



Wirksamkeit einer telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie für die postrehabilitative Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft- Totalendoprothese im berufsfähigen Alter

eingereicht von

Sophie Rabe

bei der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam

an der Professur für Rehabilitationswissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Philosophie

Dr. phil. (philosophiae)

Wissenschaftsdisziplin: Rehabilitationswissenschaften

Disputation am 06.06.2019

Betreuer: Prof. Dr. Heinz Völler

Gutachter: Prof. Dr. Heinz Völler, Prof. Dr. Wilfried Mau

Online veröffentlicht auf dem

Publikationsserver der Universität Potsdam:

<https://doi.org/10.25932/publishup-43055>

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-430556>

Inhaltverzeichnis

Zusammenfassung.....	IV
Abstract	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	X
1 Einleitung.....	1
1.1 Ursache der Gon- und Koxarthrose.....	1
1.2 Häufigkeit endoprothetischer Eingriffe am Knie- und Hüftgelenk.....	4
1.3 Wirksamkeit der Bewegungstherapie nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP	5
1.4 Die medizinische Rehabilitation und die postrehabilitative Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP	7
1.5 Potential der Tele-Nachsorge in der postrehabilitativen Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP	9
1.6 Bisheriger Forschungsstand zur Wirksamkeit der Telerehabilitation nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP	11
1.7 Fragestellung und Hypothese.....	14
2 Methode.....	15
2.1 Studiendesign	15
2.2 Kontrolle	18
2.3 Intervention.....	18
2.4 Entwicklung der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie	19
2.5 Datenerhebung.....	23
2.6 Erhebungsinstrumente.....	24
2.6.1 6-Minuten Gehtest	24
2.6.2 Berufliche Wiedereingliederung.....	25
2.6.3 Funktionelle Mobilität	25
2.6.4 Gesundheitsbezogene Lebensqualität und gelenkbezogene Beschwerden	27
2.6.5 Inanspruchnahme postrehabilitativer Versorgungsangebote und die Adhärenz der Tele-Nachsorge.....	29
2.6.6 Erfassung der Technikakzeptanz	30
2.7 Primäre und sekundäre Endpunkte.....	31
2.8 Statistik.....	32
2.8.1 Fallzahlschätzung.....	32

2.8.2	Statistische Analysen	32
2.9	Ethikvotum und Studienregistrierung	33
3	Ergebnisse.....	35
3.1	Patientencharakteristika	35
3.2	Primärer Endpunkt: 6-Minuten-Gehtest	39
3.3	Sekundäre Endpunkte	41
3.3.1	Berufliche Wiedereingliederung.....	41
3.3.2	Funktionelle Mobilität	42
3.3.3	Gesundheitsbezogene Lebensqualität und gelenkbezogene Beschwerden	43
3.4	Inanspruchnahme von Reha-Nachsorge Leistungen.....	45
3.5	Adhärenz und Nutzungsdaten der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie.....	46
3.6	Technikakzeptanz	49
3.7	Gesamtdauer der Nachsorgemaßnahmen und der eigenständigen körperlichen Aktivitäten...	50
4	Diskussion	53
4.1	Zusammensetzung der Patientenpopulation.....	53
4.2	Wirksamkeit der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie.....	54
4.3	Postoperative Bewegungstherapien	57
4.4	Limitationen	60
4.5	Schlussfolgerungen und Ausblick	63
	Literaturverzeichnis.....	64
	Danksagung	77
	Erklärung	78

Zusammenfassung

Einleitung

Die Implantation einer Knie- oder Hüft-Totalendoprothese (TEP) ist eine der häufigsten operativen Eingriffe. Im Anschluss an die Operation und die postoperative Rehabilitation stellt die Bewegungstherapie einen wesentlichen Bestandteil der Behandlung zur Verbesserung der Gelenkfunktion und der Lebensqualität dar. In strukturschwachen Gebieten werden entsprechende Angebote nur in unzureichender Dichte vorgehalten. Zudem zeichnet sich ein flächendeckender Fachkräftemangel im Bereich der Physiotherapie ab. Die Tele-Nachsorge bietet daher einen innovativen Ansatz für die postrehabilitative Versorgung der Patienten. Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Überprüfung der Wirksamkeit einer interaktiven Tele-Nachsorgeintervention für Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP im Vergleich zur herkömmlichen Versorgung (usual care). Dazu wurden die Funktionalität und die berufliche Wiedereingliederung untersucht.

Methode

Zwischen August 2016 und August 2017 wurden 111 Patienten ($54,9 \pm 6,8$ Jahre, 54,3 % weiblich) zu Beginn ihrer stationären Anschlussheilbehandlung nach Implantation einer Knie- oder Hüft-TEP in diese randomisiert, kontrolliert, multizentrische Studie eingeschlossen. Nach Entlassung aus der orthopädischen Anschlussrehabilitation (Baseline) führte die Interventionsgruppe (IG) ein dreimonatiges interaktives Training über ein Telerehabilitationssystem durch. Hierfür erstellte ein betreuender Physiotherapeut einen individuellen Trainingsplan aus 38 Übungen zur Verbesserung der Kraft sowie der posturalen Kontrolle. Zur Anpassung des Trainingsplans übermittelte das System dem Physiotherapeuten Daten zur Quantität sowie zur Qualität des Trainings. Die Kontrollgruppe (KG) konnte die herkömmlichen Versorgungsangebote nutzen. Zur Beurteilung der Wirksamkeit der Intervention wurde die Differenz der Verbesserung im 6MWT zwischen der IG und der KG nach drei Monaten als primärer Endpunkt definiert. Als sekundäre Endpunkte wurden die Return-to-Work-Rate sowie die funktionelle Mobilität mittels des Stair Ascend Tests, des Five-Times-Sit-to-Stand Test und des Timed Up and Go Tests untersucht. Weiterhin wurden die gesundheitsbezogene Lebensqualität mit dem Short-Form 36 (SF-36) und die gelenkbezogenen Einschränkungen mit dem Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) evaluiert. Der primäre und die sekundären Endpunkte wurden anhand von baseline-

adjustierten Kovarianzanalysen im intention-to-treat-Ansatz ausgewertet. Zusätzlich wurde die Teilnahme an Nachsorgeangeboten und die Adhärenz der Interventionsgruppe an der Tele-Nachsorge erfasst und evaluiert.

Ergebnisse

Zum Ende der Intervention wiesen beide Gruppen einen statistisch signifikanten Anstieg ihrer 6MWT Strecke auf ($p < 0,001$). Zu diesem Zeitpunkt legten die Teilnehmer der IG im Mittel $530,8 \pm 79,7$ m, die der KG $514,2 \pm 71,2$ m zurück. Dabei betrug die Differenz der Verbesserung der Gehstrecke in der IG $88,3 \pm 57,7$ m und in der KG $79,6 \pm 48,7$ m. Damit zeigt der primäre Endpunkt keine signifikanten Gruppenunterschiede ($p = 0,951$). Bezüglich der beruflichen Wiedereingliederung konnte jedoch eine signifikant höhere Rate in der IG (64,6 % versus 46,2 %; $p = 0,014$) festgestellt werden. Für die sekundären Endpunkte der funktionellen Mobilität, der Lebensqualität und der gelenkbezogenen Beschwerden belegen die Ergebnisse eine Gleichwertigkeit beider Gruppen zum Ende der Intervention.

Schlussfolgerung

Die telemedizinisch assistierte Bewegungstherapie für Knie- oder Hüft-TEP Patienten ist der herkömmlichen Versorgung zur Nachsorge hinsichtlich der erzielten Verbesserungen der funktionellen Mobilität, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der gelenkbezogenen Beschwerden gleichwertig. In dieser Patientenpopulation ließen sich klinisch relevante Verbesserungen unabhängig von der Form der Bewegungstherapie erzielen. Im Hinblick auf die berufliche Wiedereingliederung zeigte sich eine signifikant höhere Rate in der Interventionsgruppe. Die telemedizinisch assistierte Bewegungstherapie scheint eine geeignete Versorgungsform der Nachsorge zu sein, die orts- und zeitunabhängig durchgeführt werden kann und somit den Bedürfnissen berufstätiger Patienten entgegenkommt und in den Alltag der Patienten integriert werden kann. Die Tele-Nachsorge sollte daher als optionale und komplementäre Form der postrehabilitativen Nachsorge angeboten werden. Auch im Hinblick auf den zunehmenden Fachkräftemangel im Bereich der Physiotherapie und bestehende Versorgungslücken in strukturschwachen Gebieten kann der Einsatz der Tele-Nachsorge innovative und bedarfsgerechte Lösungsansätze bieten.

Abstract

Background

Total hip or knee replacement is one of the most frequent surgical procedures. Physical rehabilitation following total hip or knee replacement and the subsequent rehabilitation is an essential part of the therapy to improve functional outcomes and quality of life. After discharge of inpatient rehabilitation, a subsequent post-rehabilitation exercise therapy is needed to maintain functional mobility. Telerehabilitation may be a potential innovative treatment approach. The study aimed to investigate the superiority of an interactive telerehabilitation intervention for patients after total hip or knee replacement in comparison to usual care regarding physical performance, functional mobility, quality of life and joint-related impairment.

Methods

This is an open, randomized, controlled, multicenter study with two prospective arms. 111 eligible and consenting participants with total knee or hip replacement were recruited at admission to subsequent inpatient rehabilitation. After comprehensive three-week inpatient rehabilitation, the intervention group performed a three-month interactive home-based exercise training with a telerehabilitation system. For this purpose, a physiotherapist created an individual training plan composed of 38 different strength and balance exercises, which were implemented in the system. Data about quality and frequency of training were transmitted to the physiotherapist for further adjustment. Communication between patient and physiotherapist was possible using the system. The control group received voluntary usual aftercare programs. Baseline assessments were investigated after discharge from rehabilitation, final assessments three months later. The primary outcome was the difference in improvement between intervention and control group in 6-minute walk distance after three months. Secondary outcomes included differences in Stair Ascend Test, Five-Times-Sit-to-Stand Test, Timed Up and Go Test to assess mobility and the SF 36 as well as the WOMAC Index to assess quality of life and joint-related impairment. Furthermore, the adherence for aftercare programs and the interactive home-based exercise program were evaluated.

Results

At the end of intervention both groups revealed a statistically significant increase in their 6-minute walk distance ($p < 0,001$). At that time participants of the intervention group had an absolute 6-minute walk distance of $530,8 \pm 79,7$ m and the control group had a distance of $514,2 \pm 71,2$ m. The difference in improvement for the primary outcome for the intervention group was $88,3 \pm 57,7$ m and $79,6 \pm 48,7$ for the control group. No statistically significant difference was demonstrated ($p = 0,951$). However, regarding the return to work rate, there was a significantly higher rate in the intervention group (64,6 % versus 46,2 %; $p = 0,05$). The secondary endpoints for functional mobility, quality of life and joint-related complaints demonstrated no significant difference between groups at the end of intervention. Adherence was above 75 % for the first seven weeks.

Discussion

The results show that the interactive home-based exercise training is equal to usual care regarding the functional mobility, the quality of life and joint-related impairments. In this population clinically, significant improvements were shown independently from the form of exercise therapy. Whereas the return to work rate turned out to be significantly increased for the intervention group. The interactive home-based exercise training seems to be an appropriate form of healthcare provision that does not depend on specific locations or appointment allocations and seems to be suitable and feasible for employed persons. Therefore, this interactive home-based aftercare program should be offered as an optional health care service that can consider patients' individual needs. Regarding an increasing shortage in physiotherapists and an additional supply gap in rural areas, the implementation of telerehabilitation may offer an innovative and needs-oriented approach.

