als auch Gonarthrosepatienten anhand ihrer Bremsreaktionszeit auf einen Lichtreiz mit einer gesunden Testgruppe verglichen. Der Versuchsaufbau beinhaltete zwar eine echte Fahrerkabine der Marke Volkswagen, allerdings bestand der Reaktionsreiz zum Bremsereignis aus einem einfachen LED-Licht [30] (Abb. 6-4). Umgebungseinflüsse durch die Verkehrssituation, die für das Situationsbefinden eines Probanden essentiell notwendig sind, wurden in diesem Versuchsaufbau nicht berücksichtigt.

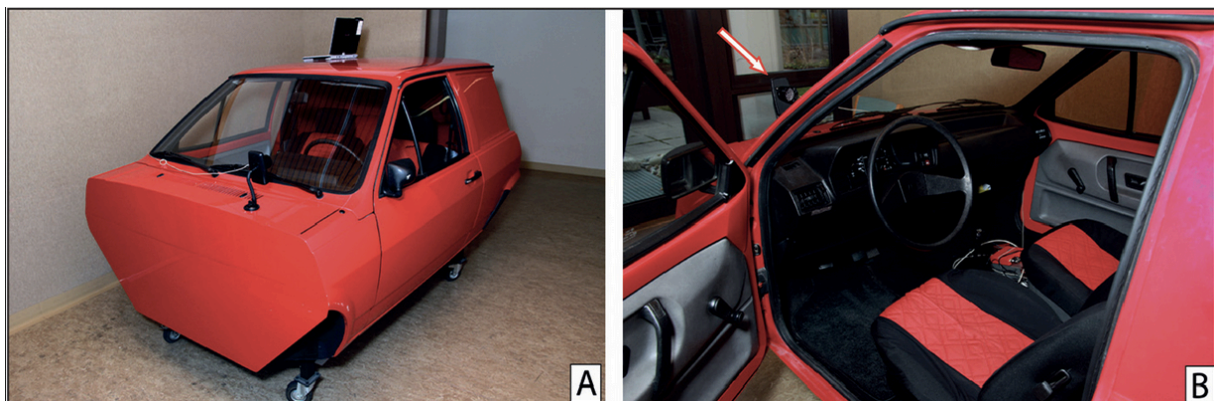


Abbildung 6-4(A) Fahrsimulator nach Hofmann et al. [30](B) Ansicht der Fahrkabine, der weiße Pfeil zeigt auf das als Bremsreiz fungierende LED-Licht

Green et al. postulierten 2010, dass die Erwartung eines Bremsreizes die Bremsreaktionszeit eines Fahrers signifikant beeinflusst [25]. Laut den Autoren kann ein Fahrer, wenn er sich des Zeitpunktes und der Lokalisation des Bremsreizes bewusst ist, den Fuß innerhalb von 0,7s vom Gaspedal auf das Bremspedal setzen. Bei unerwarteten aber bekannten Bremsreizen, wie zum Beispiel dem Aufleuchten der Bremslichter eines vorausfahrenden Fahrzeuges, verlängert sich diese Reaktionszeit auf durchschnittlich 1,25s [25]. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoller, eine Studie zu Bremsreaktionszeiten anhand einer realitätsnahen Simulation, wie in unserer Studie in Form einer Fahrt auf einer geraden Straße im Konvoi erfolgt, durchzuführen, um anhand der Ergebnisse valide Rückschlüsse auf die tatsächliche Fahrfähigkeit der Probanden ziehen zu können.

Basierend auf diesen Überlegungen zu Studien am Fahrsimulator wurde das vorliegende Simulationsmodell entwickelt. In Abgrenzung zu früheren Studien, bei denen die Fahraufgaben meist auf Bürostühlen oder ausgebauten PKW-Fahrersitzen durchgeführt wurden, verwendeten wir ein herkömmliches Kraftfahrzeug der Marke Smart, Daimler-AG, das in Kooperation mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) so modifiziert wurde, dass auf unsere Fragestellungen eingegangen werden konnte. Durch die Verwendung eines handelsüblichen KFZ-Fahrzeugs ist es möglich innerhalb der Testung alle Modalitäten einer realen Autofahrt zu simulieren. Dies beginnt bereits beim Einsteigen in das Fahrzeug. Die Fahrfähigkeit eines Patienten mit einer frisch implantierten Hüftendoprothese kann möglicherweise bereits durch Schmerzen oder subjektives Unwohlsein bedingt durch das Einsteigen in den PKW oder eine fehlerhafte Einstellung des Fahrersitzes beeinträchtigt werden. Diese Vorgänge wurden in früheren Studien auf handelsüblichen Sitzmöbeln, Bürostühlen oder festmontierten Fahrersitzen nicht berücksichtigt [12][50][66]. Des Weiteren führt die realistische Umgebung im Rahmen des Versuchs zu einem Fahrgefühl, das dem einer realen Autofahrt nahe kommt. Dies führt zu einer höheren Validität der durch die Studie erhaltenen Ergebnisse zu Bremsreaktionszeiten und macht es eher möglich, Rückschlüsse auf die Fahrfähigkeit der Probanden im echten Straßenverkehr zu ziehen.

Durch die Verwendung der Simulationssoftware OpenDS war es uns möglich, auf die Vielfalt der optischen Einflüsse, denen ein Autofahrer regelmäßig ausgesetzt ist, einzugehen. Der Reaktionsreiz in der hier vorliegenden Studie bestand nicht, wie in vorangegangenen Studien [66][50][30][12] aus einem einfachen Lichtsignal. Während der Simulation waren die Probanden angehalten sowohl ein vorausfahrendes Fahrzeug und dessen Bremslichter, als auch das Anzeigen eines Überholvorhabens des nachfahrenden Fahrzeugs im Rückspiegel im Blick zu behalten. Gleichzeitig musste das Fahrzeug mithilfe des Lenkrads in der Spur gehalten und auf die Einhaltung einer Geschwindigkeitsvorgabe geachtet werden. Zusätzlich beinhaltete die Simulation die dreidimensionale Darstellung der zu befahrenden Wegstrecke, die in nahtloser Zylinderprojektion auf eine gewölbte Leinwand vor dem Fahrzeug projiziert wurde. Insgesamt waren die Probanden also ähnlichen Herausforderungen ausgesetzt, wie sie auch im realen Straßenverkehr vorkommen.

In keiner der bisher veröffentlichten vergleichbaren Studien wurde auf die subjektive Belastung durch die Fahraufgabe eingegangen [12][30][50][23]. Die empfundene Belastung durch die verschiedenen Modalitäten beim Autofahren kann sehr variabel sein. Um auszuschließen, dass entstehende Unterschiede zwischen den Reaktionszeiten der unterschiedlichen Testgruppen darauf zurückzuführen sind, dass die Probanden einer Testgruppe beanspruchter sind durch die Fahraufgabe als die Vergleichsgruppe, wendeten wir in der hier vorliegenden Studie den Driving Activity Load Index *DALI* an, der die Beanspruchung durch die Fahraufgabe misst und sich bereits in etlichen vorangegangenen Studien bestens etabliert hat[60][5]. Es ergaben sich zwischen keiner der Testgruppen und zu keinem Untersuchungszeitpunkt signifikante Unterschiede in der subjektiven Belastung durch die Fahraufgabe. Damit sind entstandene Unterschiede in den Reaktionszeiten der verschiedenen Testgruppen mit höherer Wahrscheinlichkeit auf die motorische Einschränkung des Hüftgelenks zurückzuführen und weniger darauf, dass die Probanden einer Testgruppe die Fahraufgabe besser bewältigen konnten bzw. weniger durch diese beansprucht waren.

6.1.2 Studienprotokoll

In der vorliegenden Studie erfolgte die Analyse des Fahrverhaltens präoperativ (t₀), sechs Wochen (t₁) und 12 Wochen (t₂) nach dem endoprothetischen

Hüftgelenkersatz. In einigen bereits durchgeführten Studien zur Fahrfähigkeit nach Hüftalloarthroplastik wurde die erste postoperative Testung bereits nach sieben Tagen [24] oder 14 Tagen [27] nach der Operation durchgeführt. Hernandez et al. postulierten dabei, dass 87% der Patienten bereits zwei Wochen nach der Operation wieder ihren präoperativen Status bezüglich Bremsreaktionszeit erreichen konnten [27]. Zur Prävention eines möglichen Luxationsereignisses der Hüfte in dieser frühen postoperativen Phase, das beim Einsteigen in den Simulator und dem Sitzen auf dem niedrigen Fahrersitz begünstigt werden könnte, wurde beschlossen, die erste Simulationsfahrt frühestens nach Abschluss der rehabilitativen Maßnahmen 6 Wochen postoperativ durchzuführen. Dies entsprach unabhängig von der hier vorgestellten Studie auch den Empfehlungen an die entlassenen Patienten, die ersten 6 Wochen postoperativ das Autofahren aufgrund der noch nicht erreichten muskulären Kontrolle der operierten Extremität zu vermeiden. Die vorangehenden Studien verwendeten in ihrem Versuchsaufbau konventionelle Stühle, mit einer Sitzerrhöhung, die nicht den Maßen eines herkömmlichen Fahrersitzes entspricht, von denen aus die Probanden die Fahraufgaben absolvierten [27]. Dies schützt zwar den Probanden vor möglichen Komplikationen im Rahmen des Versuchs, entspricht jedoch nicht den Bedingungen, die ein Fahrer in einem echten Kleinwagen vorfindet und die in der Evaluation der Fahrfähigkeit über die Bremsfähigkeit hinaus äußerst relevant sind.

Zur Überprüfung des Bewegungsverhalten von Koxarthrosepatienten in einem PKW-Simulator hinsichtlich einer Notfallbremsung untersuchten Franz et al 2012 das Fahrverhalten der Probanden vor der Operation sowie 6 Wochen und 3 Monate postoperativ [23]. Auch in unserer Studie wurden diese Untersuchungszeitpunkte als aussagekräftig in Hinblick auf ein reduziertes Luxationsrisiko und realistische Wiederteilnahme am Straßenverkehr nach erfolgter Rehabilitationsmaßnahme erachtet.

6.1.3 Probanden

Insgesamt wurden 60 Probanden untersucht. Diese wurden in zwei Untergruppen unterteilt. Das Durchschnittsalter der 30 Patienten mit Koxarthrose der rechten Hüfte betrug 61.7 ± 11.4 Jahre.

Das Durchschnittsalter der gesunden Kontrollgruppe betrug 58.9 ± 11.3 Jahre. In dieser Studie sollte insbesondere die Fahrfähigkeit älterer Patienten mit Koxarthrose

und Hüftalloarthroplastik untersucht werden. In einer immer älter werdenden Gesellschaft steigt auch die Inzidenz der Arthrose der großen Gelenke. Jeder zweite Deutsche im Alter von über 60 Jahren leidet an Gelenkbeschwerden. Die Anzahl der Menschen, die täglich an arthrosebedingten Schmerzen leiden, wird auf 5 Millionen geschätzt [42]. Gerade für die ältere Generation bedeutet der Erhalt der Fahrfähigkeit auch den Erhalt ihrer Unabhängigkeit. Daher ist die Beurteilung der Fahrfähigkeit von älteren Patienten mit Koxarthrose und die Frage, wie und ob sich diese durch eine operativen Gelenkersatz beeinflussen lässt, so wichtig.

Insgesamt nahmen 36 Männer und 24 Frauen an der Studie teil. Diese Ungleichheit in der Geschlechterverteilung lässt sich mithilfe einer Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes erklären [43]. Hiernach sind 58 Prozent der Führerschein-Besitzer der Klasse B in der Gruppe der 45 bis 65- Jährigen männlich, während 41,9% weiblich sind [43]. Dieses Verhältnis spiegelt sich auch in dem Versuchspersonen-Kollektiv der hier vorliegenden Studie wieder, wobei die männlichen Probanden 60% ausmachten und 40% der Probanden weiblich waren.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Bremsreaktionszeiten

In der Fahranalyse ermöglichte das Simulationsprogramm OpenDS, die Unterscheidung der Bremsreaktion eines Verlangsamungsereignis und eines Vollbremsungsereignis zu erfassen. In vorangehenden Studien wurde die Messung der Bremsreaktionszeit in Reaction Time (RT), Movement Time (MT) sowie die Device Response Time und Total Break Response Time (TBRT) als Summe der Einzelkomponenten eingeteilt [25][66][30].

Hinsichtlich der Fragestellung nach der motorischen Funktionalität des Hüftgelenks konnte mithilfe des Simulationsprogramms OpenDS, näher auf die einzelnen Bewegungskomponenten des Bremsablaufes, bestehend aus Flexion, Adduktion und Extension im Hüftgelenk, eingegangen werden. Die gemessenen Werte bezogen sich dabei auf die jeweilige Zeit bis zum vollständigen Abheben des Fußes vom Gaspedal (GasOff), dem Aufsetzen des Fußes auf das Bremspedal (Brake0) und dem 80 prozentigen Durchdrücken des Bremspedals (Brake80).

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es noch keine allgemeinen Normen zu verkehrssicheren Bremsreaktionszeiten. Die Spanne von möglichen Reaktionszeitlimits, die bisher

diskutiert wurden, reicht von 600ms bis 1500ms [30][51]. Weiterhin unterliegt die Bremsreaktionszeit auf ein Signal mehreren Einflussfaktoren, wie dem Alter des Fahrers, dem Geschlecht, dem Erschöpfungslevel, der Einnahme von Medikamenten sowie dem Fahrkabinendesign und der Art des Signalreizes[30].

Daher war es notwendig bei der Einordnung der Bremsreaktionszeiten der arthrosekranken Patienten präoperativ und auch im postoperativen Verlauf, auf die Ergebnisse der Simulationsfahrt einer gesunden Vergleichsgruppe zurückzugreifen.

6.2.1.1 Verlangsamungsereignis

In keiner der bisher zu diesem Thema veröffentlichten Studien wurde auf die Bremsreaktionszeit auf ein Verlangsamungsereignis eingegangen. Da Verlangsamungsereignisse im Straßenverkehr jedoch deutlich häufiger vorkommen als Vollbremsungsereignisse sind diese von höchster Relevanz.

6.2.1.1.1 Bremsreaktionszeit von Koxarthrosepatienten auf ein Verlangsamungsereignis

Interessanterweise zeigten sich beim Vergleich der Koxarthrosepatienten mit der gesunden Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede in den Bremsreaktionszeiten auf ein Verlangsamungsereignis. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Reaktion auf ein Verlangsamungsereignis koordinierter als auf ein Vollbremsungsereignis abzulaufen scheint. Im Gegensatz zu einem sogenannten Emergency-Vollbremsungs-Stopp ist bei einem Verlangsamungsereignis keine abrupte Reaktion notwendig, um einen Auffahrunfall mit dem vorausfahrenden Fahrzeug zu verhindern. Der Fahrer hat somit länger Zeit zu reagieren und die notwendigen Bewegungen in Hüfte, Knie und Sprunggelenk zu koordinieren. Der von vielen Arthrosepatienten beklagte Anlaufschmerz könnte durch die Tatsache, dass der Patient mehr Zeit für einen Bewegungsablauf hat, für den Bremsvorgang auf ein Verlangsamungsereignis irrelevant sein.

Dafür spricht auch, dass die Reaktionszeiten auf ein Verlangsamungsereignis sowohl in der gesunden Kontrollgruppe als auch in der Gruppe der arthrosekranken Probanden gleichermaßen grundsätzlich länger als auf ein Vollbremsungsereignis waren. Den Patienten mit Koxarthrose scheint es möglich den Bewegungsablauf beim Bremsvorgang aufgrund der längeren Reaktionszeit so zu koordinieren, dass

sich bestehende Schmerzen und Funktionseinschränkungen durch die Arthrose nicht in dem Maße auf die Bremsreaktionszeit auswirken, wie das bei einem schnell eintretendem Vollbremsungsereignis der Fall wäre.

6.2.1.1.2 Postoperative Bremsreaktionszeiten auf ein Verlangsamungsereignis

In den postoperativen Simulationsfahrten nach Hüftalloarthroplastik zeigten sich sechs Wochen postoperativ (t1) keine signifikanten Unterschiede zur präoperativen (t0) Fahrfähigkeit in Bezug auf die BRT's auf ein Verlangsamungsereignis. Offensichtlich wird der operative Muskelschaden und die bestehende Muskelatrophie innerhalb dieses Zeitraums weitestgehend kompensiert. Interessanterweise reduziert sich die Schmerzmedikation deutlich nach sechs Wochen postoperativ, die nur noch 50% der Patienten benötigen und in der klinischen Untersuchung ergibt sich ein im Mittel um 4,69 Punkte signifikant besseres Ergebnis im Merle d'Aubigné- Score, was für eine Besserung der Funktionalität durch den operativen Gelenkersatz spricht. Dennoch konnten die Probanden ihre Bremsreaktionszeiten nicht auf das Niveau der gesunden Kontrollgruppe verbessern. Unsicherheit und Restmuskelatrophien könnten hierfür mögliche Ursachen sein.

6.2.1.2 Vollbremsungsereignis

Die Bremsreaktionszeit auf ein Vollbremsungsereignis zur Beurteilung der Fahrtüchtigkeit war bereits Inhalt vieler Studien [27][64][23][50][24]. Dies ist insofern sinnvoll, als dass eine Vollbremsung auf einen unerwarteten Reiz die höchsten Anforderungen sowohl an die kognitiven als auch die motorischen Fähigkeiten eines Kraftfahrzeugfahrers stellt. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass dieses Ereignis im Straßenverkehr im Gegensatz zu einem Verlangsamungsereignis eine Rarität darstellt.

6.2.1.2.1 Bremsreaktionszeit von Koxarthrosepatienten auf ein Vollbremsungsereignis

Bereits 1997 zeigten Hurley et al., dass der degenerative Knorpelschaden eines Gelenkes die Erregbarkeit der Motoneurone gelenknaher Muskeln einschränken kann. Somit kann eine Arthrose eine erhebliche Einschränkung der Kraft und Präzision einer Bewegung herbeiführen [32].

Im Vergleich der gesunden Kontroll- zur Koxarthrosegruppe, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten GasOff und Brake0. Erst die

Reaktionszeit bis zum 80-prozentigen Durchdrücken der Bremse zeigte einen signifikanten Unterschied von 328ms innerhalb der beiden Gruppen. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass es beim kräftigen Betätigen der Bremse zu einem deutlichen Kraftverlust kommt. Während die Flexion zum Anheben des Beines vom Gaspedal und die Abduktion zum Führen des Beines zum Bremspedal den Patienten nicht beeinträchtigen zu scheint, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die kräftige Extensionsbewegung im Hüftgelenk im Bewegungsablauf der Bremsbewegung am meisten durch die Koxarthrose beeinträchtigt wird. Allerdings könnte dieser Kraftverlust bei der Extension auch zusätzlich durch die bei der zuvor nötigen Flexions- und Adduktionsbewegung verursachten Schmerzen im Hüftgelenk mitbedingt sein. Dies würde auch erklären, dass die kranken Probanden auch für das Anheben des Fußes vom Gaspedal und das Aufsetzen auf das Bremspedal (Brake0) im Mittel etwa 100ms länger, wenn auch nicht signifikant unterschiedlich, als die Gesunden benötigten. Bei der Interpretation ist hierbei die geringe Fallzahl von 16 Patienten zu beachten. Im Rahmen von Folgestudien mit größerer Fallzahl könnte näher auf den Grad der Beeinflussung der einzelnen Bewegungskomponenten durch die Koxarthrose eingegangen werden, wobei unsere Ergebnisse nahelegen, dass sowohl die Flexion, Adduktion und Extension im Rahmen der Bremsbewegung durch die Arthrose beeinträchtigt sind.

Unsere Ergebnisse korrelieren mit den Erkenntnissen von Hofmann et al, die zu dem Ergebnis kamen, dass die Arthrose des rechten Hüftgelenks die Fahrfähigkeit im Vergleich zum Gesunden signifikant einschränkt [30]. Hervorzuheben ist, dass in dieser Studie die Messung der Reaktionszeit in Movement Time (MT), Reaction Time (RT) und Total Break Reaction Time (TBRT) eingeteilt wurde. Somit wurde im Gegensatz zu dem hier vorgestellten Studienmodell nicht auf die einzelnen Etappen der motorischen Reaktion eingegangen, die für eine detaillierte Untersuchung des Einflusses der Koxarthrose auf die Fahrtüchtigkeit scheinbar eine große Relevanz haben. Interessanterweise lagen fast alle TBRT's der Koxarthrose-Patienten unterhalb von 600ms und somit deutlich niedriger als die durchschnittliche Brake80 unseres Patientenkollektivs mit 1914ms in der Studie von Hofmann et al.. Diese Diskrepanz könnte sich durch die in den beiden Studien unterschiedlichen Reaktionsreize erklären. Hofmann et al. verwendeten hierzu ein rotes LED-Licht auf Augenhöhe des Probanden, also einen Reaktionsreiz auf den sich die Probanden

vollständig und ohne weitere Ablenkung fokussieren konnten. Green et al. erfassten den Einfluss der Ausprägung des Reaktionsreizes auf die Reaktionszeit, wobei sich diese auf einen unerwarteten Reaktionsreiz, auf den sich der Proband nicht vollständig fokussieren kann, mehr als verdoppelt im Vergleich zu erwarteten Ereignissen [25].

In unserem Studienmodell wurden die Teilnehmer gebeten, während der Testfahrt eine Geschwindigkeit von 90km/h einzuhalten. Bei dieser Geschwindigkeit führt eine Verlängerung der Bremsreaktionszeit von 328ms zu einem um 7,97m verlängerten Anhalteweg [16]. Abhängig von der Fahrgeschwindigkeit kann sich eine verlängerte Bremsreaktionszeit in einer noch drastischeren Verlängerung des Anhalteweges zeigen. Im Falle einer notfallinduzierten Vollbremsung könnte bereits ein um 8m längerer Anhalteweg einen erheblichen Einfluss auf das Outcome in der Gefahrensituation nehmen. In dieser Hinsicht ist es nach unseren Ergebnissen notwendig, Patienten mit einer klinisch auffallenden Koxarthrose des rechten Hüftgelenks auch schon präoperativ auf ihre möglicherweise eingeschränkte Fahrfähigkeit hinzuweisen. Ziel dieser Studie war es nicht, die Fahrfähigkeit von Patienten mit Koxarthrose grundsätzlich in Frage zu stellen. Das Wissen um die möglicherweise bestehende Einschränkung der Fahrfähigkeit und um deren Ausmaß kann jedoch zu einer angemessenen Fahrweise führen und somit die Sicherheit des Patienten im Straßenverkehr verbessern und Unsicherheiten des Patienten bezüglich der eigenen Fahrfähigkeit vermindern. Des Weiteren können diese Ergebnisse eine erste Grundlage im Bestreben der Entwicklung neuer Bremsverstärkungssysteme in der Automobilwirtschaft, für arthrosekranke Verkehrsteilnehmer zu verbessern. Somit ist das Wissen um die eingeschränkten Bremsreaktionszeiten von arthrosekranken Patienten nicht nur für die Verkehrsteilnehmer selbst interessant, sondern auch vor einem wirtschaftlichen Hintergrund von großem Interesse.

6.2.1.2.2 Postoperative Bremsreaktionszeiten auf ein Vollbremsungsereignis

Der Einfluss einer Hüftalloarthroplastik auf die Fahrfähigkeit von Patienten, war in der Vergangenheit bereits Inhalt diverser Studien [64][27][24][23][50].

In der hier vorgestellten Studie konnten keine signifikanten Unterschiede der Bremsreaktionszeiten verglichen zum präoperativen Untersuchungszeitpunkt 6 Wochen nach einem endoprothetischen Hüftgelenkersatz beobachtet werden. Die Bremsreaktionszeit bis zum 80 prozentigen Durchdrücken der Bremse nahm im

Vergleich zu präoperativ sechs Wochen postoperativ nur geringfügig (100 ms) zu. Dies könnte bedeuten, dass der operative Muskelschaden und die daraus resultierende Muskelatrophie zu diesem Beobachtungszeitpunkt wieder soweit kompensiert, dass die Probanden im Mittel eine der präoperativen Reaktionszeit vergleichbare Leistung erbringen konnten. Eine allgemeine Verbesserung über das präoperative Niveau hinaus, ließ sich allerdings sechs Wochen postoperativ nicht nachweisen. Im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe zeigten sich dementsprechend auch sechs Wochen postoperativ statistisch signifikante Unterschiede in der Bremsreaktionszeit Brake80, wobei die operierten Probanden durchschnittlich 543ms langsamer als die gesunde Vergleichsgruppe reagierten. Bei diesen Ergebnissen sind ebenfalls die individuellen Verläufe der einzelnen Probanden zu berücksichtigen. Von den 16 Probanden, deren postoperative BRT's beurteilt wurden, konnten drei ihre individuelle präoperativen Ausgangswerte wieder erreichen. Sechs Probanden verbesserten ihre Bremsreaktionszeiten verglichen zu präoperativ, wohingegen sieben Patienten längere BRT's als präoperativ aufwiesen. Interessanterweise konnte bei lediglich vier Probanden sechs Wochen postoperativ eine Verbesserung der Bremsreaktionszeit beobachtet werden, die den Werten der gesunden Kontrollprobanden entsprach oder sogar deutlich besser war als diese. Sechs der neun Probanden, die postoperativ ihre BRT's so deutlich verbesserten, wiesen präoperativ ein Kellgren-Stadium III bis IV auf. Patienten mit einem höheren Arthrosegrad schienen somit hinsichtlich ihrer Fahrleistung am meisten von der Alloarthroplastik zu profitieren. Grund hierfür könnte die deutliche Schmerzreduktion und Verbesserung der Beweglichkeit sein, die womöglich bei niedrigeren Arthrosetadien nicht in diesem Ausmaß zum Tragen kommt.