Abkürzungsverzeichnis

5STS	Five Times Sit-to-Stand Test
6MWT	Six-minute walk test
BMI	Body-Mass-Index
DRKS	Deutsches Register klinischer Studien
DRV	Deutsche Rentenversicherung
HDMI	High Definition Multimedia Interface
IG	Interventionsgruppe
IRENA	Intensivierte Rehabilitationsnachsorge
KG	Kontrollgruppe
KSK	Körperlicher Summenscore
MET	Metabolisches Äquivalent
MW	Mittelwert
n	Anzahl
n.s.	nicht signifikant
PSK	Psychischer Summenscore
SAT	Stair Ascend Test
SD	Standard Deviation
SF-36	Short-Form 36
TEP	Totalendoprothese
TUG	Timed Up and Go Test
TUQ	Telerehabilitation Usability Questionnaire
WHO	World Health Organization
WOMAC	Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stadien der Gonarthrose	2
Abbildung 2: Inanspruchnahme von endoprothetischen Hüft- und Knieersteingriffen.....	5
Abbildung 3: Studiendesign	17
Abbildung 4: Bewegungsfeedback des telemedizinischen Assistenzsystems	19
Abbildung 5: Übungskatalog der telemedizinisch assistierten Trainingsintervention.....	21
Abbildung 6: Einschlussprozess der Patienten.....	36
Abbildung 7: Herkunft der Studienteilnehmer.....	39
Abbildung 8: Veränderung des 6MWT während der Rehabilitation	40
Abbildung 9: Veränderung des 6MWT während der Intervention	40
Abbildung 10: prozentuale Verbesserung im 6MWT während der Intervention.....	41
Abbildung 11: berufliche Wiedereingliederung zum Ende der Intervention	41
Abbildung 12: prozentuale Verbesserung der funktionellen Mobilität im Verlauf der Intervention	43
Abbildung 13: prozentuale Veränderung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität	44
Abbildung 14: prozentuale Veränderung der gelenkbezogenen Beschwerden.....	45
Abbildung 15: Teilnehmerate an Angeboten der postrehabilitativen Versorgung	46
Abbildung 16: Teilnehmerate an der Tele-Nachsorge im Verlauf der Interventionsphase	47
Abbildung 17: wöchentliche Trainingsdauer im Verlauf der Interventionsphase	48
Abbildung 18: Kommunikationsverhalten der Therapeuten und der Patienten über das System.....	49
Abbildung 19: Technikakzeptanz der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie	50
Abbildung 20: Gesamtdauer der postrehabilitativen Nachsorgemaßnahmen	51
Abbildung 21: MET-minutes der eigenständig durchgeführten körperlichen Aktivität	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorauswahl der potentiellen Confounder der multivariaten Analyse	33
Tabelle 2: Patientencharakteristika	38
Tabelle 3: Ergebnisse der funktionellen Mobilität, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der gelenkbezogenen Beschwerden	42

1 Einleitung

Mit der Implantation von jährlich über 400.000 künstlichen Knie- und Hüftgelenken gehört der Gelenkersatz an den unteren Extremitäten zu den in Deutschland am häufigsten durchgeführten operativen Eingriffen. Die Indikation beruht zumeist auf der arthrotischen Degeneration der Gelenkflächen, die häufig mit deutlichen funktionellen Einschränkungen und Schmerzen sowie einer Minderung der Lebensqualität der Betroffenen einhergeht. Der Einsatz einer Endoprothese kann die Beschwerden und die Funktion der Betroffenen deutlich mindern [1,2].

Wesentliche Risikofaktoren der Arthrose sind ein höheres Alter und Übergewicht [3]. Der progrediente Verlauf der Erkrankung bedingt eine hohe Inanspruchnahme von Versorgungsleistungen, die von der Diagnosestellung über konservative wie auch operative Therapieverfahren bis hin zur rehabilitativen Nachsorge reichen. Aufgrund des demografischen Wandels und einer steigenden Adipositas-Prävalenz kann zukünftig von einem deutlichen Anstieg der endoprothetischen Eingriffe am Knie- und Hüftgelenk ausgegangen werden [4–6].

1.1 Ursache der Gon- und Koxarthrose

Der Einsatz einer Totalendoprothese beschreibt das Verfahren des operativen Ersatzes aller beteiligten Gelenkflächen. Hierbei sind das Knie- und Hüftgelenk am häufigsten von einem künstlichen Gelenkersatz betroffen [7–9].

Neben einem höherem Alter und Adipositas sind auch das weibliche Geschlecht, genetische Faktoren und Gelenkfehlstellungen und -verletzungen wesentliche Risikofaktoren der Arthrose [10–14]. Auch hormonelle und chronisch-entzündliche Prozesse, Osteoporose, kardiovaskuläre und stoffwechselbedingte Erkrankungen können einen negativen Einfluss auf den Stoffwechsel des Knorpels haben [1,12,15–20]. Die Ursachen einer arthrotischen Degeneration sind häufig nur multikausal zu erklären [9]. Die Arthrose geht mit einer Häufung an Komorbiditäten einher [21].

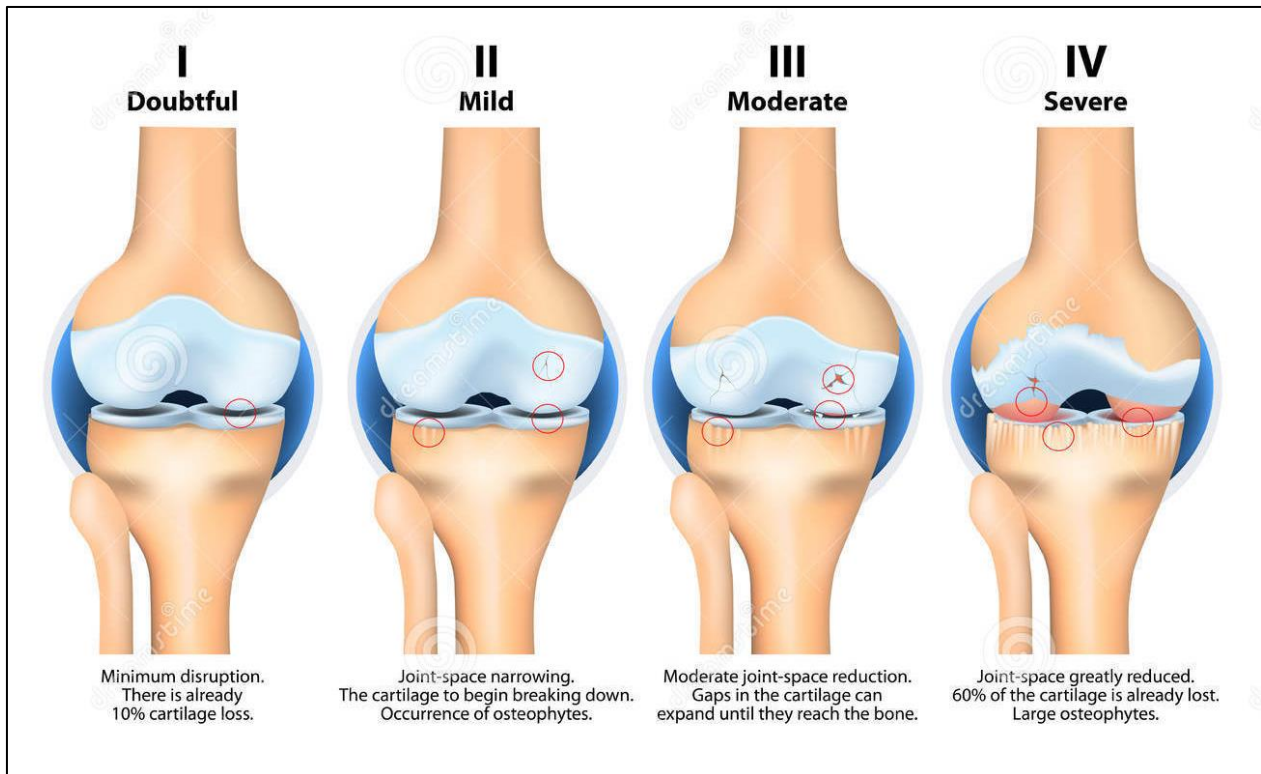


Abbildung 1: Stadien der Gonarthrose (nach Kohn et al. 2016 [22])

Zur Gewährleistung der Dämpfungseigenschaften des Knorpels muss sich das Gewebe fortlaufend erneuern. Bei der Arthrose überwiegen jedoch katabole Prozesse im Knorpelstoffwechsel des betroffenen Gelenkes. Im Rahmen der Degeneration kommt es zur Neubildung von weniger widerstandsfähigem Knorpel mit vermehrter Wassereinlagerung, der eine geringere Belastbarkeit aufweist [10]. Die Arthrose ist eine Erkrankung mit fortschreitendem Prozesscharakter, deren Schwere in vier Stadien aufgeteilt wird (Abbildung 1) [22]. Im Verlauf der Erkrankung kommt es zu einer Verschmälerung des Gelenkspaltes, zu einer erhöhten Kalksalzeinlagerung im Knorpelgewebe und zur Bildung von Osteophyten. Im schwersten Stadium kann das Knorpelgewebe partiell vollständig zerstört sein, sodass die dadurch freiliegende Knochensubstanz mit einer reaktiven Deformierung und einer Verdickung des Gelenkes reagiert [23,24].

Das Hauptsymptom der Arthrose ist der Schmerz des betroffenen Gelenkes, der mit einer fortschreitenden Bewegungseinschränkung einhergeht. Zunächst leiden die Betroffenen unter belastungsabhängigen Schmerzen. Im weiteren Verlauf kommt es zu Schmerzen bei der Bewegungsinitiierung und später auch zu Ruheschmerz und nächtlichem Schmerz [23,24]. Zudem leiden die Patienten in dem betroffenen Gelenk an einer Gelenksteifheit und einer Einschränkung

ihrer Mobilität. Auch die Aktivitäten des täglichen Lebens und die Fortbewegung können deutlich eingeschränkt sein. Durch die symptombedingte Inaktivität der Betroffenen kommt es zu einer Muskelatrophie der gelenksumgebenden Muskulatur sowie auch zu einer allgemeinen Dekonditionierung der körperlichen Leistungsfähigkeit [25–27]. Demgemäß geht eine deutliche Minderung der Lebensqualität mit dem Krankheitsbild einher [28–31].

Bei Hüft-TEP-Patienten erfolgen über 80 % der Ersteingriffe aufgrund einer symptomatischen Koxarthrose. Beim Kniegelenksersatz stellt die Gonarthrose sogar bei 96 % der Patienten die zugrundeliegende Indikation für den Gelenkersatz dar [22].

Ebenso können gelenksnahe Frakturen, Dysplasien, Durchblutungsstörungen des gelenknahen Knochens sowie pathologische Veränderungen der Knochensubstanz aufgrund von Tumoren oder Metastasen weitere Gründe für den Einsatz einer Hüft-TEP- oder Knie-TEP sein [23].

Nach Ausschöpfung der konservativen Therapieverfahren wird die Indikation für den Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP auf Grundlage klinischer und radiologischer Befunde sowie der Beschwerdesymptomatik des Patienten getroffen. Ziel des Eingriffes ist die Wiederherstellung der größtmöglichen Funktionalität und Mobilität sowie die Schmerzreduktion und die Steigerung der Lebensqualität der Patienten [23,32,33].

Die Wahl des Endoprothesentyps sowie des operativen Zugangs erfolgt ebenfalls auf Basis klinischer und radiologischer Befunde. Die Implantate können aus Metall, Keramik oder Kunststoff bestehen und werden im Knochen verankert. Die Verankerung wird zementiert, zementfrei oder mittels einer hybriden Fixation eingebracht. Das Ziel der Implantatwahl sowie der Verankerungsmethode ist die möglichst lange Haltbarkeit der Endoprothese. In den meisten Fällen weist die Endoprothese eine Haltbarkeit von 15 – 20 Jahren auf [7].

Der Behandlungserfolg kann vom Implantatdesign und dem Operationshergang beeinflusst werden [1]. Ferner bedingen auch patientenindividuelle Faktoren wie Alter, Geschlecht, soziodemografische Faktoren und Komorbiditäten (z.B. kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes mellitus, immunologische Erkrankungen) den postoperativen Verlauf [1,9,34–36]. Zudem konnte gezeigt werden, dass psychische Faktoren, wie z.B. Depressivität und Ängstlichkeit den postoperativen Verlauf von Knie- und Hüft-TEP-Patienten negativ beeinflussen [34,37–40].

Die operative Nachbehandlung beinhaltet die Mobilisation des Gelenkes, die Verwendung von Hilfsmitteln, die Prophylaxe einer Thrombose sowie einer pathologischen Verknöcherung und die Planung der Rehabilitation [23,41].

1.2 Häufigkeit endoprothetischer Eingriffe am Knie- und Hüftgelenk

Die Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP wird in zahlreichen Industriestaaten zukünftig wachsende Versorgungskapazitäten in Anspruch nehmen [4,23]. Aus Daten des Institutes für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen geht hervor, dass im Jahr 2016, 253.138 endoprothetische Eingriffe am Hüftgelenk und 183.115 endoprothetische Eingriffe am Kniegelenk durchgeführt wurden [7]. Im internationalen Vergleich weist Deutschland die zweithöchste Rate für Eingriffe der Hüftgelenks-Endoprothetik sowie die vierthöchste Rate für Eingriffe der Kniegelenks-Endoprothetik auf [42]. Die Implantation einer Endoprothese des Hüftgelenks war im Jahr 2015 die am achthäufigsten durchgeführte Operation. Der Einsatz einer Endoprothese am Kniegelenk stand auf dem 26. Platz der häufigsten Operationen in Deutschland [43]. Betrachtet man die häufigsten Hauptdiagnosen in Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen im Jahr 2016, so standen die Diagnosen Gonarthrose und Koxarthrose an erster und zweiter Stelle [8]. Aufgrund der Zunahme der Lebenserwartung und einer steigenden Adipositas-Prävalenz wird zukünftig ein deutlicher Anstieg der Anzahl der endoprothetischen Eingriffe des Hüft- und Kniegelenkes erwartet [4,5].

So lässt sich auch ein deutlicher Anstieg der Inanspruchnahme der Ersteinriffe an der Hüfte oder am Knie mit zunehmenden Alter der Patienten erkennen. Gemäß der Zahlen des statistischen Bundesamtes [43] nimmt die Inzidenz ab dem fünften Lebensjahrzehnt deutlich zu (siehe Abbildung 2) [1]. Im Jahr 2016 waren 38,8 % der Hüft-TEP-Patienten und 49,3 % der Knie-TEP Patienten unter 69 Jahren alt [7]. Die stetige Weiterentwicklung der Endoprothesenmaterialien und der chirurgischen Techniken führen zu einer verbesserten Patientenzufriedenheit und zu einer steigenden Nachfrage auch unter jüngeren Patienten [44]. Weibliche Patienten sind aufgrund der höheren Arthrose-Prävalenz und einer signifikant höheren Lebenserwartung häufiger betroffen [1,45]. Im Jahr 2016 waren 61 % der Hüft-TEP-Patienten und 62 % der Knie-TEP-Patienten weiblich [7].