Wenngleich in unserem Probandenkollektiv sechs Wochen postoperativ keine weitere signifikante Einschränkung der Fahrfähigkeit im Vergleich zu präoperativ bestand, konnte dies doch für einzelne Probanden und individuelle Verläufe beobachtet werden.

Auch in der Arbeit von MacDonald et al. beschrieben die Autoren hinsichtlich des Fahrverhaltens postoperativer Patienten individuelle Einzelverläufe [50]. In einer der ersten Fahrsimulatorstudien zu diesem Thema wurden an einem vor dem sitzenden Patienten installierten Bremspedal die Bremsreaktionszeiten von 25 Patienten gemessen. MacDonald et al. postulierten, dass sich die Reaktionszeiten der meisten

Patienten bis acht Wochen postoperativ signifikant verbesserten, wobei es individuelle Verläufe gab, bei denen die präoperative Reaktionszeit erst acht Monate postoperativ wieder erreicht wurde und das Niveau der gesunden Vergleichsgruppe auch nach acht Monaten nicht erreicht werden konnte [50]. Allerdings haben sich die OP-Techniken und die postoperative Rehabilitation, die sicher einen großen Einfluss auf die postoperative Entwicklung der Fahrfähigkeit nehmen seit 1988, deutlich weiterentwickelt und verbessert. Zusätzlich wird auch der Versuchsaufbau dieser Studie einer realistischen Fahrumgebung nicht gerecht. Durch die Verwendung eines LED-Lichts als Reaktionsreiz sind die gemessenen Reaktionszeiten nicht adäquat auf die Situationen im Straßenverkehr übertragbar. Die erste postoperative Messung der Bremsreaktionszeiten erfolgte in der Studie von MacDonald et al. acht Wochen postoperativ. Werden die veralteten OP-Techniken, Rehabilitationsmaßnahmen und der nicht realitätsgetreue Versuchsaufbau vernachlässigt, könnte dies in Zusammenschau mit unseren Ergebnissen bedeuten, dass Patienten nach einer Hüftendoprothesenimplantation in einem Zeitraum von 6 bis 8 Wochen postoperativ ihre Fahrtüchtigkeit wieder verbessern könnten.

Während MacDonald et al. aufgrund ihrer Ergebnisse empfohlen, das Führen eines Kraftfahrzeugs erst acht Wochen postoperativ wieder aufzunehmen [50] kamen Ganz et al. zu dem Ergebnis, dass Patienten bereits vier bis sechs Wochen nach dem Hüftgelenkersatz wieder fahrfähig sind [24]. In dieser Studie wurde das Fahrverhalten von insgesamt 90 Patienten untersucht und sowohl bei rechtsseitiger als auch linksseitiger Koxarthrose zu fünf Beobachtungszeitpunkten analysiert (präoperativ, eine Woche, vier bis sechs Wochen, 26 Wochen und 52 Wochen postoperativ). Die Ausschlusskriterien berücksichtigten allerdings weder Voroperationen oder Frakturen an der betroffenen Extremität noch neurologische Vorerkrankungen. Die Testung erfolgte hierbei an einem Automatic Brake Reaction Timer der American Automobile Association, bestehend aus Brems-, und Gaspedal. Die Probanden führten die Fahrsimulation von einem erhöhten Sitzmöbel durch, um das Luxationsrisiko zu verringern. Diese Testumgebung entspricht nicht der realen Ausstattung einer echten Fahrkabine. Zusätzlich bestand auch hier der Reaktionsreiz aus einem LED-Licht, sodass die gemessenen Reaktionszeiten nicht auf den echten Straßenverkehr anwendbar sind. Hierbei zeigte sich allerdings, dass die Reaktionszeit bereits nach einer Woche im Vergleich zu präoperativ deutlich

verbessert werden konnte, wenn es sich um den Ersatz des linken Hüftgelenks handelte. Im Falle einer rechtsseitigen Hüftprothesenimplantation verschlechterte sich die Bremsreaktionszeit zu diesem Testzeitpunkt. Nach vier bis sechs Wochen konnte das Patientenkollektiv dieser Studie mit rechtsseitiger Koxarthrose ihre präoperativen Ausgangswerte wieder erreichen; eine Verbesserung der BRT's konnte stetig über das erste postoperative Jahr beobachtet werden. Diese Erkenntnisse korrelieren mit den Ergebnissen unserer Studie, bei denen sich 6 Wochen postoperativ keine signifikanten Unterschiede der Bremsreaktionszeiten zu den präoperativen Werten zeigten.

Franz et al. untersuchten das Fahrverhalten von Koxarthrosepatienten sowie von Patienten die sich einer rechtsseitigen Hüftprothesenimplantation unterzogen mithilfe eines Fahrsimulators [23]. Auch in dieser Studie wurden BRT's von gesunden Probanden mit denen von Patienten mit rechtsseitiger Hüftgelenksarthrose verglichen und diese im postoperativen Verlauf nach sechs Wochen und drei Monaten bei endoprothetischer Versorgung erneut getestet. Der Versuchsaufbau dieser Studie wies allerdings einige Unterschiede zu dem unserer Studie auf.

Die Simulationsfahrt erfolgte zwar von einem herkömmlichen Fahrersitz eines Kleinwagens aus, allerdings wurde der Reaktionsreiz in Form eines optischen Signals auf einem Monitor auf Augenhöhe präsentiert (Abb. 6-5). Daher sollte die externe Validität der Ergebnisse im Hinblick auf die realen Straßenverkehrssituationen kritisch hinterfragt werden. Zusätzlich unterschieden sich die gemessenen Parameter. Franz et al bestimmten hierbei die Reaktionszeit, definiert als die Zeit bis zum Lösen des Gaspedalkontaktes, der Pedalwechselzeit, als der Zeit bis zum Aufsetzen des Fußes auf das Bremspedal und den Bremsimpuls.



Abbildung 6-5 Fahrsimulator nach Franz et al.[23]

Dieser wurde als Zeit vom Aufsetzen des Fußes auf die Bremse bis zum Erreichen einer Kraftschwelle von 500N gemessen. Diese Einteilung erscheint insofern sinnvoll, als dass 500N die maximale Betätigungskraft für Bremsanlagen in einem PKW repräsentiert [23]. Anhand dieses Versuchsaufbaus wurden 14 Patienten mit rechtsseitiger Koxarthrose und totalendoprothetischer Versorgung untersucht. Hierbei zeigte sich im Gegensatz zu unseren Ergebnissen zu allen Versuchszeitpunkten eine signifikant längere Zeit für den Pedalwechsel, in unserer Studie vergleichbar mit der BRT Brake0, als in der Kontrollgruppe. Allerdings konnten auch Franz et al. noch 6 Wochen postoperativ einen geringeren Bremsimpuls als in der gesunden Kontrollgruppe nachweisen, was mit den in der hier vorgestellten Studie gewonnenen Erkenntnissen korreliert. Aufgrund dieser Ergebnisse raten Franz et al. Patienten mit Totalendoprothesen des rechten Hüftgelenks bis sechs Wochen postoperativ zu einer angepassten Fahrweise.

Jordan et al. konnten diese Zeitspanne von sechs Wochen bis zum Wiedererreichen des präoperativen Ausgangswertes nach Ersatz des rechten Hüftgelenks ebenfalls feststellen [37]. In dieser Studie wurde, im Gegensatz zu unserer Arbeit, jedoch nicht auf die einzelnen Komponenten der motorischen Reaktion eingegangen. Zusätzlich fehlt dem Versuchsaufbau die realistische Darstellung der Fahrumgebung in Form einer dreidimensionalen Simulation. Durch den Reaktionsreiz in Form eines LED-Lichts ergeben sich wesentlich kürzere, weniger realistische Gesamtreaktionszeiten von unter 600ms, während unsere gesunde Vergleichsgruppe eine Brake80 von

durchschnittlich 1586ms aufweist. Aufgrund der höchst individuellen Rehabilitationsverläufe ihrer Probanden empfehlen Jordan et al. die ebenso individuelle Beratung der Patienten zu ihrer Fahrfähigkeit und geben keine allgemeine Empfehlung zur Wiederaufnahme des Fahrens nach Hüftgelenkersatz aufgrund ihrer Forschung ab [37].

Dahingegen konnten Hernandez et al. feststellen, dass die Fahrtüchtigkeit nach einer rechtsseitigen Hüftprothesenimplantation bereits 14 Tage postoperativ größtenteils wieder erreicht sei [27].

38 Patienten wurden anhand des RT-2S Brake Reaction Timer, eines tragbaren Bremssimulators in Form eines Brems- und Gaspedals, sowohl präoperativ als auch postoperativ zu vier verschiedenen Zeitpunkten (zwei, vier, sechs und acht Wochen) untersucht (Abb. 6-6). Hierbei erreichten 87% der 38 Probanden bereits nach zwei Wochen wieder ihren persönlichen präoperativen Ausgangswert. Die verbleibenden fünf Probanden waren nach vier Wochen in der Lage wieder so schnell auf den Bremsreiz wie präoperativ zu reagieren. Dies steht im Widerspruch mit unseren Erkenntnissen, nach denen 44% der Probanden noch sechs Wochen postoperativ verlängerte Bremsreaktionszeiten aufweisen.



Abbildung 6-6 Fahrsimulator nach Hernandez et al. [27]

Die Ergebnisse von Hernandez et al. können allerdings nur eingeschränkt auf die tatsächliche Fahrfähigkeit der Probanden angewendet werden. In dem

Versuchsaufbau konnte das Luxationsrisiko in der frühen postoperativen Rehabilitationsphase vernachlässigt werden, da die Simulation in dieser Studie auf einem Bürostuhl erfolgte. Dieses Luxationsrisiko ist allerdings zwei Wochen postoperativ beim Einsteigen in einen herkömmlichen Kleinwagen keineswegs zu vernachlässigen und sicher ein ebenso die Fahrfähigkeit einschränkender Faktor, wie eine lange Bremsreaktionszeit. Hernandez et al. verzichteten in ihrer Forschung auf das Erheben von Daten an einer gesunden Vergleichsgruppe und definierten ein Wiedererreichen der Fahrfähigkeit der Probanden als ein Wiedererreichen der präoperativen Reaktionszeit. Allerdings konnten wir feststellen, dass die Fahrfähigkeit von Koxarthrosepatienten bereits präoperativ im Vergleich zu einem gesunden Kollektiv deutlich eingeschränkt ist, sodass dies nur eingeschränkt als Anhaltspunkt für das Bestimmen des Zeitpunktes der vollständig wiedererlangten Fahrfähigkeit dienen sollte. Des Weiteren stellte auch in dieser Studie ein rotes Licht auf einem Monitor den Reaktionsreiz dar, was wenig realitätsgetreue Untersuchungsbedingungen schaffte.

Die erste Studie, bei der eine interaktive Fahrsimulationssoftware zur Untersuchung des Fahrverhaltens eingesetzt wurde, wurde erst 2015 von Ruel et al. veröffentlicht [64] (Abb. 6-7). Ruel et al. verwendeten einen automatischen Brake Reaction Timer der American Automobile Association mit der Fahrsimulation einer geraden Straße ohne weitere Fahrzeuge. Ein auftauchendes Stop-Schild auf dem Bildschirm stellte den Reaktionsreiz dar. Anhand dieses Modells wurden 90 Patienten präoperativ getestet und postoperativ drei Kontrollgruppen randomisiert zugeordnet, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach zwei, drei oder vier Wochen erneut hinsichtlich ihrer Fahrtüchtigkeit untersucht wurden. Ruel et al kamen hierbei zu dem Ergebnis, dass die Probanden, die nach zwei oder drei Wochen getestet wurden, längere Bremsreaktionszeiten als präoperativ aufwiesen. Bei der Testung nach vier Wochen zeigten die Probanden allerdings eine um 0,035s schnellere Reaktionszeit als präoperativ. Dies steht im Gegensatz zu unseren Ergebnissen, da sich in unserer Studie keine signifikanten Unterschiede zwischen der präoperativen und der sechs Wochen postoperativen Bremsreaktionszeit zeigten.



Abbildung 6-7 Fahrsimulator nach Ruel et al. [64]

Obwohl Ruel et al. mit ihrer Fahrsimulationssoftware die fortschrittlichste Fahrsimulation der bisher in diesem Bereich veröffentlichten Studien anwendeten, ist auch dieses Studienmodell nicht realitätsgetreu und mit den Bedingungen in einer echten Fahrerkabine nicht vergleichbar. Gerade für ältere Probanden erscheint es wichtig, die Testsituation so wenig abstrakt und so realistisch wie möglich zu gestalten. Viele dieser Probanden könnten von der Testsituation irritiert und durch die ungewohnte Fahrsituation abgelenkt sein. Zur Reproduktion straßenverkehrsähnlicher Bremsreaktionen, wurde in unserer Studie eine Fahrsimulation in 3D-Ansicht auf eine große gewölbte Leinwand projiziert und zusätzlich fand die Testung in einem herkömmlichen Kraftfahrzeug statt, in dem der Testleiter als Beifahrer mitfahren konnte. Ebenfalls bestand die in unserem Studiendesign angewendete Simulation in einer Autokolonne. Der Reaktionsreiz bestand hierbei nicht aus dem Auftauchen eines Stopp-Schildes. Der Proband war angehalten sowohl auf das Langsamerwerden – einem Ereignis, mit dem ein Autofahrer täglich im Straßenverkehr konfrontiert wird - als auch auf eine Vollbremsung des vorausfahrenden Wagens zu reagieren, zusätzlich das nachfahrende Auto im Rückspiegel im Blick zu behalten und auf die Geschwindigkeitsanzeige zu achten. Diese komplexen Abläufe ähneln am ehesten

einer alltäglichen Situation im Straßenverkehr. Ruel et al. konnten zusätzlich keine Langzeitverläufe einzelner Patienten erfassen, da ein Proband jeweils nur zu einem Zeitpunkt postoperativ erneut getestet wurde [64].

6.2.1.2.3 Postoperativer Langzeitverlauf der Bremsreaktionszeit auf ein Vollbremsungsereignis

Ziel der Studie war es unter anderem die Fahrfähigkeit der Patienten im Langzeitverlauf nach dem operativen Ersatz des rechten Hüftgelenks zu beurteilen. Hierzu war neben einer Simulationsfahrt nach sechs Wochen postoperativ eine weitere Testung drei Monate nach dem operativen Gelenkersatz vorgesehen. Von den 30 Patienten, die bei rechtsseitiger Koxarthrose operativ behandelt wurden und an dieser Studie teilnahmen, konnten nur bei fünf Patienten Messwerte nach drei Monaten erhoben werden. Gründe hierfür waren das Ausscheiden aus der Studie auf Patientenwunsch, ein Gefühl des subjektiven Unwohlseins während der Fahrsimulation und organisatorische Schwierigkeiten bei der Terminfindung. Im Versuchsaufbau vorgesehen war, die Reevaluationen der Fahrfähigkeit im Rahmen der postoperativen Wiedervorstellung in unserer Ambulanz durchzuführen, um den Aufwand für die Testpersonen möglichst gering zu halten. Dies ließ sich zeitlich nicht immer vollständig koordinieren. Die geringe Fallzahl in der Drei-Monats-Kontrolle ließ es nicht zu, statistisch signifikante Ergebnisse zu gewinnen. Trotz der geringen Fallzahl liefert die Betrachtung der individuellen Einzelverläufe der fünf Probanden, die für eine Drei-Monats-Kontrolle zur Verfügung interessante Erkenntnisse.

Die Einzelverläufe zeigten sich für alle drei erhobenen Fahrparameter Gasoff, Brake0 und Brake80 bei den Probanden höchst individuell (Abb 6-8).

Versuchsperson 49 (weiblich, 67 Jahre) war die einzige Testperson, deren postoperative Reaktionszeit in der Drei-Monats-Kontrolle mit 400 ms deutlich über ihrem präoperativen Ausgangswert lag. Bereits präoperativ war die Fahrfähigkeit dieser Probandin im Vergleich zum Gesunden eingeschränkt. Die Beeinträchtigung durch die Arthrose des rechten Hüftgelenks spiegelte sich ebenfalls klinisch (Merle d'Aubigné-Score=10) als auch in der apparativen Röntgenuntersuchung nach Kellgren (Stadium II) wieder. Präoperativ war diese Patientin auf die tägliche Einnahme von Analgetika angewiesen. Sechs Wochen postoperativ schien sich ihre Fahrfähigkeit zusätzlich zu verschlechtern und entsprach mit 2900ms fast der zweifachen Bremsreaktionszeit eines Gesunden. Diese deutliche Verschlechterung

der Reaktionszeit kann auf den operativ entstandenen und noch nicht vollständig kompensierten Muskelschaden zurückzuführen sein. Auch in der Drei-Monats-Verlaufskontrolle konnte die Probandin ihre präoperativen Ausgangswerte nicht wieder erreichen.

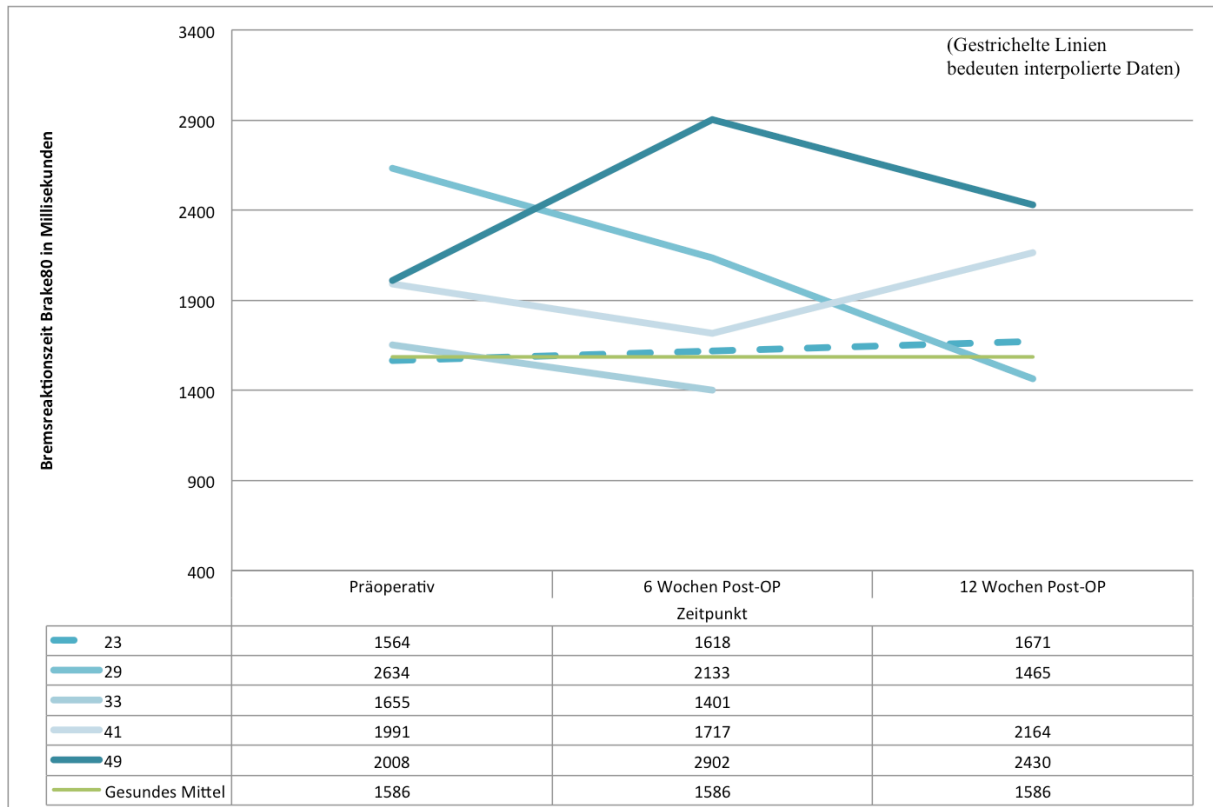


Abbildung 6-8 Bremsreaktionszeiten Brake80 im Langzeitverlauf der Probanden der Probanden 23, 29, 33, 41, 49 im Vergleich gesunden Mittelwert

Im Gegensatz dazu zeigte die Versuchsperson 41 (männlich, 60 Jahre) präoperativ eine ähnlich eingeschränkte Bremsreaktionszeit wie Probandin 49, konnte diese jedoch nach drei Monaten nahezu wieder erreichen. Proband 23 (männlich, 48 Jahre) der schon präoperativ bessere Bremsreaktionszeiten als die gesunde Kontrollgruppe auswies, zeigte bei der Beobachtung der BRT's postoperativ eine stetige Verbesserung im Vergleich zu präoperativ. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die Rehabilitationszeit aufgrund des jüngeren Patientenalters kürzer als bei den älteren Probanden zu sein scheint. Bei der Versuchsperson 33 (w 57 Jahre) schien sich die Reaktionszeit durch die Operation zunächst über das gesunde Vergleichsniveau hinaus zu verbessern. In der 6-Wochen-Kontrolle zeigt sich eine geringfügige Tendenz zu kürzeren Reaktionszeiten als noch präoperativ. Aufgrund

eines technischen Defekts stehen für diese Patientin keine Werte aus der 3 Monatskontrolle zur Verfügung.

Bei Proband 29 (männlich, 79 Jahre), der präoperativ mit 2634 ms die längste Bremsreaktionszeit der Gruppe aufwies, konnte sowohl 6 Wochen als auch 12 Wochen postoperativ eine deutliche Verbesserung der BRT's beobachtet werden. Drei Monate postoperativ wies dieser Proband eine Bremsreaktionszeit von 1465ms auf und konnte sich damit über das gesunde Vergleichsniveau hinaus verbessern. Interessanterweise war die Koxarthrose bei diesem Patienten präoperativ klinisch sehr ausgeprägt mit einem Merle-D'Aubigné-Score von 9 und einem nativradiologischen Kellgren-Stadium III. Scheinbar profitieren Patienten, deren Fahrfähigkeit durch eine schwere Arthrose präoperativ deutlicher eingeschränkt ist, mehr von einem operativen Gelenkersatz als Patienten, deren Fahrfähigkeit präoperativ durch die Arthrose in geringerem Maße beeinträchtigt wird.

Zusammenfassend konnten drei Probanden ihre präoperative Bremsreaktionszeit bereits nach sechs Wochen wieder erreichen. Eine Probandin hatte auch nach drei Monaten noch eine verlängerte Bremsreaktionszeit als präoperativ und ein Proband konnte sich im Langzeitverlauf durch die Operation über das Niveau der gesunden Vergleichsgruppe hinaus verbessern. Faktoren wie die präoperative Fahrfähigkeit und der klinische Schweregrad scheinen mögliche Einflussfaktoren für die postoperative Entwicklung der Bremsreaktionszeit zu sein, dennoch zeigten sich im Langzeitverlauf der fünf betrachteten Patienten hoch individuelle Verläufe, sodass hier keine zuverlässige Aussage über den allgemeinen Zeitpunkt des Wiedererreichens der Fahrfähigkeit nach operativem Hüftgelenkersatz gemacht werden kann. Offensichtlich ist die Rehabilitationszeit der Patienten individuell zu betrachten.

6.2.2 Korrelation der Fahrtüchtigkeit von Arthrosepatienten mit dem klinischen Befund

Es ist bereits bekannt, dass der klinische Befund eines Patienten nur sehr selten mit dem Schweregrad des radiologischen Befundes des arthrotischen Gelenkbefalls korreliert [48]. Bei der Analyse des nativradiologischen Befundes der präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen zeigte sich, dass auch ein hohes Kellgren-Stadium nicht mit besseren oder schlechteren Bremsreaktionszeiten korrelierte. Gleiche Erkenntnisse konnten von Bernstorff et al. gewonnen werden, die postulierten, dass

der radiologische Befund keinen Einfluss auf das Fahrverhalten von Patienten zu haben scheint und damit kein adäquates Mittel zur Patientenberatung darstelle [73]. Auf der anderen Seite kann dem Score nach Merle d'Aubigné eine wichtige Rolle zur Beurteilung der Funktionalität der Hüfte während des Autofahrens zugesprochen werden. Im Gegensatz zum nativradiologischen Befund konnten wir eine Korrelation zwischen dem präoperativ erreichten Wert innerhalb des Scores nach Merle d'Aubigné mit der Bremsreaktionszeit auf ein Vollbremsungsereignis von Patienten mit rechtsseitiger Koxarthrose nachweisen.

Es ist bereits bekannt, dass Gesunde einen signifikant besseren Punktwert beim Scoring als Koxarthrosepatienten erreichen [54]. Dies ist auf die Bewegungseinschränkung und die Schmerzen aufgrund der Arthrose zurückzuführen. Diese Erkenntnisse korrelieren mit den Ergebnissen der hier vorgestellten Studie, in der die gesunde Kontrollgruppe durchschnittlich 6,8 Punkte mehr als die Koxarthrosegruppe erreichten.

Sechs Wochen nach dem rechtsseitigen endoprothetischen Gelenkersatz konnte der Scorewert der Arthrosepatienten um durchschnittlich 4,69 Punkte verbessert werden, was auf eine Schmerzreduktion und bessere Funktion der Hüfte nach der Alloarthroplastik zurückzuführen ist. Diese Erkenntnisse werden dadurch untermauert, dass die Patienten zu diesem Zeitpunkt sehr viel seltener auf die Einnahme von Analgetika angewiesen waren.