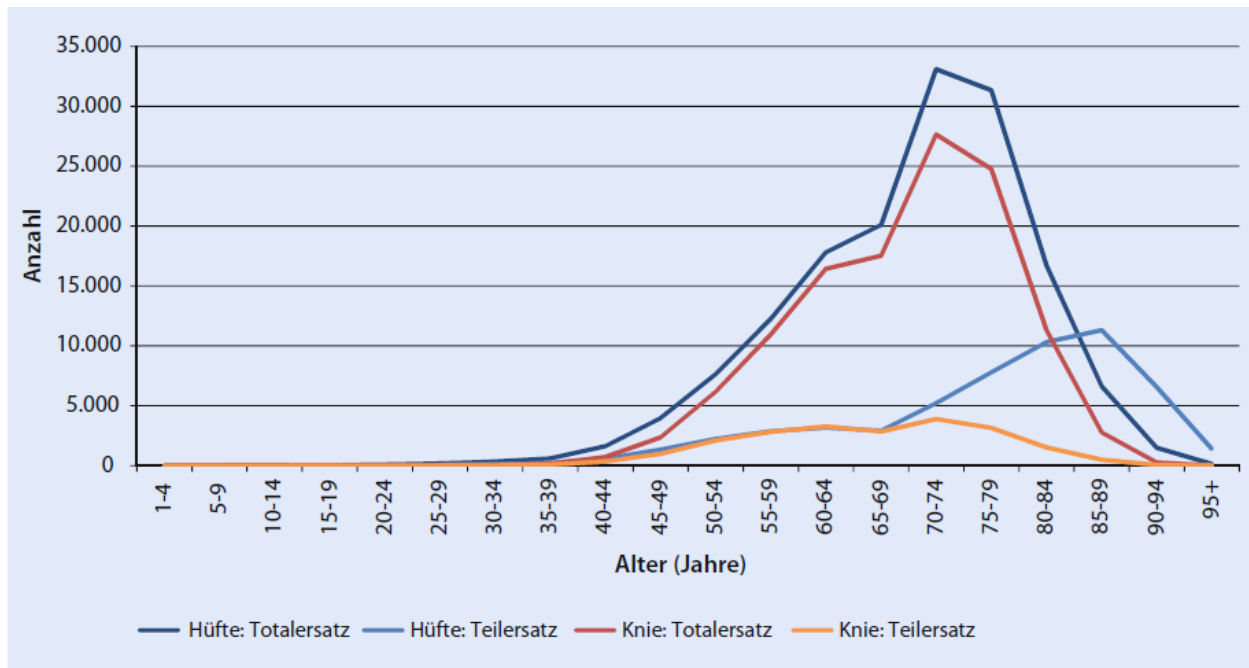


Abbildung 2: Inanspruchnahme (absolute Anzahl) von endoprothetischen Hüft- und Knieersteinriffen differenziert nach Total- und Teilersatz und Altersgruppen (2013) [1,46]

Die ansteigende Fallzahl endoprothetischer Eingriffe bedingt die Notwendigkeit bedarfsgerechter Versorgungsangebote für Hüft- und Knie-TEP-Patienten. Neben Kapazitätssteigerungen im Krankensektor müssen auch genügend Versorgungsangebote für die frühe postoperative Phase im rehabilitativen Sektor sowie auch genügend Rehabilitationsnachsorgeangebote für die späte postoperative Phase zur Verfügung stehen. Die Rehabilitationsnachsorgephase ist wichtig, um auch eine Lebensstiländerung und Verhaltensmodifikation bei den Rehabilitanden nachhaltig entwickeln und verankern zu können [47]. Hinsichtlich der Angebote der Rehabilitationsnachsorge ist allerdings bekannt, dass nur die Hälfte der Patienten die empfohlenen Rehabilitationsnachsorgeleistungen in Anspruch nehmen [48].

1.3 Wirksamkeit der Bewegungstherapie nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP

Der bewegungstherapeutischen Behandlung kommt eine zentrale Bedeutung in der postoperativen sowie postrehabilitativen Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP zu. In der frühen postoperativen Phase kann das operierte Gelenk bei Freigabe durch den Operateur bereits am ersten postoperativen Tag schmerzadaptiert vollbelastet werden [49–51]. Es besteht

Konsens darüber, dass die Bewegungstherapie so früh wie möglich nach dem Eingriff beginnen sollte. Die Empfehlungen tendieren zu einer immer früheren und intensiveren postoperativen Mobilisierung und Kräftigung [52–58]. Bedingt durch die vor dem Eingriff bestehenden Schmerzen und Funktionseinschränkungen weisen die Patienten eine reduzierte maximale Sauerstoffaufnahme [25,59] sowie eine reduzierte Kraftleistungsfähigkeit und eine Muskelatrophie der gelenksumgebenden Muskulatur auf [60–62]. Zudem zeigen die Patienten auch eine verschlechterte sensomotorische Ansteuerung [63,64] und eine reduzierte Beweglichkeit [65]. Durch individuelle auf die Patienten abgestimmte Trainingspläne besitzt die Bewegungstherapie das Potential, Defizite der motorischen Grundfähigkeiten zu verbessern. Eine gekräftigte und sensomotorisch geschulte Muskulatur führt zu einer verbesserten Gelenkstabilität und Gelenkführung, welche eine geringere Belastung des Gelenkes bedingt und damit Entzündungen und Schmerzzustände mindern kann [66,67]. Zudem kann die Bewegungstherapie postoperativen Kontrakturen des Bindegewebes vorbeugen und somit zu einer verbesserten Beweglichkeit führen.

Zahlreiche Untersuchungen konnten bereits die Wirksamkeit der postoperativen Bewegungstherapie belegen. Dabei wird deutlich, dass postoperative bewegungstherapeutische Interventionen zu einer Schmerzreduktion, zur Verbesserung der Beweglichkeit, der Kraftleistungsfähigkeit, der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Lebensqualität führen können [52,54,68–72].

Im klinischen Alltag basieren die Trainingsvorgaben häufig auf klinischen Erfahrungswerten [54,73,74]. Dabei gehen Physio- und Sporttherapeuten häufig von einer geringen Belastbarkeit der Patienten aus, was jedoch im Gegensatz zu aktuellen trainingswissenschaftlichen Erkenntnissen zu steht [54,55,58,75]. Hierbei bevorzugen z.B. erfahrenere Therapeuten geringere Trainingsintensitäten als weniger erfahrene Therapeuten [76]. Wohingegen Bade et al. 2017 gezeigt haben, dass ein intensiviertes postoperatives Krafttraining bei Patienten mit Knie-TEP keine Überlegenheit gegenüber einem geringer dosierten Krafttraining 3 und 12 Monate postoperativ aufwies [77].

Hinsichtlich detaillierter Empfehlungen zur Gestaltung der Trainingstherapie in Bezug auf Inhalte, Intensitäten und die Dauer existieren noch keine einheitlichen Leitlinien [54,71,76,78]. Für die

postoperative Phase wird ein progressives Krafttraining mit gewichtsbelastenden Übungen empfohlen. Als wichtige Elemente der Trainingstherapie werden in der Fachliteratur die Kräftigung der Quadrizepsmuskulatur, die exzentrische Kräftigung der Hüftabduktoren sowie die Kräftigung der Hüftextensoren und Flexoren angegeben [57,79–82]. Als weitere funktionelle Komponenten der Bewegungstherapie werden auch Walking, Ergometertraining, Gangschule, Wassergymnastik und Treppentraining genannt [54,78]. Weiterhin belegen Untersuchungen die Gleichwertigkeit einer individuellen Trainingstherapie gegenüber einer gruppenbasierten Trainingstherapie [83,84]. Ebenso weisen einige Studien darauf hin, dass eine betreute Bewegungstherapie gleichwertig zu einem strukturierten Heimübungsprogramm zu sein scheint [57,85–90].

Gemäß dem hohen Grad der Evidenzbasierung hat die Bewegungstherapie einen hohen Stellenwert in der medizinischen Rehabilitation [91]. Anhand quantitativer Routinedaten haben Brüggemann et al. 2017 die bewegungstherapeutische Versorgung in der medizinischen Rehabilitation der deutschen Rentenversicherung für die Jahre 2007 – 2014 untersucht [92]. Hierbei wird deutlich, dass die Bedeutung der Bewegungstherapie weiter zugenommen hat. Im Jahr 2014 betrug der zeitliche Anteil der bewegungstherapeutischen Leistungen (Sporttherapie, Physiotherapie, Rekreationstherapie) in der orthopädischen Rehabilitation 67,6 % aller therapeutischen Leistungen.

Umehera et al. 2017 konnten im Rahmen einer Metaanalyse feststellen, dass nach dem Einsatz einer Knie-TEP eine 8-wöchige Trainingsphase notwendig ist, um eine Verbesserung der funktionellen Mobilität und der körperlichen Leistungsfähigkeit zu erzielen [93]. Demzufolge scheint es angemessen, die hierzulande herkömmliche postoperative dreiwöchige medizinische Rehabilitation um geeignete postrehabilitative Versorgungsangebote zu erweitern. Um Rehabilitationserfolge langfristig festigen zu können, bedarf es daher evidenzbasierter und flexibler Nachsorgekonzepte.

1.4 Die medizinische Rehabilitation und die postrehabilitative Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP

Nach dem operativen Eingriff ist in Deutschland in der Regel die multidisziplinäre medizinische Rehabilitation ein wesentlicher Bestandteil der Therapieangebots, um eine verbesserte Funktion

des Gelenkes bei Alltagsaktivitäten sowie eine Schmerzreduktion zu erzielen [93]. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten der rehabilitativen Behandlung. Die Patienten können eine Anschlussrehabilitation entweder mit einer Direktverlegung in eine stationäre oder ambulante Rehabilitationseinrichtung in Anspruch nehmen oder die Anschlussrehabilitation nach einer häuslichen Übergangszeit von maximal zwei Wochen verzögert beginnen. Der Großteil aller Patienten nimmt nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP eine Anschlussrehabilitation in Anspruch. Zahlen einer aktuellen Untersuchung zeigen, dass 82,6 % der Hüft-TEP-Patienten und 83,9 % der Knie-TEP-Patienten eine Anschlussrehabilitation durchführen [94]. Im Rahmen der medizinischen Rehabilitation soll vor allem die individuelle Wiederbefähigung der benötigten Aktivitäten des täglichen Lebens der Patienten erreicht werden. Dementsprechend erhalten die Patienten individuelle Therapiepläne unter Einbeziehung von Krankengymnastik (Einzel- und Gruppenbehandlung, Bewegungsbad, Gangschule), medizinischer Trainingstherapie, Endoprothesenschulungen sowie physikalischen Therapien. Bei Bedarf werden auch psychologische und sozialtherapeutische Therapieelemente sowie auch Ernährungsberatungen in den Therapieplan integriert [28,95]. Für Patienten der Deutschen Rentenversicherung gelten einrichtungsübergreifende Behandlungsstandards [91]. Vereinzelt konnten bereits positive Effekte der Anschlussrehabilitation für Patienten nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-Endoprothese in Bezug auf eine Schmerzreduktion, eine verbesserte Gelenkbeweglichkeit und eine verbesserte Mobilität aufzeigen [96–99].

Bei den meisten Patienten besteht jedoch zum Ende der medizinischen Rehabilitation noch Handlungsbedarf in Bezug auf funktionelle Defizite und die damit verbundene berufliche Wiedereingliederungsfähigkeit. Daher ist die Rehabilitationsnachsorge zur Sicherung des Rehabilitationserfolges von großer Bedeutung und stellt eine zentrale Herausforderung der postoperativen Versorgung dar [1,47,96,100]. Eine strukturierte Nachsorge soll positive Effekte der Rehabilitation stabilisieren und individuelle gesundheitsbezogene Verhaltens- und Lebensstiländerungen in den Alltag übertragen. Um die Rehabilitationsziele zu erreichen, ist eine wohnortnahe und berufsbegleitende Fortführung der in der eigentlichen Rehabilitation begonnenen Therapien angezeigt. Ziel ist es insbesondere das Patientenselbstmanagement zu aktivieren [101].