Die Analyse von Schmerz, Funktion und subjektiver Zufriedenheit mit der rechten Hüfte erfolgte in dieser Studie mittels Visueller Analogskala im Rahmen jeder Simulationsfahrt, einmal in Bezug auf Schmerz, Funktion und Zufriedenheit mit dem Hüftgelenk im Alltag, sowie einmal in Bezug auf den Zustand während der Fahraufgabe. Hierbei zeigte sich ein hoch signifikanter Unterschied in allen Bereichen im Alltag eines Arthrosekranken im Vergleich zu der gesunden Gruppe. Alle Probanden gaben damit eine deutliche Einschränkung durch die Koxarthrose im Alltag an. Ebenso verhielt es sich während der Fahraufgabe. Auch hier gaben die Patienten mit Koxarthrose eine signifikante Einschränkung in Bezug auf Schmerz, Funktion und Zufriedenheit im Vergleich zum Gesunden an. Die durch die arthrosekranken Probanden während des Fahrens angegebenen Schmerzen und Funktionseinschränkungen durch die Arthrose sind höchst wahrscheinlich ursächlich

für die deutlich längeren Bremsreaktionszeiten dieser Probanden im Vergleich zum Gesunden.

Auch während der Fahraufgabe wurden Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit bei den Koxarthrosepatienten signifikant schlechter als von der gesunden Kontrollgruppe bewertet. Auffällig war jedoch, dass die Differenz der Ergebnisse der visuellen Analogskala zur Testung innerhalb der beiden Gruppen nicht so ausgeprägt wie bei der Beurteilung der Parameter im Alltag war. Im Bereich „Schmerzen im Alltag“ erreichte die arthrosekranke Versuchsgruppe durchschnittlich 6,67 Punkte, bewerteten jedoch die „Schmerzen während der Fahraufgabe“ lediglich mit einem Punktwert von 2,6. Ähnlich verhielt es sich in Bezug auf Funktion und Zufriedenheit, wobei hier Unterschiede zwischen der alltäglichen Angabe und der Angabe zur Fahraufgabe von vier Punkten (Funktion) und 6,1 Punkten (Zufriedenheit) beobachtet werden konnten. Dies ist möglicherweise dadurch zu erklären, dass arthrosekranke Patienten im Alltag mit Bewegungsabläufen konfrontiert sind, die für das Hüftgelenk weitaus belastender, als das Führen eines Kraftfahrzeugs sind, sodass sich im Alltag bestehende Schmerzen und Funktionseinschränkungen deutlicher zeigen. Zudem ist nicht sicher auszuschließen, dass die Koxarthrosepatienten unbewusst bestrebt waren, ihre Angaben so zu machen, dass vom Untersucher keine Bedenken zum Führen des Kraftfahrzeugs geäußert werden.

6.2.3 Fahrtüchtigkeit nach Hüftendoprothese

Oftmals wird der behandelnde Arzt bereits vor einer anstehenden Hüftprothesenimplantation mit der Frage seiner Patienten konfrontiert, ab wann das sichere Führen eines Kraftfahrzeugs wieder möglich ist. Da sich aus den dazu bisher existierenden klinischen Studien keine allgemeingültigen Empfehlungen ableiten lassen und eine Überprüfung der Fahrfähigkeit eines jeden einzelnen Patienten logistisch und finanziell nicht möglich ist, bleibt dies eine Einzelfallentscheidung, bei der der klinische Befund wichtig ist.

Im postoperativen Verlauf wurde eine signifikante Verbesserung in allen drei Bereichen der Visuellen Analogskala durch den endoprothetischen Hüftgelenkersatz deutlich. Für die Simulationsfahrt sechs Wochen nach der Operation ergaben sich hierbei sowohl im Alltag als auch während der Fahrt eine signifikante Verbesserung hinsichtlich des Schmerzes, der Funktion und der subjektiven Zufriedenheit mit dem Gelenk verglichen zum präoperativen Status.

Diese signifikante Verbesserung korrelierte allerdings nicht mit den Bremsreaktionszeiten 6 Wochen postoperativ, die sich im Vergleich zum präoperativen nicht signifikant änderten. Zu diesem Beobachtungszeitpunkt scheinen die Patienten durch die Hüftalloarthroplastik zwar subjektiv deutlich beschwerdegelindert zu sein, allerdings verhindert wohl die objektiv fassbare Restmuskelatrophie bedingt durch den perioperativen Muskelschaden ein Erreichen von Bremsreaktionszeiten eines Gesunden.

6.2.4 Subjektive Einschätzung der Fahrtüchtigkeit

Die Patienten mit einer rechtsseitigen Koxarthrose empfanden subjektiv die Funktion ihres Hüftgelenks als weniger eingeschränkt, hatten weniger Schmerzen während des Autofahrens als im Alltag und zeigten sich in diesem Kontext auch zufriedener mit dem Gelenk. Diese subjektive Einschätzung der im Vergleich zum Alltag eher gering gradigen Einschränkung durch die Arthrose während der Simulationsfahrt ließ sich interessanterweise in der Evaluation der subjektiven Einschätzung der Fahrfähigkeit (VAS-F) bestätigen. Die Koxarthrosepatienten schätzten ihre Fahrtüchtigkeit nicht signifikant schlechter ein als die gesunde Kontrollgruppe, obwohl die Patienten signifikant längere Bremsreaktionszeiten aufwiesen als die Gesunden. Allerdings zeigte sich ein Zusammenhang der Bremsreaktionszeiten mit dem klinischen Score nach Merle d'Aubigné. Auch wenn sich die Koxarthrosepatienten selbst als ebenso fahrtüchtig einschätzten wie Gesunde, erreichten sie doch signifikant schlechtere Scorewerte nach Merle d'Aubigné und signifikant längere Bremsreaktionszeiten bei einem Emergency-Stop. In Zusammenschau dieser Erkenntnisse könnte dies in einer deutlichen Gefährdung des Straßenverkehrs resultieren. Arthrosekranke Patienten scheinen nicht in der Lage zu sein, ihre Fahrtüchtigkeit subjektiv adäquat einzuschätzen. Hier scheint eine objektive Evaluation der Fahrfähigkeit durch den behandelnden Arzt sinnvoll, um eine eingeschränkte Fahrfähigkeit des Patienten aufzudecken und den Patienten dahingehend beraten zu können.

6.3 Limitierungen der Arbeit

Wie bei fast jeder wissenschaftlichen Arbeit liegen auch bei unserer gewisse Limitierungen vor.

Obwohl das primäre Ziel unserer Arbeit war, ein Koxarthrose-Kollektiv aus 30 Probanden prospektiv bis zum dritten postoperativen Monat zu untersuchen, zeigten sich im Verlauf verschiedene Gründe, weswegen sich die Teilnehmerzahl stark im Vergleich zum ersten Untersuchungszeitpunkt reduzierte. Der eigene Patientenwunsch, aus der Studie auszusteigen, subjektives Unwohlsein während der Fahrsimulation mit einem daraus resultierenden Abbruch der Testfahrt sowie organisatorische Schwierigkeiten bei der Terminfindung zum exakten postoperativen Zeitpunkt und nicht zu einem späteren sind als Hauptgründe zu benennen.

Darüber hinaus sollte angemerkt werden, dass der mögliche Einfluss der Begleiterkrankungen der Patienten auf das Fahrverhalten nicht untersucht wurde. Es ist möglich, dass multimorbide Patienten schlechtere Testergebnisse im Vergleich zu solchen mit weniger oder keinen Komorbiditäten erzielen.

Zuletzt sollte betont werden, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie ausschließlich für Koxarthrosepatienten nach „einfacher“ primärer Hüftendoprothetik gelten. Andere Koxarthrosepatienten mit mehrfachen Voroperationen, postoperativem Verlauf mit einer zunächst erforderlichen Entlastung der operierten Extremität sowie Patienten mit einer Wechseloperation der Hüftprothese dürften durchaus ein anderes Fahrverhalten aufweisen.

7 Schlussfolgerung

Mit der hier vorgestellten Studie konnte ein neuartiges Fahrsimulationsmodell eingeführt werden, welches die direkte und repetitive Analyse des Bremsverhaltens von Arthrosepatienten und Patienten nach einer Hüftalloarthroplastik erlaubt.

Die Integration einer realistischen Fahrumgebung in Form der Fahrerkabine eines herkömmlichen Kleinwagens in den Versuchsaufbau vermittelt erstmals und bisher einmalig ein wahrheitsgetreues Fahrgefühl bei der Analyse von Bremsreaktionszeiten. In der hier vorgestellten Arbeit wurde neben der Analyse des Fahrverhaltens während eines Emergency-Stops erstmals auf das Bremsverhalten im Rahmen eines Verlangsamungsereignisse eingegangen, womit ein PKW-fahrer im Straßenverkehr nahezu täglich konfrontiert wird.

Zusammenfassend konnten wir feststellen, dass Patienten mit rechtsseitiger Koxarthrose deutlich längere Bremsreaktionszeiten während eines Emergency-Stops aufweisen als gleichaltrige gesunde Probanden. Die Bremsreaktionszeit der Koxarthrosepatienten auf ein Vollbremsungsereignis war um 327ms verlängert, was bei einer Fahrgeschwindigkeit von 90 km/h einem bis zu 8 m längeren Anhalteweg entspricht und in einem deutlich erhöhten Unfallrisiko resultieren kann. Dahingegen scheint die Koxarthrose keinen Einfluss auf die Bremsreaktionszeiten bei einem Verlangsamungsereignis zu nehmen.

Der Arthrosegrad bemessen anhand des nativradiologischen Befundes hatte keinen Einfluss auf das Fahrverhalten der Probanden und sollte daher nicht zu einer dahingehenden Patientenberatung herangezogen werden. Allerdings zeigte sich eine Korrelation der Bremsreaktionszeiten mit der klinischen Beurteilung des Hüftgelenks anhand des Scores nach Merle d'Aubigné.

Interessanterweise schätzten die Koxarthrosepatienten ihre Fahrtüchtigkeit nicht signifikant schlechter ein als die gesunden Studienteilnehmer.

Desweiteren konnte demonstriert werden, dass Patienten, die sich aufgrund einer rechtsseitigen Koxarthrose einer Hüftprothesenimplantation unterzogen, 6 Wochen postoperativ ihre präoperativen Bremsreaktionszeiten zwar wieder erreichen konnten, jedoch durch die Prothesenimplantation nicht verbessern konnten. Das Unfallrisiko scheint also durch Prothesenimplantation sechs Wochen postoperativ nicht negativ beeinflusst zu werden. Dennoch zeigten sich patientenabhängig sehr individuelle Verläufe in der Rehabilitationszeit der BRT, wobei einige Patienten auch nach drei Monaten postoperativ noch nicht wieder ihren präoperativen Ausgangswert oder ein dem gesunden entsprechendes Niveau erreichen konnten. In Folgestudien mit höherer Fallzahl und über einen längeren Nachuntersuchungszeitraum könnte noch deutlicher auf die Rehabilitationszeit der BRT eingegangen und die Fahrtüchtigkeit einzelner Probanden genauer analysiert werden.

Hinsichtlich der durch eine Koxarthrose eingeschränkten Fahrfähigkeit sind die Patienten aktiv aufzuklären und zu einer angepassten Fahrweise zu beraten, vor allem vor dem Hintergrund, dass diese Patienten ihre Fahrfähigkeit subjektiv im Vergleich zum Gesunden als nicht eingeschränkt empfinden. Behandelnde Ärzte könnten sich in der Beratung ihrer Patienten anhand des klinischen Scores nach Merle d'Aubigné orientieren, wobei niedrige Scorewerte auf eine verlängerte Bremsreaktionszeit hinweisen.

Hinsichtlich der Fahrfähigkeit nach Hüftalloarthroplastik sind die Patienten dahingehend zu beraten, dass die Fahrtüchtigkeit sechs Wochen postoperativ im Allgemeinen wieder ihrem präoperativen Status entspricht. In Anbetracht der Tatsache, dass die Fahrfähigkeit von arthrosekranken Patienten bereits präoperativ im Vergleich zum gesunden Patienten signifikant eingeschränkt ist, ist der Patient jedoch auch sechs Wochen postoperativ noch hinsichtlich einer angepassten Fahrweise zu beraten.

Aufgrund der individuellen präoperativen Leistungsfähigkeit und postoperativen Rehabilitationsverläufe, ist dies mit dem einzelnen Patienten zu besprechen. Hier scheint eine einfache Einschätzungsmöglichkeit über etablierte funktionelle Scores hilfreich.

8 Danksagung

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn PD Dr.med Konstantinos Anagnostakos, Chefarzt der orthopädischen Klinik des Klinikums Saarbrücken, für die Überlassung dieses spannenden Themas und der Unterstützung bei dieser Dissertation bedanken.

Mein herzlicher Dank gilt auch Frau Dr.med Nora Diehl, die diese Arbeit betreut und mir mit Rat, Unterstützung und Motivationsschüben zur Seite stand. Auch für die konstruktive Kritik und die freundliche Korrektur dieser Arbeit möchte ich ihr danken. Ohne ihr Interesse an diesem Thema wäre die Studie, sowie diese Arbeit nie zustande gekommen.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr med Dieter Kohn für die große Unterstützung, durch ihn und das gesamte Team der orthopädischen Universitätsklinik Homburg. Auch wenn die Datenerhebung an den Patienten der orthopädischen Klinik, die Arbeitsabläufe sowohl auf den Stationen als auch in den Ambulanzen wohl häufig etwas durcheinander gewirbelt hat, traf ich hier ausschließlich auf ein außergewöhnliches Maß an Freundlichkeit und große Bereitschaft zur Unterstützung.