Im Anschluss an die stationäre Rehabilitation gibt es verschiedene herkömmliche Versorgungsangebote der postrehabilitativen Bewegungstherapie. Hierzu zählt die intensivierete Rehabilitationsnachsorge (IRENA), die den Versicherten der Deutschen Rentenversicherung Bund vom Ärzteteam der Rehabilitationsklinik bei noch vorhandenen funktionellen Einschränkungen empfohlen werden kann. Das IRENA-Programm findet berufsbegleitend statt und beinhaltet 24 Termine, die innerhalb eines halben Jahres nach Rehabilitationseende abgeschlossen werden sollen. Die Therapieeinheiten finden in Gruppen statt, dauern je 90 – 120 Minuten und beinhalten vorrangig bewegungstherapeutische Elemente [102]. Der weiterbehandelnde Arzt verschreibt im Anschluss an die Rehabilitation auch häufig für drei bis acht Wochen Physiotherapie oder eine gerätegestützte Krankengymnastik [1]. Zudem kann der behandelnde Arzt dem Patienten auch Rehabilitationssport oder Funktionstraining verordnen. Die Trainingseinheiten finden hier in festen Gruppen für eine Dauer von mindestens 30 Minuten statt und sollen mit Mitteln des Sports die Ausdauer, Kraft, Koordination und die Flexibilität der Patienten verbessern, sowie dem Funktionserhalt dienen. In der Regel werden 50 Übungseinheiten verordnet, die über 18 Monate in Anspruch genommen werden können [103]. Häufig wird auch die Fortführung des in der Rehabilitation erlernten Übungsprogrammes empfohlen.

1.5 Potential der Tele-Nachsorge in der postrehabilitativen Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP

Bei der Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit des operierten Gelenkes, gilt die Bewegungstherapie als eine wirksame Intervention [68]. Um dem zukünftig wachsenden Bedarf an Versorgungsleistungen im Bereich der Bewegungstherapie für Knie- und Hüft-TEP-Patienten gerecht werden zu können, sollten innovative Formen der Versorgung erforscht und auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden.

Die Telerehabilitation ist ein aufstrebender Bereich der Telemedizin, bei dem rehabilitative Versorgungsleistungen unter Nutzung technischer Systeme über bestehende räumliche sowie auch zeitliche Distanzen hinweg angeboten werden können [104].

Geringe Teilnahmeraten an Rehabilitationsnachsorgeangeboten lassen sich vor allem durch die Unvereinbarkeit beruflicher und familiärer Verpflichtungen sowie langer Anfahrtswege zu den

Rehabilitationseinrichtungen erklären. Ferner sind herkömmliche Rehabilitationsnachsorgeangebote teilweise auch nur bedingt für Patienten mit eingeschränkter Mobilität zu erreichen [47,48]. Häufig sind zudem in strukturschwachen Regionen keine entsprechenden Versorgungsangebote verfügbar [105]. Darüber hinaus belegen aktuelle Zahlen eindeutig, dass sich ein Fachkräftemangel in der Physiotherapie in nahezu allen Bundesländern abzeichnet. Gemäß aktueller Angaben der Bundesagentur für Arbeit war im Juni 2018 ein Fachkräftemangel im Land Brandenburg vorhanden, im Land Berlin gab es Anzeichen für Engpässe bei Physiotherapeutinnen und -therapeuten. Gemessen an einer gestiegenen Vakanzzeit, einer reduzierten Arbeitslosen-Stellen-Relation und einer berufsspezifischen reduzierten Arbeitslosenquote (2018: 0,9 %) hat sich die Engpasssituation im Vergleich zur Situation im Jahr 2017 deutlich angespannt [106]. Es kann daher angenommen werden, dass die Versorgungsengpässe physiotherapeutischer Angebote zukünftig auch in Ballungszentren vorhanden sein werden.

Durch den Einsatz der Tele-Nachsorge können zeitlich und räumlich unabhängige Versorgungsangebote mit einem geringeren Personalaufwand geschaffen werden, umso bestehende Versorgungslücken zu schließen. Hierdurch könnte auch eine größere Inanspruchnahme und Adhärenz der Angebote erreicht werden. Dadurch könnten Rehabilitanden von einer gesteigerten Therapiedichte und -dauer profitieren. Es kann daher angenommen werden, dass die Tele-Nachsorge die Nachhaltigkeit des Rehabilitationserfolges optimieren könnte.

Im Vergleich zu gruppentherapeutischen Angeboten können die Trainingspläne individuell an die Bedürfnisse des Patienten angepasst werden. Auch ermöglicht die Weiterbetreuung durch den bereits in der Rehabilitation behandelnden Therapeuten eine kontinuierliche und progressive Trainingsbetreuung im Verlauf des Genesungsprozesses. So können bereits in der Rehabilitation formulierte Ziele alltagsnah weiterverfolgt werden. Auch können durch eine Weiterbetreuung im Rahmen der Tele-Nachsorge Schnittstellen-Probleme wie z.B. der Verlust von therapielevanten Informationen vermieden werden.

Zudem besteht die Möglichkeit quantitative und qualitative Parameter der Trainingstherapie digital zu erfassen, diese strukturiert darzustellen und in die Trainingssteuerung miteinzubeziehen.

Die Möglichkeit einer zeitlich unabhängigen Trainingsdurchführung und Kommunikation kann vor allem auch berufstätigen und familiär stark eingebundenen Patienten die Durchführung einer betreuten postrehabilitativen Bewegungstherapie ermöglichen. Da eine betreute Bewegungstherapie gleichwertig zu einem strukturierten Heimübungsprogramm bei Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP zu sein scheint [57,85–90,107], könnte die Telerehabilitation eine alternative und gleichwertige Versorgungsform zur herkömmlichen face-to-face Bewegungstherapie darstellen.

Seitens der Deutschen Rentenversicherung existiert bereits ein Rahmenkonzept, in dem die Anforderungen an die Tele-Reha-Nachsorge definiert werden. Demnach soll die Tele-Nachsorge nur von dafür zugelassenen Leistungserbringern durchgeführt werden. Die Leistung soll bereits während der medizinischen Rehabilitation vorbereitet werden und an zuvor in der Rehabilitation formulierte Ziele anknüpfen. Dabei soll die Behandlung individuell durch einen qualifizierten Therapeuten gesteuert werden und auf einem evidenzbasierten Behandlungskonzept aufbauen. Die genutzten Systeme müssen eine integrierte Informations- und Kommunikationsstruktur enthalten und bestehende Regelungen zum Datenschutz gewährleisten. Die Tele-Nachsorge wird jedoch als komplementäre Versorgungsform angesehen, die das Spektrum der Nachsorgeleistungen lediglich ergänzen kann. Die herkömmliche face-to-face Nachsorge hat grundsätzlich einen Vorrang gegenüber der Tele-Nachsorge [108].

Die Tele-Nachsorge scheint das Potential zu besitzen, die postrehabilitative Versorgung für Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP zu ergänzen und zu optimieren. Bevor solche Versorgungsformen jedoch in der Regelversorgung Anwendung finden können, sollten wissenschaftliche Wirksamkeitsanalysen einer solchen Therapieform durchgeführt und evaluiert werden.

1.6 Bisheriger Forschungsstand zur Wirksamkeit der Telerehabilitation nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP

Aus der aktuellen Literatur geht immer deutlicher hervor, dass die Telerehabilitation bei verschiedensten orthopädischen Erkrankungen wirksam sein kann [109–112]. In einem aktuellen

Review geben Pastora-Bernal et al. 2017 einen moderat bis starken Evidenzgrad für die Wirksamkeit telemedizinischer Interventionen nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP an. Ebenso kommen Shukla et al. 2016 in einem weiteren aktuellen Review zu dem Schluss, dass die Telerehabilitation für Knie-TEP-Patienten eine geeignete alternative Versorgungsform zur herkömmlichen face-to-face Therapie darstellt [110]. Agostini et al. 2015 ermitteln in ihrer Metaanalyse einen positiven Effekt der orthopädischen Telerehabilitation nach chirurgischen Eingriffen [111]. Die Autoren gehen davon aus, dass die Telerehabilitation die Intensität der Versorgung steigern kann. In einem Review zum Effekt von perioperativen eHealth Interventionen geben van der Meij et al. 2016 für 92,6 % der eingeschlossenen Studien eine Nichtunterlegenheit oder eine Überlegenheit gegenüber der herkömmlichen Versorgung an [112].

Vor allem für die Telerehabilitation nach Knie-TEP existieren bereits vier randomisiert, kontrollierte Studien, in denen eine Gleichwertigkeit [113–115] bzw. eine Nichtunterlegenheit [116] einer im häuslichen Umfeld durchgeführten Telerehabilitation gegenüber herkömmlichen Versorgungsformen in Bezug auf die gelenkbezogenen Beschwerden, die Beweglichkeit und die funktionelle Mobilität belegt werden konnte.

Auch zwei weitere Studienprotokolle zu laufenden randomisiert, kontrollierten Untersuchungen zu telemedizinischen Anwendungen für Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP belegen das aktuell rege Forschungsinteresse an dieser Versorgungsform. Harmelink et al. 2017 untersuchen hierbei die Wirksamkeit einer additiven Telerehabitationskomponente zu einem herkömmlichen Heimübungsprogramm bei Patienten nach Knie-TEP [117]. Nelson et al. 2017 vergleichen die Wirksamkeit einer telemedizinisch assistierten Trainingsintervention mit der herkömmlichen Versorgungsform (Heimübungsprogramm und Physiotherapie) für Patienten nach Hüft-TEP [118]. Demnach wird auch deutlich, dass bisher kaum Forschungsergebnisse zur Telerehabilitation nach Hüft-TEP vorliegen [119,120]

Die bisher untersuchten Telerehabilitationssysteme unterscheiden sich häufig in Bezug auf ihre Kommunikationsstrukturen und ihre Feedbackmöglichkeiten. So untersuchten Moffet et al. 2015 und Tousignant et al. 2011 synchrone Telerehabitationsanwendungen, bei denen der Physiotherapeut und der Patient in Echtzeit über eine Videokonferenz kommunizierten [115,116]. Wohingegen Bini et al. 2016 und Piqueras et al. 2013 Systeme untersuchten, bei denen die

Kommunikation zwischen Therapeut und Patient zeitversetzt stattfand [113,114]. Piqueras et al. 2013 nutzten zudem ein System mit einem sensorbasierten, kinematischen Feedback zur Bewegungsausführung [114]. Es ist bekannt, dass die Hinzunahme von externem Feedback zu einer verbesserten Bewegungsausführung beitragen kann [121]. In Bezug auf kinematische Feedbacksysteme existieren erste Untersuchungen zur dreidimensionalen Haltungs- und Bewegungsanalyse mittels eines Kinectsensors. Hierfür konnte in zwei Studien eine akzeptable Reliabilität und Validität einer kinectbasierten Bewegungsanalyse im Vergleich zu anderen markerbasierten kinematischen Messsystemen aufgezeigt werden [122,123]. Beide Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Kinect ein geeignetes Instrument der Bewegungsanalyse im klinischen Anwendungsfeld sein kann.

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der untersuchten Telerehabilitationssysteme sollten Wirksamkeitsprüfungen zur Telerehabilitation jedoch systemspezifisch durchgeführt werden. Weiterhin unterscheiden sich auch die nationalen Versorgungsangebote der postoperativen Bewegungstherapien zum Teil erheblich in ihren Umfängen, Inhalten und zeitlichen Strukturen. Daher kann die bestehende Evidenz aus internationalen Studien nur begrenzt auf die deutschen Versorgungsstrukturen übertragen werden. Bisher existieren für das deutsche Versorgungssystem keine Wirksamkeitsuntersuchungen zur Tele-Nachsorge in der ambulanten Rehabilitationsnachsorgephase für Patienten nach endoprothetischem Eingriff an der unteren Extremität.

Neben Untersuchungen der klinischen Wirksamkeit der Telerehabilitation, existieren auch Forschungsergebnisse zur Nutzerzufriedenheit der Telerehabilitation. Moffet et al. 2016 konnten in ihrer randomisiert, kontrollierten Studie die Nutzerzufriedenheit von Knie-TEP-Patienten einer telemedizinischen Bewegungstherapie gegenüber der herkömmlichen face-to-face Bewegungstherapie mittels des validierten „Health Care Satisfaction Questionnaire“ evaluieren [122]. Dabei zeigten sich in beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede in der Zufriedenheit mit der erhaltenen Bewegungstherapie.

Die hier betrachteten Forschungsergebnisse der bisher entwickelten Assistenzsysteme weisen auf eine Gleichwertigkeit sowie auch auf eine Machbarkeit und Akzeptanz telemedizinischer Trainingsinterventionen für Patienten mit Knie-TEP hin. Im deutschsprachigen Raum existieren

jedoch bisher keine Untersuchungen zur Entwicklung und Wirksamkeit einer telemedizinisch assistierten Trainingstherapie in der postrehabilitativen Phase nach endoprothetischem Eingriff am Knie- oder Hüftgelenk. Zudem existieren auch in der internationalen Fachliteratur nur ungenügende Nachweise zur Wirksamkeit der postoperativen Telerehabilitation nach Hüft-TEP. Auch hinsichtlich der Adhärenz und einer gesteigerten Therapiedichte einer solchen Versorgungsform besteht noch Forschungsbedarf.

1.7 Fragestellung und Hypothese

Das Ziel der Untersuchung ist die Entwicklung einer telemedizinisch assistierten und in der häuslichen Umgebung durchführbaren Bewegungstherapie für die postrehabilitative Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft-TEP. Anschließend soll diese Bewegungstherapie in einer randomisiert kontrollierten Wirksamkeitsüberprüfung gegenüber der herkömmlichen Versorgung verglichen werden.

Hypothese

Als primärer Endpunkt gilt die Differenz der Verbesserung der zurückgelegten Wegstrecke im 6MWT zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe. Es wird angenommen, dass die Differenz zum Ende der Intervention in der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant verbessert ist. Als sekundäre Endpunkte werden auch die Veränderungen der Return to Work Rate, der Lebensqualität (SF-36), der Beschwerdesymptomatik (WOMAC) und der funktionellen Mobilität (SAT, 5STS, TUG) überprüft. Auch für diese Endpunkte wird eine Überlegenheit der Interventionsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe angenommen.

2 Methode

2.1 Studiendesign

In einer prospektiven, multizentrischen, nicht verblindeten, randomisiert, kontrollierten Interventionsstudie wurden in der Median Klinik Hoppegarten, in der Brandenburg Klinik Bernau und im Reha-Zentrum Lübben Patienten zu Beginn ihrer stationären orthopädischen Rehabilitation gemäß der folgenden Kriterien gescreent:

Einschlusskriterien

- Implantation von Knie- oder Hüft-TEP nach idiopathischer/posttraumatischer/ kongenitaler Arthrose
- Kostenträgerschaft DRV Bund/Berlin-Brandenburg
- Alter 18 - 65 Jahre

Im Falle des Vorliegens folgender Ausschlusskriterien konnten die Patienten nicht in die Studie eingeschlossen werden:

Ärztlich begutachtete Ausschlusskriterien:

- Keine funktionelle Gangsicherheit mit Vollbelastung am Ende der stationären Rehabilitation zur Durchführung der:
 - Trainingsübungen mit adäquater Belastungssteigerung
 - studienbasierten Assessments an der Universität Potsdam
- Keine ausreichende Kenntnis der deutschen Sprache in Wort und Schrift

Technische Ausschlusskriterien:

- Kein HDMI-fähiges Fernsehgerät verfügbar
- Weniger als 2,5 m Platz vor dem Bildschirm vorhanden
- Keine Internetverbindung

Nach einem Aufklärungsgespräch durch einen Arzt sowie einem Tag Bedenkzeit wurden die Patienten bei Vorliegen einer schriftlichen Einverständniserklärung in die Studie eingeschlossen. Auf Grundlage einer zuvor vom Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie Hamburg Eppendorf erstellten Randomisierungsliste wurden die Teilnehmer der Interventionsgruppe oder der Kontrollgruppe zugeteilt (siehe Abbildung 3). Hierfür wurde eine Blockrandomisierung mit einem 1:1 Verhältnis angewandt. Die Zuteilung der Randomisierung erfolgte zentral gesteuert an der Universität Potsdam. Aufgrund des Studiendesigns war eine Verblindung der Patienten nicht möglich.

Das Studienprotokoll wurde gemäß der ethischen Anforderung der aktuellen Version der Deklaration von Helsinki (Revision 2013) erstellt und konnte im September 2017 im peer reviewed Journal „Trials“ veröffentlicht werden [124]. Die Ethikkommission der Universität Potsdam erteilte ein positives Ethikvotum (Nr. 15/2016) zur Durchführung der Studie. Zudem wurde die Studie beim Deutschen Register Klinischer Studien (DRKS), welches als WHO-Register anerkannt ist, registriert und geprüft (Studiennummer DRKS00010009).

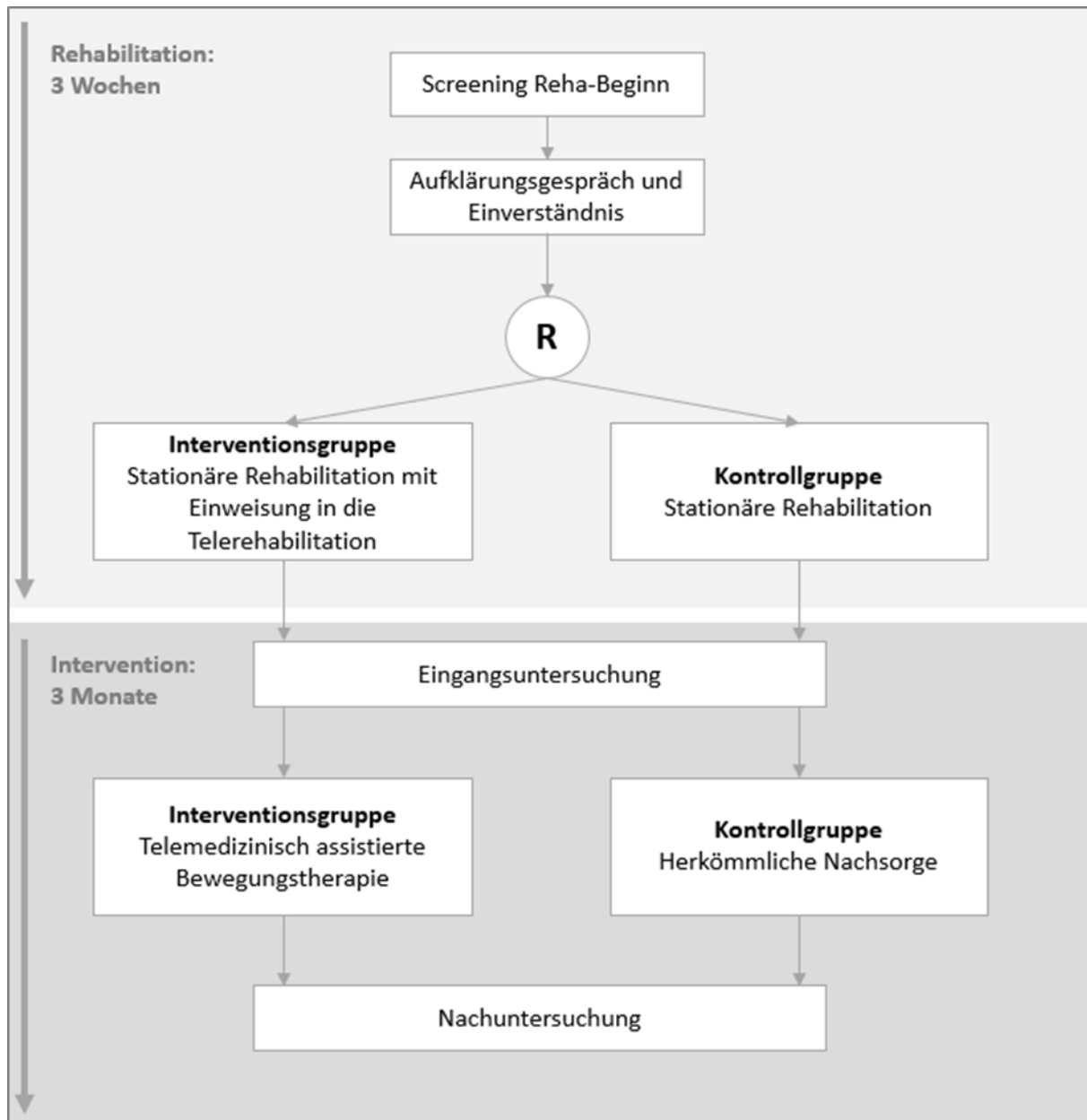


Abbildung 3: Studiendesign

Alle Patienten absolvierten eine drei- bis vierwöchige stationäre orthopädische Rehabilitation in einem der drei teilnehmenden Rehabilitationszentren. Die Rehabilitation begann in einem postoperativen Zeitfenster von circa zwei bis drei Wochen. Die Patienten der Interventionsgruppe erhielten zusätzlich zwei einstündige Schulungstermine zum Umgang mit der Tele-Nachsorge durch einen Physiotherapeuten. Im Anschluss an die stationäre Rehabilitation fand die Eingangsuntersuchung in einem Zeitfenster von ca. 14 Tagen an der Universität Potsdam statt.

Nach der 3-monatigen Interventionsphase folgte die Nachuntersuchung. Zur Sicherung der Adhärenz erhielten die Patienten eine Woche vor der Nachuntersuchung einen Anruf zur Erinnerung an den Untersuchungstermin.

2.2 Kontrolle

Die Patienten der Kontrollgruppe konnten freiwillig an den Angeboten der herkömmlichen Nachsorge teilnehmen. Hierzu zählten das IRENA Programm (intensivierte Rehabilitationsnachsorge) und Physiotherapie.

2.3 Intervention

Die Interventionsgruppe führte selbständig eine auf dem System MeineReha® basierende telemedizinisch assistierte Trainingstherapie in der häuslichen Umgebung durch. Die Patienten bekamen das System zur Eingangsuntersuchung von der Universität Potsdam ausgehändigt. Der betreuende Trainingstherapeut erstellte hierfür einen individuellen Trainingsplan, für den er geeignete Übungen aus einem Übungskatalog mit 38 Übungen zur Kräftigung der Muskulatur der unteren Extremität sowie zur Verbesserung der posturalen Kontrolle auswählte. Die Trainingsintensität regulierte der Trainingstherapeut über die Auswahl der Übungen, die Anzahl der durchzuführenden Sätze und Wiederholungen sowie die Dauer der Pausen. Der Patient war angehalten, das Training dreimal pro Woche durchzuführen. Jederzeit konnten Therapeut und Patient über Textnachrichten und Sprachnachrichten kommunizieren. Zudem war es möglich Videokonferenzen durchzuführen.

Während des Trainings wurden dem Trainierenden die ausgewählten Übungen auf dem Bildschirm von einem Avatar visualisiert. Der Patient führte die Übung zeitgleich aus und wurde dabei von einem Kinectsensor erfasst. Dabei glich das System das Bewegungsmuster des Patienten mit einer vorgegebenen Sollbewegung ab und übermittelte dem Trainierenden ein visuelles Echtzeitfeedback zur Bewegungsausführung. Hierbei wurden relevante Körpersegmente bei korrekten Bewegungen grün eingefärbt und bei fehlerhaften Ausführungen rot dargestellt (siehe Abbildung 4). Zudem wurden laterale Auslenkungen der Knieachse mit gelben Korrekturpfeilen

angezeigt. Im Anschluss an jede Übung zeigte das System eine Note zur Bewertung der Bewegungsqualität. Der zugrundeliegende Algorithmus der Notenvergabe berücksichtigte hierfür die Synchronität, die Übereinstimmung mit der Sollbewegung sowie die Anzahl der durchgeführten Wiederholungen. Zur Trainingssteuerung bekam der Therapeut Einsicht in die Häufigkeit des durchgeführten Trainings sowie in die Bewertung der durchgeführten Übungen.



Abbildung 4: Bewegungsfeedback des telemedizinischen Assistenzsystems

2.4 Entwicklung der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie

Für die Entwicklung der telemedizinisch assistierten Trainingsintervention wurde zunächst eine auf der Meta-Datenbank PubMed basierende Literaturrecherche durchgeführt [57,68,71,78–82]. Hieraus wurden für die Patientenpopulation geeignete Übungen ermittelt. Sportwissenschaftler und Physiotherapeuten definierten gemeinsam weitere Übungsmodifikationen, um eine möglichst große Variationsbreite der verfügbaren Übungen gewährleisten zu können. Alle ausgewählten 38 Übungen (siehe Abbildung 5) wurden in einem Übungskatalog zusammengefasst. Hierbei handelt es sich um Übungen, die vorwiegend auf die funktionelle Kräftigung der Muskulatur der unteren

Extremität und auch der Rumpfmuskulatur sowie auf die Verbesserung der posturalen Kontrolle abzielen. Ein Schwerpunkt der Übungsauswahl liegt in der Kräftigung der Quadrizepsmuskulatur, der Hüftabduktionsmuskulatur sowie der Hüftflexoren und –extensoren und in der funktionellen und achsengerechten Ansteuerung der Muskulatur der unteren Extremität [57,79–82]. Die Übungen werden im Sitzen, Stehen und Liegen durchgeführt. Die Übungen im Sitzen (Kniestreckungen mit Variationen) trainieren vor allem die Quadrizepsmuskulatur und eignen sich für Patienten mit einer geringen Belastbarkeit. Übungen bei denen der Patient von einem Stuhl aufstehen muss, trainieren primär die gesamte Muskulatur der unteren Extremität und fordern das Gleichgewicht. Alle stehenden Übungsvariationen (Kniebeugen, Einbeinstände, Ballenstände, Ausfallschritte) zielen ebenfalls primär auf die funktionelle Kräftigung der unteren Extremität sowie auch verstärkt auf eine Verbesserung der posturalen Kontrolle des Patienten ab. Um zudem eine Kräftigung der Rumpfmuskulatur und der Hüftabduktionsmuskulatur fokussieren zu können, kann der Therapeut Übungsvariationen auf der Matte auswählen (Variationen des Bridgings, Abduktionsübungen des Beins, Stützvariationen).