Mein Dank gilt zusätzlich Herrn M.Sc Rafael Math und der Automotive IUI Group des Deutschen Forschungszentrums für künstliche Intelligenz, sowohl für die Bereitstellung des Fahrsimulators als auch für die stetige Betreuung in Fragen Technik und Software.

Herrn Simon von Massow möchte ich für die kompetente und freundliche Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Fahrdaten danken. Auch auf mehrfache Nachfragen reagierte er zuverlässig und geduldig mit ausführlichen und verständlichen Antworten.

Genauso möchte ich mich bei dem Medizinischen Institut für Biometrie, Epidemiologie und Medizinischer Informatik des Universitätsklinikums des Saarlandes für die biometrische Beratung bedanken.

Ebenfalls gilt mein Dank ich der Deutschen Arthrose-Hilfe e.V. für die Unterstützung dieser Studie.

Nicht zuletzt möchte ich Frau Franziska Bürkle danken, die mich als Projektpartnerin bei der Durchführung dieser Studie begleitet hat.

Bei meiner Familie möchte ich mich bedanken, ohne deren Unterstützung diese Dissertation als Ergebnis meines Medizinstudiums nie möglich gewesen wäre. Bei meinen Eltern fand ich immer ein offenes Ohr und liebevolle Unterstützung. Sie ermöglichten mir das Studium der Humanmedizin und auf ihre verlässliche und unumstößliche Zuneigung darf ich mich immer verlassen.

Wenn ich selber an der Fertigstellung der Arbeit zweifelte, fand Max Lang die richtigen Worte, das werde ich ihm nie vergessen und dafür bin ich ihm von Herzen dankbar.

9 Literaturverzeichnis

1. Abbas G, Waheed A (2011) Resumption of car driving after total hip replacement. *Journal of Orthopaedic Surgery* 19:54-56
2. Altmann R, Asch E, Bloch D, Bole G, Borenstein D, Brandt K (1986) Development of Criteria for the Classification and Reporting of Osteoarthritis. *Arthritis and Rheumatism* 29:1039-1049
3. Bauer R, Russe W (1984) Der transgluteale Zugang bei Hüftgelenksarthroplastik. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 122:48-49
4. Beck M, Leunig M, Parvizi J, Boutier V, Wyss D, Ganz R (2004) Anterior femoroacetabular Impingement: Part 2. Midterm Results of Surgical Treatment. *Clinical Orthopaedics & Related Research* 418:67-73
5. Behzad B, Mann DD (2013) Drivers' Mental Workload In Agricultural Semi-Autonomous Vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 57:1795-1799
6. Braun M, Bellmann T (2013) Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt (DLR). Retrieved März 01, 2017, from http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-6629/year-2013/151_page-4/#/gallery/9228
7. Buckwalter JA, Mankin HJ, Grodzinsky AJ (2005) Articular Cartilage and Osteoarthritis. *Instructional Course Lecture* 54:465-480
8. Cao Y, Mahr A, Castronovo S, Theune M, Stahl C, Müller C (2010) Local Danger Warnings for Drivers: The Effect of Modality and Level of Assistance on Driver Reaction. *Intelligent User Interfaces ACM Press* 239-248

9. Chen V, Chacko AT, Costello FV, Desrosiers N, Appleton P (2008) Driving After Musculoskeletal Injury Addressing Patient and Surgeon Concerns in an Urban Orthopaedic Practice. *The Bone and Joint Journal* 90:2791-2796
10. Colen S, van den Bekerom MPJ, Mulier M, Haverkamp D (2012) Hyaluronic acid in the treatment of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis with emphasis on the efficacy of different products. *BioDrugs* 26:257-268
11. da Costa BR, Reichenbach S, Keller M, Nartey L, Wandel S, Jüni P, Trelle S (2016) Effectiveness of non-steroidal anti-inflammatory drugs for the treatment of pain in knee and hip osteoarthritis: a network meta-analysis. *Lancet* 387:2093-2105
12. Dalury D, Tucker K, Kelley T (2010) When Can I Drive - Brake Response Time After Contemporary Total Knee Arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 469:82-86
13. Davies B, Watts J (1969) Preliminary Investigation of Movement Time Between Brake and Accelerator Pedals in Automobiles. *Human Factors* 11:407-409
14. Debrunner A (2002) *Orthopädie Orthopädische Chirurgie*. 4th ed. Hans Huber Verlag, Bern
15. Demberg V, Sayeed A, Mahr A, Müller C (2013) Measuring linguistically-induced cognitive load during driving using the ConTRe task. *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* pp.176-183

16. Der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC ev. München). Berechnung des Anhalteweges. Abgerufen am 01.03.2017 von https://www.adac.de/_mmm/pdf/Verkehr_und_Mathe_Anhalteweg_45164.pdf
17. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (2011). S3-Leitlinie Orthopädie: Koxarthrose. Abgerufen am 17.02.2017 von http://www.leitliniensekretariat.de/files/MyLayout/pdf/033-001I_S3_Koxarthrose_2009-11.pdf
18. Dougados M, Gueguen A, Nguyen M, Berdah L, Lequesne M, Mazieres B, Vignon E (1996) Radiological progression of hip osteoarthritis: definition, risk factors and correlations with clinical status. *Annals of the Rheumatic Diseases* 55:356-362
19. Die Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (2015) S3 -Leitlinie Prophylaxe der venösen Thromboembolie. Abgerufen am 22.01.2018 von http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/003-001I_S3_VTE-Prophylaxe_2015-12.pdf
20. Englbrecht M, Tarner IH, van der Heijde D, Manger B, Bombardier C, Müller-Ladner U (2012) Measuring pain and efficacy of pain treatment in inflammatory arthritis: a systematic literature review. *Journal of Rheumatology*. Supplement 90:3-10.
21. FOERST GmbH (2017) Foerst Fahrsimulatoren. Abgerufen am 22.01.2018 von <http://www.fahrsimulatoren.eu/de/>
22. François Rannou, Pelletier J.-P, Martel-Pelletier J (2016) Efficacy and safety of topical NSAIDs in the management of osteoarthritis: Evidence from real-life setting trials and surveys. *Seminars in Arthritis and Rheumatism* 45:18-21

23. Franz A, Mannel H, Brüggemann GP, Schmidt J. (2012) Bremsfähigkeit von Patienten nach endoprothetischer Versorgung des Hüftgelenks- Einfluss von Prthesendesign und präoperativem Status. Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie 150:533-538
24. Ganz S, Levin A, Peterson M, Ranawat C (2003) Improvement of Driving Reaction Time After Total Hip Arthroplasty. Clinical Orthopaedics and Related Research 413:192-200
25. Green M (2010) How Long Does It Take To Stop. Transportation Human Factors 2:195-216
26. Hackmann T, Moog S (2008) Älter gleich kränker? Auswirkungen des Zugewinns an Lebenserwartung auf die Pflegewahrscheinlichkeit. Abgerufen am 01.03.2017 von Econstor: <http://hdl.handle.net/10419/38847>
27. Hernandez V, Ong A, Orozco F, Madden A, Post Z (2015, April) When Is It Safe for Patients to Drive after Right Total Hip Arthroplasty. The Journal of Arthroplasty 30:627-630
28. Himme A (2007) Gütekriterien der Messung: Reliabilität, Validität und Generalisierbarkeit. In Albers S, Klapper D, Konradt U, Walter A, Wolf J(eds.) Methodik der empirischen Forschung Gabler Verlag, Wiesbaden p.381
29. Hofmann H, Tobisch V, Ehrlich U, Berton A, Mahr A (2014) Comparison of Speech-based In-car HMI Concepts in a Driving Simulation Study. Proceedings of the 19th International Conference on Intelligent User Interfaces pp. 215-224
30. Hofmann K, Jordan M, Rondak I, Ipach I (2014) Osteoarthritis of the knee or hip significantly impairs driving ability (cross-sectional survey). BMC Musculoskeletal Disorders 15:1-9.

31. Howell D, Sapolsky A, Pita J, Woessner F (1976) The Pathogenesis of Osteoarthritis. *Seminars in Arthritis and Rheumatism* 5:365-383
32. Hurley M, Scott D, Rees J, Newham D (1997) Sensorimotor changes and functional performance in patients with knee osteoarthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases* 56:641-648
33. Imhof H, Czerny C, Gahleitner A, Grampp S, Kainberger F, Krestan C, Sulzbacher I (2002) Coxarthrosis. *Radiologe* 42:416-431
34. Imhof H, Nöbauer-Huhmann I, Trattning S (2009) Koxarhtrose- ein Update. *Der Radiologe* 49:400-409
35. Jacobson S, Sonne-Holm S, Soballe K, Gebuhr P, Lund B (2004) Radiographic case definitions and prevalence of osteoarthrosis of the hip A survey of 4 151 subjects in the Osteoarthritis Substudy of the Copenhagen City Heart Study. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 75:713–7 20
36. Jacobsson L, Lindgärde F, Manthorpe R (1989) The commonest rheumatic complaints of over six weeks' duration in a twelve-month period in a defined Swedish population. Prevalences and relationships. *Scandinavian Journal of Rheumatology* 18:353-360.
37. Jordan M, Hofmann UK, Grünwald J, Meyer M, Sachsenmaier S, Wülker N, Kluba T, Ipach I(2014) Influence of Left- and Right-Side Total Hip Arthroplasty on the Ability to Perform an Emergency Stop While Driving a Car. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 95:1702-1709.
38. Kölbl O, Barthel T, Krödel A, Seegenschmiedt M (2003) Prävention von heterotopen Ossifikationen nach Totalendoprothese des Hüftgelenks. *Deutsches Ärzteblatt* 100:2944-2954

39. Kellgren J, Lawrence J (1957) Radiological Assessment of Osteo-Arthrosis. *Annals of Rheumatic Diseases* 16:494-502
40. Kleimenhagen F, Stöve J (2015) Intraartikuläre Therapie der Arthrose. *Zeitschrift für die Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis* 5:259-263
41. Kohn D, Pohlemann T (2010) *Operationsatlas für die orthopädisch-unfallchirurgische Weiterbildung*. Springer-Verlag, Berlin
42. Krämer K, Stock M, Winter M (1993) *Klinikleitfaden Orthopädie*. Jungjohann Verlag, Neckarsulm
43. Kraftfahrt-Bundesamt (2016) Abgerufen am 16.11.2016 von Kraftfahrt-Bundesamt:
http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Fahrerlaubnisbestand/2016_fe_b_geschlecht_alter_fahrerlaubniskl.html;jsessionid=C1DA3DD308588E305C10160D94CF9207.live11292?nn=652036
44. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (2006) *Gesundheit in Deutschland* Robert-Koch-Institut, Statistisches Bundesamt: Berlin p.15
45. Lawrence J, Bremner J, Bier F (1966) Osteo-arthrosis. Prevalence in the population and relationship between symptoms and x-ray changes. *Annals of the Rheumatic Diseases* 25:1-24
46. Legh-Smith J, Wade D, Langton H, Hewer R (1986) Driving after a stroke. *Journal of the Royal Society of Medicine* 79:200-203
47. Lehmann L, Stöve J (2004) Pain symptoms of osteoarthritis-aspects of etiology and therapy. *Schmerz* 18:453-462

48. Link T, Steinbach L, Ries M, Ghosh S, Lu Y, Lane N (2003) Osteoarthritis: MR Imaging Findings in Different Stages of Disease and Correlation with Clinical Findings. *Radiology* 226:373-381
49. Lorbach O, Anagnostakos K, Scherf C, Seil R, Kohn D, Pape D (2010) Nonoperative management of adhesive capsulitis of the shoulder: Oral cortisone application versus intra-articular cortisone injections. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 19:172-179
50. MacDonald W, Owen J (1988) The Effect of Total Hip Replacement on Driving Reactions. *The Journal Of Bone And Joint Surgery* 70:202-205
51. Marecek G, Schafer M (2013) Driving After Orthopaedic Surgery. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 21:696–706
52. Martini F, Horstmann T, Knak J, Mayer F, Zacher J (1997) Die Bedeutung der präoperativen Physiotherapie vor einer Hüfttotalendoprothesenversorgung bei Coxarthrose. *Aktuelle Rheumatologie* 22:69-77
53. Math R, Mahr A, Moniri M, Müller C (2012) OpenDS: A new open-source driving simulator for research. *International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Portsmouth.*
54. Merle D'Aubigné R, Postel M (1954) Functional Results of Hip Arthroplasty with Acrylic Prosthesis. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 36:451-475
55. Merx H, Dreinhöfer K, Günther KP (2007) Sozialmedizinische Bedeutung der Arthrose in Deutschland. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 145:421-429
56. Morrison R, Swope G, Halcomb C (1986) Movement Time and Brake Pedal Placement. *Human Factors* 28: 241-246