Abbildung 5: Übungskatalog der telemedizinisch assistierten Trainingsintervention

Durch die Auswahl geeigneter Übungen sowie entsprechender Belastungsparameter kann der betreuende Physiotherapeut die Trainingsbelastung mit einer steigenden Intensität gestalten. In Konsensentscheidungen wurden die verbalen Anweisungen zur Übungsausführung definiert und dem Übungskatalog hinzugefügt. Die Übungsanleitungen wurden auch in visueller und auditiver Form für die Ausgabe über das System aufbereitet. Hierdurch soll eine präzise Übungsausführung der Trainierenden optimiert werden. Alle ausgewählten Übungen wurden von den projektbeteiligten Softwareentwicklern in das System integriert. Die Bewegungserkennung erfolgt über einen Kinectsensor (Microsoft Kinect V2), der mittels eines integrierten Tiefen-, Beschleunigungs- und Kamerasensors eine dreidimensionale Bewegungsanalyse ermöglicht. Zur Erfassung der

menschlichen Bewegung nutzt die Kinect ein Skelettmodell mit 25 Gelenkpunkten, welches in Echtzeit die durchgeführte Bewegung des Trainierenden erfassen kann [125]. Für jede Übung wurde dann eine definierte Sollbewegung im System programmiert. Die digitalisierte Sollbewegung basiert auf einer Videoaufzeichnung, bei der ein Physiotherapeut die jeweilige Übung korrekt ausführte. Zur Programmierung des Echtzeitfeedbacks wurden Fehlerbilder für die jeweiligen Übungen definiert. Dabei wurde in Konsensentscheidungen der beteiligten Sportwissenschaftler und Physiotherapeuten das Ausmaß der Abweichung von der Sollbewegung bestimmt, bei dem das System dem Trainierenden einen Fehler in der Bewegungsausführung melden soll. Durch eine intensive Zusammenarbeit zwischen Softwareentwicklern und Trainingswissenschaftlern wurde die Funktionsfähigkeit des Bewegungsfeedbacks durch kontinuierliche Testläufe kontrolliert und adaptiert.

In einer im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Studie konnte gezeigt werden, dass die subjektive Beurteilung einer Kniebeuge durch einen Physiotherapeuten der objektiven Erfassung der Bewegungsqualität mittels einer 3D-Bewegungsanalyse entspricht [126].

Zudem wurde auch die Validität und die Reliabilität der Bewegungsanalyse über die Kinect für die untere Extremität untersucht. In einem Vergleich zur markerbasierten 3D Video-Kinematik, dem Goldstandard der kinematischen Bewegungsanalyse, zeigte sich für Übungen der unteren Extremität (Kniebeuge, Hüftabduktion, Ausfallschritt) mit großen Bewegungsamplituden eine akzeptable Reliabilität und Validität der Bewegungserkennung. Aufgrund einer noch unzureichenden Messgenauigkeit in der Bewegungserkennung der Hüft- und Kniebeugung sowie der Hüftabduktion und -adduktion sollte das System jedoch nicht in der frühen postoperativen Phase für Patienten mit Knie- oder Hüft-Totalendoprothese eingesetzt werden. Die hierzu erstellte Publikation wurde im Journal „Gait and Posture“ angenommen [127].

Um die Physiotherapeuten mit dem MeineReha® System und der studienbasierten Trainingsintervention vertraut zu machen, wurden Schulungsunterlagen zum Umgang mit dem System entwickelt. Außerdem wurde den Physiotherapeuten ein Leitfaden für die Durchführung der Patientenschulungen zur telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie vermittelt. Hierzu fanden mehrtägige Train-the-Trainer Seminare in allen drei Rehabilitationskliniken vor

Studienbeginn statt, in denen die betreuenden Physiotherapeuten zum Umgang mit dem System sowie zur Steuerung und Betreuung der Trainingsintervention geschult wurden.

Darüber hinaus konnten auch die Patienten der Interventionsgruppe freiwillig an den Angeboten der herkömmlichen Nachsorge wie z.B. dem IRENA Programm und der Physiotherapie teilnehmen.

2.5 Datenerhebung

Die Eingangsuntersuchung und die Nachuntersuchung fanden an der Universität Potsdam statt. Zu beiden Messterminen wurde der 6MWT zur Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit durchgeführt sowie Assessments zur Bestimmung der funktionellen Mobilität [Stair Ascend Test (SAT), Five Times Sit-to-Stand Test (5TST), Timed Up and Go Test (TUG)] durchgeführt. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität wurde mittels des Short-Form 36 Fragebogens (SF-36) und die gelenkbezogenen Einschränkungen wurden mit dem Western Ontario McMaster Universities Arthritis Index (WOMAC) erhoben.

Weiterhin wurden soziodemografische Daten (z.B. Geschlecht, Alter, Bildung, Arbeitsunfähigkeit) und anthropometrische Daten (Größe, Gewicht) erfasst. Zur Nachuntersuchung wurden eventuell aufgetretene unerwünschte Ereignisse erfasst (Wundinfektionen, Prothesenlockerungen, Luxationen, Frakturen, Sehnenverletzungen, Streckhemmungen). Bereits während der Rehabilitation wurden Daten zum endoprothetischen Eingriff, zu bestehenden Komorbiditäten und zur Schmerzmedikation erhoben.

Zur Gewährleistung einer einheitlichen Datenerhebung wurde vor Beginn der Studie ein Dokument erstellt, in dem alle Schritte der Datenerhebung schrittweise beschrieben sind. Hierzu wurden alle mit der Datenerhebung betrauten Mitarbeiter vor dem Studienbeginn geschult.

In Abstimmung mit der Deutschen Rentenversicherung Berlin-Brandenburg wurde ein ausführliches Datenschutzkonzept erstellt. Dementsprechend wurden alle Patientendaten mittels einer Studien-ID pseudonymisiert und per paper-pencil Verfahren erhoben. Die in den Rehabilitationskliniken aufgenommenen Daten wurden durch das Klinikpersonal erfasst und an das Studienbüro der Universität Potsdam gefaxt. Die mit der Studien-ID versehenen

pseudonymisierten Prüfbögen und Trainingstagebücher werden im Original für die Laufzeit der Untersuchung im Studienbüro der Universität Potsdam aufbewahrt. Die Einverständniserklärungen wurden per Fax aus den Kliniken an das Studienbüro der UP versandt und getrennt von den Prüfbögen, verschlossen aufbewahrt. Die Originale der Einwilligungserklärungen wurden verschlossen in den Kliniken verwahrt.

Ein nicht an den Messungen beteiligter Mitarbeiter der Universität Potsdam war für die Eingabe der Daten verantwortlich. Die Eingabedatei enthielt programmierte Plausibilitätsüberprüfungen sowie programmierte Formeln zur Errechnung der Gesamtscores der Fragebögen. Zudem wurde die Dateneingabe durch einen weiteren Mitarbeiter überprüft.

2.6 Erhebungsinstrumente

2.6.1 6-Minuten Gehstest

Der 6-Minuten Gehstest ist ein funktionelles Assessment zur objektiven Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Im Test wird die Strecke gemessen, die der Patient in einer Zeit von sechs Minuten, gehend zurücklegen kann. Eine längere Distanz indiziert eine bessere körperliche Leistungsfähigkeit. Die Ausführung des Testes wird gemäß der Leitlinien der American Thoracic Society standardisiert vorgegeben [128]. Zur Testdurchführung wird eine Gehstrecke von 30 m mit zwei Wendemarken am Streckenende markiert, deren Streckenabschnitte alle 3 Meter gekennzeichnet sind. Gemäß der Leitlinie kann der Untersucher dem Patienten folgende Hinweise geben: „Sie machen es gut, es dauert noch (...) Minuten.“ sowie „Machen Sie weiter so, Sie haben die Hälfte geschafft“. Bei Bedarf dürfen die Patienten Gehhilfen nutzen, anhalten oder Pausen einlegen. Sofern Symptome wie Brustschmerzen, Atemnot, Beinkrämpfe, Stolpern oder ein bleiches Erscheinungsbild auftreten, muss der Test vom Untersucher abgebrochen werden.

Ursprünglich wurde der Test hauptsächlich in der Pneumologie und Kardiologie angewendet [129]. Mittlerweile findet der Test jedoch auch bei Knie- und Hüft-TEP-Patienten Anwendung [130,131], da er eine objektive Einschätzung der alltagsrelevanten Mobilität des Patienten abbilden kann. Zudem korrelieren die Ergebnisse des 6MWT auch mit deutlich längeren Gehstrecken von bis zu 30 Minuten [130]. Die Osteoarthritis Research Society empfiehlt den Einsatz des Tests für

Patienten mit Arthrose des Hüft- oder Kniegelenkes sowie nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP [132]. In dieser Patientenpopulation weist der 6MWT eine gute Reliabilität sowie Validität auf [131,133–135]. Die kleinste messbare Veränderung im 6MWT wurde anhand einer Population von 150 Knie- und Hüft-TEP-Patienten für die frühe postoperative Phase mit 61 m angegeben [134]. Ähnlich hierzu geben Naylor et al. 2016 eine Verbesserung von 55 m im 6MWT als kleinste messbare Veränderung bei Knie-TEP-Patienten nach 6 Monaten an [136].

Normwerte für den 6MWT lassen sich bei Salbach et al., 2005 finden [137]. Die Autoren geben in der Altersgruppe der 50-60-Jährigen einen mittleren Normwert von 578 m für Männer und einen mittleren Normwert von 534 m für Frauen an.

Vergleichbare klinische Populationen erzielten in der frühen postoperativen Phase (1-3 Monate) Werte von 374 - 493 m im 6MWT [77,134,138] Für die postoperative Phase nach 5-6 Monaten geben die Autoren Werte von 468 - 520 m an [138–140].

2.6.2 Berufliche Wiedereingliederung

Die berufliche Wiedereingliederung wurde zum Termin der Nachuntersuchung in einer dichotomen Variable (ja/nein) erfragt. Im Falle einer beruflichen Wiedereingliederung wurde zudem das Datum der beruflichen Wiedereingliederung erfragt.

2.6.3 Funktionelle Mobilität

Der Stair Ascend Test (SAT) ist ein häufig angewendetes Messinstrument zur Erfassung der funktionellen Mobilität sowie der Kraftleistungsfähigkeit der unteren Extremität bei Patienten nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-Totalendoprothese [57,134,138,141–143]. Hierbei wird die Zeit gemessen, die der Patient benötigt zwölf Treppenstufen aufwärts zu gehen. Die Treppenstufenhöhe betrug 16 cm. Der Patient sollte den Test so schnell wie möglich durchführen. Zudem konnten bei Bedarf das Geländer oder Gehstützen verwendet werden. Alle Patienten führten einen Probedurchgang sowie einen darauffolgenden gewerteten Versuch durch. Der Untersucher maß die benötigte Zeit mit einer Stoppuhr.

Mehrere Untersuchungen konnten eine gute Reliabilität, Validität sowie eine klinische Änderungssensitivität des SAT bei Knie- und Hüft-TEP-Patienten aufzeigen [134,141,144]. Allerdings liegen keine Normwerte zum SAT vor, da sich die Durchführung des Testes häufig in der

Anzahl der Stufen, der Stufenhöhe und der zusätzlichen Erfassung der Treppenabsteigezeit unterscheidet [145].

Ein weiteres häufig angewendetes Instrument zur Erfassung der funktionellen Mobilität und der Kraftleistungsfähigkeit der unteren Extremität von Knie- und Hüft-TEP-Patienten ist der Five Times Sit-to-Stand Test (5STS) [143,146–148]. Dabei startete der Patient in einer aufrecht sitzenden Position auf einem Stuhl mit einer Sitzhöhe von 46 cm mit dem Rücken im Kontakt zur Lehne und vor dem Oberkörper verschränkten Armen. Er wurde aufgefordert, fünfmal so schnell wie möglich aufzustehen und sich wieder hinzusetzen. Nach einem Probedurchgang erfolgte ein anschließender gewerteter Versuch. Patienten mit Hüft-TEP konnten bei Bedarf eine Sitzerhöhung nutzen. Der Untersucher erfasste die Zeit mit einer Stoppuhr. Sofern der Patient nicht in der Lage war vom Stuhl in geforderter Weise aufzustehen, konnte der Test nicht durchgeführt werden.

Medina-Mirapeix et al. 2018 [149], Mikkels et al. 2014 [144] und Goldberg et al. 2012 [150] konnten eine gute Reliabilität und Validität bei Knie- und Hüft-TEP-Patienten wie auch bei älteren Patienten für den 5STS zeigen. In einer deskriptiven Metaanalyse geben Bohannon et al. 2006 einen Referenzwert für gesunde Erwachsene zwischen 60 – 69 Jahren von 11,4 s an [151].

Goldberg et al. definieren eine Verbesserung von 2,5 s im 5STS als klinisch relevanten Wert [150]. Im Hinblick auf klinische Vergleichswerte, zeigten Judd et al. 2013 Werte von 14 s (1 Monat postoperativ) sowie 11,8 s (3 Monate postoperativ) für die Durchführung des 5STS in einer vergleichbaren Population von 26 Hüft-TEP-Patienten [143]. In einer weiteren Studie mit 28 Knie-TEP-Patienten erzielten die Probanden ein Jahr postoperativ im Mittel 12,8 s im 5STS. Zudem konnte gezeigt werden, dass eine Verbesserung im 5STS einen Zusammenhang zu einem verbesserten Gangmuster bei Knie-TEP-Patienten aufweist [147]. Auch konnten schlechtere Ergebnisse im 5STS mit einer unsymmetrischen Gewichtsverteilung der unteren Extremität assoziiert werden [146].

Als letzter funktioneller Test kam der Timed-up-and-go-Test (TUG) zum Einsatz. Der TUG wurde ursprünglich zur Einschätzung des Sturzrisikos von geriatrischen Patienten entwickelt und angewandt [152,153]. In dieser Zielpopulation weisen Werte unter 10 s auf eine uneingeschränkte Mobilität und Ergebnisse im Bereich von 10 -19 s auf eine leicht eingeschränkte Mobilität hin [152]. Der TUG wird zudem auch häufig für klinische Verlaufsuntersuchungen der funktionellen Mobilität

und der dynamischen Balance bei Patienten mit Knie- und Hüft-TEP eingesetzt [134,138,143,154]. Beim TUG wird die Zeit in Sekunden gemessen, die benötigt wird, um von einem Stuhl mit Armlehnen (Sitzhöhe 46 cm) aufzustehen, einen drei Metern entfernten Kegel zu umrunden und sich wieder hinzusetzen. Der Patient soll den Test so schnell wie möglich ausführen. Bei Bedarf konnten Hüft-TEP-Patienten ein Sitzkissen nutzen. Auch hier wurde zunächst ein Probeversuch durchgeführt, der zweite Versuch wurde vom Untersucher mit einer Stoppuhr gemessen und gewertet.

2016 konnten Kear et al. Normwerte für eine jüngere Patientenpopulation erheben. Für die Altersgruppe der 50 bis 59-Jährigen zeigte sich ein Mittelwert von 9,9 s [155]. Bohannon et al. 2006 zeigen für die TUG Testdauer hingegen in einer deskriptiven Metaanalyse einen Mittelwert von 8,1 s für die Altersgruppe 60 – 69-Jähriger gesunder Erwachsener [151].

In Patientenpopulationen von Knie- und Hüft-TEP-Patienten konnten Kennedy et al. 2005 und Yuksel et al. 2017 die Reliabilität und Validität des TUG Tests aufzeigen [134,156]. Relevante Vergleichswerte zum TUG lassen sich u.a. in einer Veröffentlichung von Dayton et al. 2016 finden [138]. Hier zeigten sich in einer Population von 23 Hüft-TEP-Patienten Werte von 10,9 s (1 Monat postoperativ) und 7,3 s (3 Monate postoperativ). Kennedy et al. 2005 geben eine Testdauer von 10,3 s (> 20 Tage postoperativ) für eine vergleichbare Population von 150 Knie- und Hüft-TEP-Patienten an [134]. Yuksel et al. 2017 [156] geben für Knie-TEP Patienten einen Verbesserung um 2,3 s im TUG als klinisch relevant an.

2.6.4 Gesundheitsbezogene Lebensqualität und gelenkbezogene Beschwerden

Der SF-36 ist ein weitverbreitetes, verlässliches und valides, krankheitsunspezifisches Messinstrument zur Erfassung der subjektiven gesundheitsbezogenen Lebensqualität [157–162].

Der SF-36 beinhaltet 36 Items zu 8 verschiedenen Dimensionen (körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, körperliche Schmerzen, allgemeine Gesundheitswahrnehmung, Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion und Gesundheitsveränderung). Für die Auswertung können der körperliche Summenscore (KSK) und der psychische Summenscore (PSK) als Hauptoutcomeparameter gebildet werden. Die Berechnung der

normbasierten Summenscores erfolgte mit Hilfe einer standardisierten Syntax [163]. Beide Summenskalen ergeben sich aus den acht zugrundeliegenden Dimensionen der subjektiven Gesundheit. Der Wertebereich jeder Skala liegt zwischen 0 – 100. Ein höherer Wert bildet eine bessere gesundheitsbezogene Lebensqualität ab. In der vorliegenden Untersuchung wurde die deutschsprachige Version [159] in der Akutversion des Fragebogens verwendet. Die Akutversion erfragt den Gesundheitszustand der letzten Woche und wurde selbstständig von den Patienten ausgefüllt. Die durchschnittliche Ausfülldauer beträgt 10 Minuten [163].

Für den SF-36 existieren Normwerte, die im Rahmen des Bundesgesundheits surveys 1998 erhoben wurden [163]. Diese liegen für 50-59-jährige Frauen und Männer bei 47 beziehungsweise bei 49 Punkten für den KSK. Die Werte für den PSK liegen bei 48 beziehungsweise bei 50 Punkten für Frauen und Männer [164]. Relevante Vergleichswerte klinischer Populationen nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-Totalendoprothese lassen sich in der Publikation von Judd et al. 2014 finden [143]. Für den KSK liegt einen Monat postoperativ ein Wert von 36 Punkten und drei Monate postoperativ ein Wert von 48 Punkten im Normbereich. Zudem geben Bade et al. Werte von 33 Punkten (1 Monat postoperativ) sowie 3 Monate postoperativ Werte von 44 Punkten an [77]. Für den PSK liegen die 1-Montags-Follow-up Werte bei 51 Punkten und für das 3-Monats-Follow-up bei 56 Punkten.

Ein weitverbreiteter, krankheitsspezifischer Fragebogen ist der Western Ontario McMaster Universities Arthritis Index (WOMAC). Der WOMAC gilt als reliables und valides Messinstrument nach Gelenkersatzoperationen [161,162,165–168]. Der Fragebogen bezieht sich auf die Selbsteinschätzung von gelenkbezogenen Beschwerden des Knie- und Hüftgelenkes und bietet die Möglichkeit, wichtige alltagsrelevante Einschränkungen der Patienten zu evaluieren. Die durchschnittliche Ausfülldauer beträgt 12 Minuten. In der für die Studie verwendeten Fragebogenversion beurteilen die Patienten ihr Beschwerdeniveau auf einer 100 mm langen visuellen Analogskala durch Angabe der Distanz vom linken Anfangspunkt der Skala [169]. Der WOMAC-Index fasst drei Subskalen zusammen und wird über die Summation und die Normierung seiner Subskalen gebildet. Dabei können die normierten Werte zwischen 0 – 100 Punkten liegen. Hierbei zeigt ein niedrigerer Wert eine geringere Ausprägung gelenkbezogener Beschwerden an [169]. Der Fragebogen enthält 5 Items zur Subskala Schmerz, 2 Items zur Subskala Steifheit und

17 Items zur Subskala Funktion. Die Subskala Funktion weist die beste Änderungssensibilität in der postoperativen Phase bei Knie-TEP-Patienten auf [135]. Die deutsche Version des Fragebogens wurde im Jahr 1996 validiert [170].

In Bezug auf Normwerte des WOMACS existiert eine australische Publikation [171], in der auf Basis von 7300 Probanden altersspezifische Normwerte angegeben werden. Für die Altersgruppe der 55-59-Jährigen zeigt sich für die Subskala Schmerz ein Mittelwert von 1,5 Punkten, für die Subskala Steifheit ein Mittelwert von 2,2 Punkten und für die Subskala Funktion wird ein Mittelwert von 1,6 Punkten angegeben.

Giesinger et al. 2015 konnten auf Grundlage einer retrospektiven Analyse von 1055 Patienten nach Einsatz einer Knie-TEP Cut-Off Werte für den postoperativen Zeitraum von 2 Monaten ermitteln [172]. Demnach gilt ein Wert von 29,5 im WOMAC-Index als Cut-Off Wert für einen Behandlungserfolg nach Knie-TEP Operationen. Vergleichswerte zu klinischen Populationen lassen sich z.B. bei Van der Wees et al. 2017 [173] finden. In einer Population von 704 Knie-TEP-Patienten geben die Autoren einen WOMAC-Index von im Mittel 24,6 Punkten zum Zeitpunkt des 3-Monats-Follow-ups an. In den weiteren folgenden 3 postoperativen Monaten sinkt der WOMAC-Index auf 21,9 Punkte. In einer Patientenpopulation von 379 Hüft-TEP-Patienten zeigt sich 6 Monate postoperativ ein Wert von 15 Punkten für die Subskala Schmerz, 20 Punkten für die Subkala Steifheit und 27 Punkten für die Subskala Funktion [174]. Kennedy et al. zeigen einen nahezu identischen postoperativen Verlauf der WOMAC Werte für Patienten nach Knie-TEP sowie Hüft-TEP [175]. Hier liegt der WOMAC Score für die Subskala Funktion nach drei Monaten postoperativ im Mittel bei 28 Punkten für beide Diagnosegruppen.

2.6.5 Inanspruchnahme postrehabilitativer Versorgungsangebote und die Adhärenz der Tele-Nachsorge

Die Inanspruchnahme von herkömmlichen Nachsorgeangeboten wurde in einem Trainingstagebuch von allen Patienten angegeben. Dabei erfassten die Patienten die wöchentliche Anzahl ihrer durchgeführten Maßnahmen sowie deren Gesamtdauer. Abgefragt wurde die Teilnahme am IRENA-Programm und an physiotherapeutischen Leistungen. Im Sinne einer

vergleichbaren Erfassung wurden jeweils die ersten 12 Wochen des Interventionszeitraumes erfasst.

Zur Erfassung der Adhärenz der Tele-Nachsorge wurden die Datensätze aus dem MeineReha[®] System aufbereitet. Es wurden Variablen zur Erfassung der Dauer der Trainingseinheiten, der Inanspruchnahme von Audio- und Textnachrichten für die ersten 12 Wochen des Interventionszeitraumes ausgewertet.

Die Durchführung eigenständiger körperlicher Aktivitäten wurde systematisch im Trainingstagebuch abgefragt. Hierbei gaben alle Patienten die Art der körperlichen Aktivität und deren wöchentliche Gesamtdauer an. Im Nachgang wurden allen angegebenen körperlichen Aktivitäten die entsprechenden Zuordnungen des metabolischen Äquivalents (MET) zugeordnet [176]. Die MET Zuordnung wird zum Vergleich des Energieverbrauchs verschiedener Aktivitäten verwendet. Zur Ermittlung der MET-minutes wurden die MET-Zuordnungen mit der Dauer der Aktivitäten multipliziert und ein Summenscore aus allen angegebenen Aktivitäten gebildet.

2.6.6 Erfassung der Technikakzeptanz

Zur Erfassung der Technikakzeptanz wurde der Telehealth Usability Questionnaire (TUQ) genutzt [177]. Der Fragebogen erfasst die vom Anwender erlebte Nutzungsqualität bei der Interaktion mit dem System. Der Fragebogen enthält 21 Items bei denen die Befragten auf einer siebenstufigen Likert-Skala ihre Zustimmung zur jeweiligen Aussage angeben können. Aus den Items werden sechs verschiedene Subskalen zu verschiedenen Bereichen der Technikakzeptanz und Usability des Systems gebildet:

- Nützlichkeit
- Benutzerfreundlichkeit und Erlernbarkeit
- Qualität der Benutzeroberfläche
- Qualität der Interaktion
- Verlässlichkeit des Systems
- Zufriedenheit und künftige Nutzung des Systems

Das Ergebnis der Subskalen ergibt sich aus der Addition der jeweiligen Items und der Normierung der Werte auf 100. Dabei liegen die Ergebniswerte zwischen 0 – 100. Ein höherer Wert zeigt hierbei eine stärkere Zustimmung an. Aus der Zusammenfassung der einzelnen Subskalen wird der TUQ-Index gebildet.

Carifio et al. 2008 zufolge ist die Bildung von Summenscores aus den einzelnen Items eine geeignete Strategie zur Auswertung von Likert-Skalen [178]. Die Werte der Likert-Skala können als intervallskaliert betrachtet werden und somit auch parametrisch ausgewertet werden.

Die Reliabilität und Validität des TUQs konnte 2016 von Parmanto et al. 2016 belegt werden [177]. Der TUQ existiert jedoch nur in einer englischsprachigen publizierten Version. Daher wurde die englischsprachige Version für die vorliegende Arbeit von einem deutschen Muttersprachler ins Deutsche übersetzt. Diese deutsche Version wurde zudem von drei weiteren Muttersprachlern auf Verständlichkeit geprüft und im Konsens modifiziert. Für die deutschsprachige Version existieren keine Reliabilitäts- oder Validitätsstudien. Zudem liegen keine Referenzwerte zum TUQ vor.

2.7 Primäre und sekundäre Endpunkte

Der primäre Endpunkt ist die Differenz der Verbesserung im 6MWT zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe in Metern nach drei Monaten. Der 6MWT ist ein objektives Messinstrument [128] mit dem funktionelle Verbesserungen nach Einsatz einer Knie- oder Hüft-TEP aufgezeigt werden können [130,131,133,135].

Um einen ganzheitlichen Vergleich zwischen beiden Gruppen abzubilden, wurden außerdem folgende Fragebögen und funktionelle Erhebungsinstrumente als sekundäre Endpunkte analysiert:

Unterschiede der Verbesserungen für:

- Berufliche Wiedereingliederung zum Ende der Intervention
- SF-36, körperlicher und psychischer Summenscore (Punkte)
- WOMAC Index (Punkte)
- Stair Ascend Test (s)
- Five-Times-Chair-Rise Test (s)
- Timed Up and Go Test (s)

- Trainingsadhärenz (%)

2.8 Statistik

2.8.1 Fallzahlschätzung

Laut Boardmann et al. 2000 [131] ist mit einer Verbesserung der Ganggeschwindigkeit bzw. der Gehstrecke um etwa 20 % oder 10 m/min bzw. 65 m durch die Interventionsgruppe zu rechnen. Die Studie wurde dahingehend gewertet, dass eine Verbesserung um 65 m in der Interventionsgruppe, verglichen zu einer Verbesserung von höchstens 13 m in der Kontrollgruppe, aufgezeigt werden kann. Unterstellt man konservativ eine Interklassenkorrelation von 0,3 für den Hauptendpunkt und die bei Boardman et al. [131] berichteten Standardabweichungen von 84 m, so sind zur Erreichung einer Power von 80 % für den Haupt-Endpunkt 2 x 42 auswertbare Patienten erforderlich. Bei einem erwarteten Stichprobenverlust von ca. 20 -25 % müssen zur Eingangsuntersuchung 55 Patienten pro Gruppe eingeschlossen werden.