57. Murphy D, Kaliszer M, Rice J, McElwain J (2003) Outcome after acetabular fracture prognostic factors and their inter-relationships. *Injury* 34:512-517
58. Niethard F, Pfeil J, Biberthaler P (2014) *Orthopädie und Unfallchirurgie*. Thieme Verlag, Stuttgart
59. Pauzié A (2008) A method to assess the driver mental workload: The driving activity workload Index (DALI). *IET Intelligent Transport Systems* 2:315-322
60. Pfleging B, Schneegass S, Schmidt A (2012) Multimodal interaction in the car: combining speech and gestures on the steering wheel. *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* pp. 155-162
61. Rabenberg M (2013) *Gesundheitsberichtserstattung des Bundes Arthrose*. Robert Koch Institut, Berlin, pp. 23-24
62. Rajan R, Selker T, Lane I (2016) Effects of Mediating Notifications Based on Task Load. *Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '16)* pp. 145-152
63. Käßler WD (2008) *Smart Driver Training Simulation*. Springer, Berlin Heidelberg
64. Ruel A, Lee Y, Boles J, Boettner F, Su E, Westrich G (2015) A Novel Assessment of Braking Reaction Time Following THA Using a New Fully Interactive Driving Simulator. *The Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery* 11:143-147
65. Schubert E, Haslbeck A (2014) Evaluation manueller fliegerischer Leistung von Piloten anhand erfasster technischer Parameter in Flugsimulatoren

hochautomatisierter Flugzeuge. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting pp.11-15

66. Spalding T, Kiss J, Kyberd P, Turner-Smith A, Simpson A (1994) Driver Reaction Times After Total Knee Replacement. *The Bone And Joint Journal* 76:754-756
67. Stöve J, Puhl W (1999) Overview of clinical and experimental use of hyaluronic acid in gonarthrosis. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 137:393-399
68. Statistisches Bundesamt (2009) *Bevölkerung Deutschlands bis 2060*. Wiesbaden pp. 15-16
69. Sulzbacher I (2013) Osteoarthritis: Histology and Pathogenesis. *Wiener Medizinische Wochenschrift* 163:212-219
70. Trigkilidas D, Anand A (2013) The effectiveness of hyaluronic acid intra-articular injections in managing osteoarthritic knee pain. *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 95:545-541
71. Tugwell P, Wells G, Shainhouse J (2004) Equivalence study of a topical diclofenac solution (pennsaid) compared with oral diclofenac in symptomatic treatment of osteoarthritis of the knee: a randomized controlled trial. *Journal of Rheumatology* 31:2002-2012.
72. Underwood M, Ashby S, Cross P, Hennessy E, Letley L, Martin J (2008) Advice to use topical or oral ibuprofen for chronic knee pain in older people: randomised controlled trial and patient preference study. *The British Medical Journal* 336:138-142

73. von Bernstorff M, Feierabend M, Jordan M, Glatzel C, Ipach I, Hofman UK (2017) Radiographic Hip or Knee Osteoarthritis and the Ability to Drive. *Orthopedics* 40:82-89
74. Wengeler A, Nimptsch U, Mansky T (2014) Hüft- und Kniegelenkersatz in Deutschland und den USA. *Deutsches Ärzteblatt* 111:407-416
75. Wirth C, Mutschler W, Kohn D, Pohlemann T (2013) *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. Thieme, Stuttgart
76. Zhang W, Moskowitz R, Nuki G (2008) OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis, part II: OARSI evidence-based, expert consensus guidelines. *Osteoarthritis Cartilage* 16:137–162.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Bevölkerungspyramide 2008 im Vergleich zu 2060 [68]. Die Untergrenze der Bevölkerungsvorausberechnung basiert auf drei Annahmen: 1. Konstante Geburtenhäufigkeit von 1,4 Kindern pro Frau. 2. Steigende Lebenserwartung von 8 Jahren bei Jungen bzw. 7 Jahren bei Mädchen. 3. Wanderungssaldo von 100.000 Personen pro Jahr.	13
Abbildung 2-2 Bevölkerung nach Altersgruppen in Prozent 2008 im Vergleich zu 2060 [68]	14
Abbildung 4-1 Versuchsaufbau in dorsaler Ansicht.....	23
Abbildung 4-2 Versuchsaufbaus in cranialer Ansicht.....	24
Abbildung 4-3 Ansicht der Simulation aus der Perspektive des Probanden auf dem Fahrersitz	25
Abbildung 4-4 Studienprotokoll.....	27
Abbildung 5-1 Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Verlangsamungsereignis für die Gruppen Gesund (Con, n=30), Koxarthrose präoperativ (Cox (t0), n=30) sowie Sechs Wochen postoperativ (Cox (t1) n=16); Gasoff means Thinking time; Brake0 means movement time; Brake80 means brake travel time; * means p<0,05 vs Con; **means p<0,01 vs Con; °means p<0,05 vs Cox, °°means p<0,01 vs Cox	37
Abbildung 5-2 Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Vollbremsungsereignis für die Gruppen Gesund (Con, n=30), Koxarthrose präoperativ (Cox (t0), n=30) sowie Sechs Wochen postoperativ (Cox (t1) n=16); Gasoff means Thinking time; Brake0 means movement time; Brake80 means brake travel time; * means p<0,05 vs Con; **means p<0,01 vs Con; °means p<0,05 vs Cox, °°means p<0,01 vs Cox	38
Abbildung 5-3 Bremsreaktionszeiten (BRT) auf ein Vollbremsungsereignis an t1 (6 Wochen postoperativ; n=16) als Einzelanalyse.....	39
Abbildung 5-4 Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit GasOff nach operativem Hüftgelenkersatz bei Koxarthrosepatienten (n=5) zu den Zeitpunkten t0, t1 und t2.....	40
Abbildung 5-5 Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit Brake0 nach operativem Hüftgelenkersatz bei Koxarthrosepatienten (n=5) zu den Zeitpunkten t0, t1 und t2.....	41
Abbildung 5-6 Individueller Langzeitverlauf für Bremsreaktionszeit Brake80 in ms nach operativem Hüftgelenkersatz bei Koxarthrosepatienten (n=5) zu den Untersuchungszeitpunkten t0, t1 und t2 für die Versuchspersonen 23,29,33,41 und 49	42
Abbildung 5-8 Analgetika-Einnahme der Koxarthrosepatienten (cox; n=30) präoperativ (t0).....	53
Abbildung 5-9 Analgetika-Einnahme der Koxarthrosepatienten (cox; n=30) 6 Wochen postoperativ (t1)	53
Abbildung 5-10 Übersicht über das Arthrosestadium der teilnehmenden Probanden nach Kellgren und Lawrence (cox; n=30).....	55
Abbildung 6-1 Fahrsimulator nach MacDonald und Owen [50].....	57
Abbildung 6-2 Fahrsimulator nach Spalding et al. [66]	58

Abbildung 6-3 Fahrsimulator nach Dalury et al.[12]	59
Abbildung 6-4(A) Fahrsimulator nach Hofmann et al. [30](B) Ansicht der Fahrkabine, der weiße Pfeil zeigt auf das als Bremsreiz fungierende LED-Licht	59
Abbildung 6-5 Fahrsimulator nach Franz et al.[23].....	71
Abbildung 6-6 Fahrsimulator nach Hernandez et al. [27].....	72
Abbildung 6-7 Fahrsimulator nach Ruel et al. [64].....	74
Abbildung 6-8 Bremsreaktionszeiten Brake80 im Langzeitverlauf der Probanden der Probanden 23, 29, 33, 41, 49 im Vergleich gesunden Mittelwert	76

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Stadieneinteilung der Arthrose nach Kellgren und Lawrence[39].....	9
Tabelle 2 Bremsreaktionszeit Brake80 und Score nach Merle d'Aubigné und Postel, jeweils für die gesunde Kontrollgruppe (Con), sowie Koxarthrosepatienten (Cox). * means $p < 0,05$ vs Con; **means $p < 0,01$ vs Con Mittelwert \pm STD	44
Tabelle 3 Zusammenhang von Bremsreaktionszeit Brake80 Mittelwert \pm STD und Score nach Merle d'Aubigné und Postel innerhalb der Gruppe der Koxarthrosepatienten (Cox, n=30). <u>Signifikante Korrelation von Brake80 und Score nach Merle d'Aubigné $\rho = -0.45$ ($p = 0,012$).</u>	44
Tabelle 4 Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk im Alltag. Vergleich der Messergebnisse der Koxarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t0 (cox; n=30) mit den Messergebnissen der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30). Mittelwert \pm STD	46
Tabelle 5 Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk im Alltag. Vergleich der Messergebnisse der operierten Koxarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t1 (cox, n=16) und t2 (cox; n=5) mit den präoperativen Ausgangswerten zum Beobachtungszeitpunkt t0 (cox; n=30). Mittelwert \pm STD	47
Tabelle 6 Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk während der Simulationsfahrt. Vergleich der Messergebnisse der Koxarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t0 (cox; n=30) mit den Messergebnissen der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30). Mittelwert \pm STD.....	48
Tabelle 7 Visuelle Analogskala für Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit mit dem rechten Hüftgelenk während der Simulationsfahrt. Vergleich der Messergebnisse der operierten Koxarthrosepatienten zum Untersuchungszeitpunkt t1 (cox, n=16) und t2 (cox; n=5) mit den präoperativen Ausgangswerten zum Beobachtungszeitpunkt t0 (cox; n=30). Mittelwert \pm STD.....	49
Tabelle 8 Driver Activity Load Index (DALI) für die gesunde Kontrollgruppe (con; n=30), die arthrosekranke Versuchsgruppe (cox; n=30) präoperativ (t0) sowie 6 Wochen (t1; n=16) und 12 Wochen (t2; n=5) nach Hüftprothesenimplantation . Mittelwert \pm STD. * means $p < 0,05$. ** means $p < 0,01$	50
Tabelle 9 Visuelle Analogskala zur subjektiven Einschätzung der Fahrtüchtigkeit der gesunden Kontrollgruppe (con; n=30), der arthrosekranken Versuchsgruppe (cox; n=30) präoperativ (t0) sowie 6 Wochen (t1; n=16) und 12 Wochen (t2; n=5) nach Hüftprothesenimplantation . Mittelwert \pm STD. * means $p < 0,05$. ** means $p < 0,01$	52
Tabelle 10 Mittelwerte mit Standardabweichung der gesunden Kontrollgruppe sowie der Gruppe der Koxarthrosen für den klinischen Score nach Merle d'Aubigné, die objektive Reaktionszeit bis zum 80 prozentigen Durchdrücken der Bremse auf ein Vollbremsungsereignis sowie der subjektiven Selbsteinschätzung der Fahrfähigkeit durch	

die Patienten mittels VAS vgl. Anlage 8 „Abschlussfragebogen EuroQuol VAS“. * means p<0,05 ** means p<0,0152

Tabelle 11 Bremsreaktionszeit Brake80 auf ein Vollbremsungsereignis in Abhängigkeit vom Kellgrenstadium der Koxarthrosepatienten (Cox, n=30). Keine signifikante Korrelation der beiden Parameter nachweisbar ($\rho = -0,21$; $p > 0,05$); Mittelwert \pm STD; Brake80 means Brake travel time, * means p<0,05. ** means p<0,01.54

12 Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberaterinnen/Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Außer den Angegebenen hat niemand von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder in ähnlicher Form in einem anderen Verfahren zur Erlangung des Doktorgrades einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Vor Aufnahme der vorstehenden Versicherung an Eides statt wurde ich über die Bedeutung einer eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung belehrt.

Homburg, den 14.1.2017

13 Anhang

Anlage 1 „Schriftliche Einverständniserklärung des Patienten zur Teilnahme an einer klinischen Studie“

Schriftliche Einverständniserklärung des Patienten zur Teilnahme an einer klinischen Studie

Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.

Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wissen möchten.

<u>TITEL DER STUDIE:</u>	Klinische Studie am Fahrsimulator
<u>ORT DER STUDIE:</u>	Orthopädie UKS
Prüfer: Name und Vorname:	Priv.-Doz. Dr. med. Konstantinos Anagnostakos Dr. med. Nora Diehl
Patientin/Patient Name und Vorname: Geburtsdatum: Guppe/Proband:	 <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich

Ich wurde vom unterzeichnenden Prüfer mündlich und schriftlich darauf hingewiesen, dass während des Tests Übelkeit und Schwindel auftreten können. In diesem Fall werde ich mein subjektives Unwohlsein den anwesenden Versuchsleitern umgehend melden. Mir ist bewusst, dass der Test in diesem Falle jederzeit abgebrochen werden kann.

Ich wurde vom unterzeichnenden Prüfer mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf der Studie, über die zu erwartenden Wirkungen, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.

Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufriedenstellend beantwortet worden. Ich erhalte eine Kopie meiner schriftlichen Einverständniserklärung.

Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zu treffen.

Ich weiß, dass meine persönlichen Daten nur in pseudonymisierter Form an außenstehende Institutionen zu Forschungszwecken weitergegeben werden. Ich weiß außerdem, dass meine persönlichen Daten und Testergebnisse nicht an außenstehende Behörden (z.B. Polizei, TÜV) weitergegeben werden und dass die Testergebnisse keinen Einfluss auf meine bestehende Fahrlizenz haben werden.

Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil. Ich kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass mir deswegen Nachteile bei der weiteren medizinischen Betreuung entstehen. In diesem Fall werde ich zu meiner Sicherheit abschließend medizinisch untersucht.

Im Interesse meiner Gesundheit kann mich der Prüfer jederzeit von der Studie ausschließen. Zudem orientiere ich den Prüfer über die gleichzeitige Behandlung bei einem anderen Arzt sowie über die Einnahme von Medikamenten (vom Arzt verordnete oder selbständig gekaufte).

Ort, Datum	Unterschrift der Patientin/des Patienten
------------	--

Bestätigung des Prüfers: Hiermit bestätige ich, dass ich diesem Patienten/dieser Patientin Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie erläutert habe. Ich versichere, alle im Zusammenhang mit dieser Studie stehenden Verpflichtungen zu erfüllen. Sollte ich zu irgendeinem Zeitpunkt während der Durchführung der Studie von Aspekten erfahren, welche die Bereitschaft der Patientin/des Patienten zur Teilnahme an der Studie beeinflussen könnten, werde ich sie/ihn umgehend darüber informieren.

Anmerkung:

Wenn Sie sich für die Ergebnisse der Studie interessieren, haben Sie nachfolgend die Möglichkeit Ihre Telefonnummer und Ihre Adresse zu hinterlassen. Wir versichern Ihnen, dass Ihre persönlichen Daten nicht an Dritte weitergeleitet werden. Wir bitten um Verständnis, dass wir aus wirtschaftlichen und ethischen Gründen nicht Ihre persönlichen Ergebnisse weiterleiten werden, sondern die gemittelten Ergebnisse aus allen Studiendaten.

- Nein, ich habe **kein** Interesse an den Ergebnissen der Studie.
- Ja, ich habe Interesse an den Ergebnissen der Studie.

Ich bitte Sie, mich über folgende Adresse oder Telefonnummer zu informieren:

Name : _____

Vorname: _____

Straße: _____

PLZ: _____

Ort: _____

Tel. nr. _____

Anlage 2 „Untersuchung des Hüftgelenks“

Untersuchung Hüftgelenk Fahrsimulator

Patientenname und Geburtsdatum

Größe, Gewicht

Gruppe/Proband

Untersuchungstag

Ausschlusskriterien

- Aktive Teilnahme am Straßenverkehr
- Keine Frakturen oder Vor-OP's am zu untersuchenden Gelenk oder Nachbargelenk
- Kein Wirbelsäulenleiden mit Lumboischialgie in betreffende Extremität
- Keine Paresen
- Keine Entzündungen
- Keine neurologischen Grunderkrankungen (MS, Parkinson usw.)
- Kein Flexionsdefizit (kleiner 90°)

Keine nicht ausgeglichene Einschränkung der Sehfähigkeit

Begleiterkrankungen vorhanden?

NEIN

JA.

Welche?

Untersuchungsbefund

Haut und Weichteile:

reizlos

nicht reizlos

DS:

inguinal

Trochanter

Stauchungssz:

Rüttelsz:

ROM:

E/F

pDMS:

Bemerkungen

Röntgen

Anlage 3 „Merle d’Aubigné und Postel“

Score nach Merle d’Aubigné und Postel

		<u>Punkte</u>
<u>Schmerz</u>	Schmerz ist intensiv und permanent	0
	Schmerz ist stark, auch nachts	1
	Schmerz ist stark beim Gehen, verhindert jegliche Aktivitäten	2
	Schmerz wird toleriert, eingeschränkte Aktivitäten	3
	Schmerz ist gering beim Gehen, verschwindet im Ruhezustand	4
	Schmerz ist gering und unregelmäßig, normale Aktivitäten	5
	Kein Schmerz	6
	<u>Mobilität</u>	Ankylose mit schlechter Hüftgelenkposition
Beweglichkeit komplett eingeschränkt, Schmerzen oder leichte Deformität		1
Beugung < 40°		2
Beugung 40°-60°		3
Beugung 60°-80°, Patient kann seinen Fuß erreichen		4
Beugung 80°-90°, Abduktion mindestens 15°		5
Beugung > 90°, Abduktion bis 30°		6
<u>Gehfähigkeit</u>		Immobilität
	Nur am Stock möglich	1
	Nur an Gehstützen möglich	2
	Nur 1 Gehstütze, < 1 St., große Schwierigkeiten ohne Gehstütze	3
	Nur 1 Gehstütze über längere Zeit, ohne Gehstütze kurzfristig möglich, Hinken dabei	4
	Keine Gehhilfsmittel, leichtes Hinken	5
	Normal	6

Anlage 4 „Visuelle Analogskala U“

VISUELLE ANALOGSKALA - U

SCHMERZEN

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1

10

Schmerzfrei

Sehr starke Schmerzen

FUNKTION

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1

10

Keine Funktion

Optimale Funktion

ZUFRIEDENHEIT

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1

10

Nicht zufrieden

Sehr zufrieden

Bitte kreuzen Sie in der jeweiligen Skala (von 1 bis 10) das zutreffende Kästchen an.
Es bezieht sich auf den Zustand in dem sie sich im Alltag befinden.

Anlage 5 „Instruktion“

Lieber Teilnehmer,

Sie werden nun eine Fahrt im Fahrsimulator absolvieren. Diese Fahrt findet auf der Autobahn auf einer geraden Strecke ohne Kurven statt. Sie fahren in der Mitte einer Autokolonne, d.h. vor und hinter Ihnen fährt jeweils ein Auto (*siehe Screenshot, Hinweis auf Rückspiegel*). Die beiden Autos reagieren auf Ihre Geschwindigkeitsanpassungen, werden also langsamer, wenn Sie langsamer werden und beschleunigen auch, wenn Sie beschleunigen.

Bitte fahren Sie immer in der Mitte der rechten Spur, fahren Sie stets hinter dem vorderen Auto und überholen Sie nicht.

Bitte versuchen Sie, eine Geschwindigkeit von circa 90 km/h zu halten und dabei einen Sicherheitsabstand von 35 Metern nach vorne einzuhalten. Dieser Abstand wird Ihnen in der ersten Fahrt noch eingeblendet, damit Sie ein Gefühl dafür bekommen.

Hierzu machen wir nun zunächst eine kurze Gewöhnungsfahrt [*Beispielfahrt 1*].

Hinweis, dass Abstandsanzeige hier stets eingeblendet ist, aber in folgenden Fahrten nur noch kurz zu Beginn. Sicherstellen, dass die Bedienung (Lenkrad, Pedale) verstanden wird sowie die Sitzposition passend und angenehm ist. Nachfragen, ob in Ordnung.

Bitte achten Sie beim Fahren auf drei verschiedene Ereignisse, auf die Sie sofort beim Erkennen folgendermaßen reagieren sollen:

- Das vordere Auto bremst plötzlich, d.h. sein Bremslicht leuchtet auf und es wird abrupt langsamer.

Bitte betätigen Sie dann so schnell und kräftig wie möglich die Bremse und halten Sie den Sicherheitsabstand ein. Das vordere Auto wird anschließend wieder auf 90 km/h beschleunigen. Bitte versuchen Sie dann, so schnell wie möglich wieder aufzuschließen, sodass die vorherige Geschwindigkeit von etwa 90 km/h sowie der Abstand von 35 Metern wiederhergestellt ist.

- Das vordere Auto wird etwas langsamer, ohne zu bremsen (kein Bremslicht).

Bitte betätigen Sie dann ebenfalls die Bremse und halten Sie den Sicherheitsabstand ein. Das vordere Auto wird anschließend wieder auf

90 km/h beschleunigen. Bitte versuchen Sie dann, so schnell wie möglich wieder aufzuschließen, sodass die vorherige Geschwindigkeit von etwa 90 km/h sowie der Abstand von 35 Metern wiederhergestellt ist.

- Das hintere Auto blinkt links.

Betätigen Sie bitte die Taste auf dem Lenkrad (*Hinweis: das hintere Auto überholt nicht*)

Damit Sie sich an diese Ereignisse gewöhnen können machen wir wieder eine kurze Übungsfahrt [*Beispielfahrt2*].

Hinweis, dass die Abstandsanzeige ab dem Startschild ausgeblendet wird und nun die Orientierung ohne diese Hilfe klappen sollte. Sicherstellen, dass die Ereignisse klar sind und adäquat reagiert wird.

Ggf. Beispielfahrt(en) wiederholen, falls VP unsicher.

Anlage 6 „Visuelle Analogskala T“

VISUELLE ANALOGSKALA - T

SCHMERZEN

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1									10
Schmerzfrei									Sehr starke Schmerzen

FUNKTION

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1									10
Keine Funktion									Optimale Funktion

ZUFRIEDENHEIT

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1									10
Nicht zufrieden									Sehr zufrieden


Bitte kreuzen Sie in der jeweiligen Skala (von 1 bis 10) das zutreffende Kästchen an.
Es

bezieht sich auf den Zustand in dem sie sich während des Tests im Fahrsimulator befanden.

Anlage 7 „DALI“

Vpn: Bedingung:

Messung der Beanspruchung

	Gering  Hoch
Globale Aufmerksamkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Visuelle Anforderung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Auditive Anforderung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Motorische Anforderung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Stress	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Zeitliche Anforderung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Interferenz	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Anlage 8 „Abschlussfragebogen, VAS-F, Schmerzmitteleinnahme“

Im Folgenden finden Sie eine Reihe von Aussagen zu der Fahrsimulation, mit der Sie im Experiment vertraut gemacht wurden. Bitte geben Sie an, inwieweit die jeweilige Aussage Ihrer eigenen Meinung entspricht bzw. Ihr eigenes Verhalten widerspiegelt. Bitte beurteilen Sie jede Aussage in Bezug zu dieser soeben absolvierten Fahraufgabe im Fahrsimulator:



Hierzu steht Ihnen diese siebenstufige Skala zur Verfügung:

1	2	3	4	5	6	7
Trifft überhaupt nicht zu	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Neutral	Trifft eher zu	Trifft zu	Trifft vollständig zu

Bitte bearbeiten Sie jede Aussage so spontan wie möglich, ohne langes Überlegen. Bedenken Sie, dass es keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten gibt – nur Ihre persönliche Meinung zählt. Wichtig ist, dass Sie jede Aussage bearbeiten.

	Trifft überh aupt nicht zu	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Neutra l	Trifft eher zu	Trifft zu	Trifft vollstä ndig zu
Ich habe die Fahraufgabe gut verstanden.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ich konnte die Fahraufgabe problemlos meistern.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Meine Leistung in der Fahraufgabe war gut.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Die Fahraufgabe hat mich mental belastet.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ich fühlte mich beim Fahren insgesamt sicher und der Aufgabe gewachsen.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ich glaube, dass ich momentan sicher am echten Straßenverkehr teilnehmen könnte.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Ihr körperliches Empfinden während des Fahrens.

	Trifft überh aupt nicht zu	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Neutra l	Trifft eher zu	Trifft zu	Trifft vollstä ndig zu
Ich empfand das Fahren als körperlich anspruchsvoll.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ich fühlte mich körperlich eher unsicher.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ich hatte Probleme, die Bremse zu betätigen.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ich hatte ein stabiles Gefühl in meinem Hüftgelenk.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Ich hatte Schmerzen / Beschwerden in der Hüfte.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Die Aufgabe war hinsichtlich der Belastung für mein rechtes Hüftgelenk problemlos zu bewältigen.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Das Fahren im Simulator war für mich irritierend.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Häufigkeit des Autofahrens:

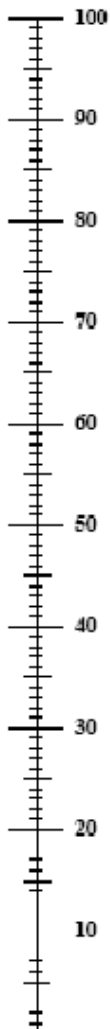
Ich fuhr in den letzten drei Monaten durchschnittlich an ____ Tagen pro Woche Auto.

Meine jährliche Kilometerleistung lag in den letzten Jahren bei etwa ____ Kilometern.

Subjektive Einschätzung Fahrtüchtigkeit (Visuelle Analogskala F)

Wir möchten Sie bitten auf der Skala zu kennzeichnen, wie gut oder wie schlecht Ihrer Ansicht nach Ihre persönliche Einschätzung Ihrer Fahrtüchtigkeit zum heutigen Zeitpunkt ist. Bitte markieren Sie den Punkt auf der Skala, der Ihr subjektives Empfinden am besten wiedergibt.

Ich fühle mich komplett fahrtüchtig



Ich fühle mich überhaupt nicht fahrtüchtig

Schmerzmittleinnahme

Ich bin wegen meinen Schmerzen in Hüfte/bzw. Knie regelmäßig auf die Einnahme von Schmerzmedikamenten angewiesen

JA _____ NEIN _____

Bei ja: welche Schmerzmedikamente nehmen Sie ein und wie häufig

(z.B. Ibuprofen 400 3x täglich, oder Voltaren bei Bedarf ca. 2x/Woche)