2.8.2 Statistische Analysen

Die Daten wurden deskriptiv (Mittelwert, Standardabweichung, 95% Konfidenzintervalle und Median für metrische Variablen, Häufigkeit und Perzentile für kategoriale Variablen) für alle Variablen und vorhandenen Fälle analysiert. Die Interferenzstatistik zur Wirksamkeitsüberprüfung wurde mit einem intention-to-treat Ansatz durchgeführt, der alle randomisierten Patienten (multiple imputierte Datensätze) enthält. Zudem wurde auch für die Patienten mit kompletten Datensätzen eine per-protocol Analyse zur Effektivität der Intervention durchgeführt.

Um die Gruppenunterschiede des primären und der sekundären Endpunkte auf einem 5 % Level (zweiseitig) zu testen, wurden baseline-adjustierte Kovarianzanalysen (ANCOVA) im intention-to-treat-Ansatz ausgewertet. Außerdem wurde die Rate der beruflichen Wiedereingliederung nach drei Monaten zwischen der IG und KG mittels Chi²-Test verglichen.

Des Weiteren wurde mittels einfaktorieller Varianzanalysen getestet, ob die Mittelwerte der primären und sekundären Endpunkte im Verlauf von der Eingangsuntersuchung bis zur Nachuntersuchung signifikante Veränderungen aufweisen. Unterschiede mit einem p-Wert kleiner

als 0,05 (zweiseitig) wurden als signifikant angenommen. Alle Berechnungen wurden mit SPSS 25.0 (IBM, Chicago, IL, USA) durchgeführt.

Tabelle 1: Vorauswahl der potentiellen Confounder der multivariaten Analyse

Abhängige Variable	Unabhängige Variablen	Ausprägung
Differenz 6MWT	- Intervention	- IG vs. KG
	- Alter	- metrisch
	- Geschlecht	- m vs. w
	- Gewicht	- metrisch
	- Schulabschluss	- Hochschulreife vs. < Hochschulreife
	- Operiertes Gelenk	- Hüfte vs. Knie
	- Zeitraum OP - Eingangsuntersuchung	- metrisch
	- Interventionsdauer	- metrisch
	- Orthopädische Komorbidität	- ja vs. nein
	- Psychische Komorbidität	- ja vs. nein
	- Kardiologische Komorbidität	- ja vs. nein
	- Einnahme von Schmerzmitteln	- ja vs. nein
	- 6-min-Gehtest Eingangsuntersuchung	- metrisch
	- Inanspruchnahme IRENA	- ja vs. nein
	- Inanspruchnahme Physiotherapie	- ja vs. nein
	- SF-36, KSK	- metrisch
	- SF-36, PSK	- metrisch
- Schmerzen: WOMAC-Score	- metrisch	

IG = Interventionsgruppe, IRENA = Intensivierte Rehabilitationsnachsorge, KG = Kontrollgruppe, KSK = Körperliche Summenskala, m = männlich, PSK = Psychische Summenskala, SF-36 = Short Form 36, w = weiblich, WOMAC = Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index

2.9 Ethikvotum und Studienregistrierung

Das Studienprotokoll wurde gemäß der ethischen Anforderung der aktuellen Version der Deklaration von Helsinki (Revision 2013) erstellt und konnte im September 2017 im peer reviewed Journal „Trials“ veröffentlicht werden [124]. Die Ethikkommission der Universität Potsdam erteilte ein positives Ethikvotum (Nr. 15/2016) zur Durchführung der Studie. Zudem

wurde die Studie beim Deutschen Register Klinischer Studien (DRKS), welches als WHO-Register anerkannt ist, registriert und geprüft (Studiennummer DRKS00010009).

3 Ergebnisse

3.1 Patientencharakteristika

Im Zeitraum zwischen August 2016 und August 2017 wurden in den drei teilnehmenden Rehabilitationskliniken 476 Patienten gescreent, von denen 365 Patienten nicht in die Studie eingeschlossen werden konnten. Die Hauptgründe für eine Nichtteilnahme waren die Angabe „kein Interesse“ (n = 178) sowie die fehlenden technischen und räumlichen Voraussetzungen (n = 105). 111 Patienten willigten in eine Studienteilnahme ein. Von diesen wurden 56 Patienten der Interventionsgruppe und 55 Patienten der Kontrollgruppe zugeordnet. 19 Patienten nahmen nicht an der Eingangsuntersuchung in Potsdam teil. Nach dem Interventionszeitraum absolvierten weitere fünf Patienten nicht die Nachuntersuchung. Die Dropout-Quote der Kontrollgruppe liegt damit bei 29 % (n = 16) und die der Interventionsgruppe bei 14 % (n = 8). Zur Nachuntersuchung konnten die Datensätze von 87 Patienten analysiert werden (siehe Abbildung 6).

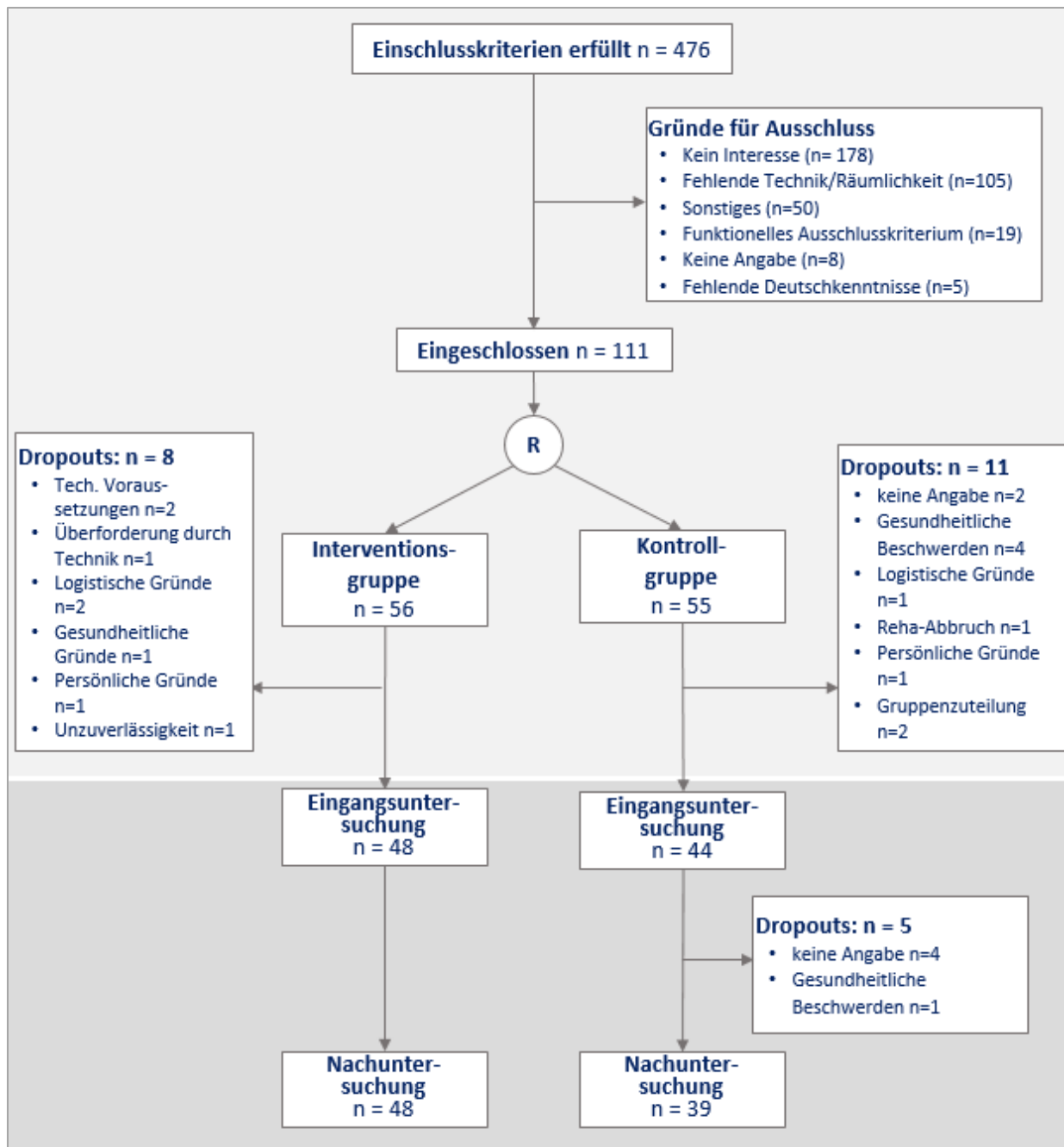


Abbildung 6: Einschlussprozess der Patienten

Die Patientencharakteristika schließen alle Patienten mit ein, die zur Eingangsuntersuchung an der Universität Potsdam erschienen sind (siehe Tabelle 2). Das Alter der Patienten lag im Mittel bei $56,6 \pm 5,4$ Jahren in der Kontrollgruppe und bei $53,3 \pm 7,0$ Jahren in der Interventionsgruppe. Damit war die Interventionsgruppe signifikant jünger ($p < 0,05$). Etwas über die Hälfte der

Studienteilnehmer (54,3 %) waren weiblich. Über zwei Drittel (68,5 %) der Patientenpopulation erhielt eine Hüft-TEP. Die Patienten verbrachten durchschnittlich $22,9 \pm 4,2$ Tage in der Rehabilitation. Zwischen dem endoprothetischen Eingriff und dem Beginn der stationären Rehabilitation lagen im Mittel $18,8 \pm 11,6$ Tage. Die Zeitspanne zwischen dem Ende der Rehabilitation und der Eingangsuntersuchung war in der Interventionsgruppe signifikant kürzer (IG: $4,6 \pm 3,5$ Tage; KG: $8,2 \pm 5,4$).

Gemäß der von der WHO definierten Subklassifikationen des BMI ist nahezu die Hälfte (46,7 %) der Patientenpopulation adipös und weitere 39,1 % der Teilnehmer werden als übergewichtig eingestuft. 23,9 % der Patienten wiesen eine kardiologische und 8,7 % eine orthopädische Komorbidität auf. Zum Ende der Rehabilitation wurden 9,8 % der Teilnehmer mit Opioiden behandelt und über die Hälfte (51,1 %) nahm Nicht-Opioid-Analgetika ein. 87 % der Patienten waren erwerbstätig und 43,5 % hatten einen (Fach-) Hochschulabschluss.

Tabelle 2: Patientencharakteristika (n = 92)

Patientencharakteristika	Kontrolle n (%) (n = 44) MW ± SD	Intervention n (%) (n = 48) MW ± SD	Gesamt n (%) (n = 92) MW ± SD	p- Wert
Soziodemografische Daten, Lebensstil und postoperativer Zeitraum				
Alter (Jahre)	56,6 ± 5,4	53,3 ± 7,0	54,9 ± 6,8	< 0,05
Geschlecht (weiblich)	24 (54,5 %)	26 (54,2 %)	50 (54,3 %)	0,971
BMI (kg/m ²)	30,6 ± 4,7	29,7 ± 5,9	30,2 ± 5,4	0,461
Normalgewicht 18,5 - < 25	5 (11,4 %)	8 (16,7 %)	13 (14,1 %)	0,721
Übergewichtig 25 - < 30	17 (38,6 %)	19 (39,6 %)	36 (39,1 %)	
Adipositas ≥ 30	22 (50,0 %)	21 (43,8 %)	43 (46,7 %)	
Rauchverhalten (Raucher)	13 (29,5 %)	13 (27,1 %)	26 (28,3 %)	0,764
OP – Reha-Beginn	18,1 ± 8,9	19,5 ± 13,7	18,8 ± 11,6	0,576
Reha-Dauer (Tage)	23,2 ± 5,1	22,7 ± 3,3	22,9 ± 4,2	0,521
Reha-Ende – Eingangsuntersuchung (Tage)	8,2 ± 5,4	4,6 ± 3,5	6,3 ± 4,8	< 0,05
Bildung und Beruf				
Schulabschluss				0,869
< (Fach-) Hochschulreife	24 (54,5 %)	27 (56,3 %)	51 (55,4 %)	
(Fach-) Hochschulreife	20 (45,5 %)	21 (43,8 %)	41 (44,6 %)	
Berufsbildungsabschluss				0,227
< (Fach-)Hochschulabschluss	22 (50,0 %)	30 (62,5 %)	52 (56,5 %)	
(Fach-)Hochschulabschluss	22 (50,0 %)	18 (37,5 %)	40 (43,5 %)	
Erwerbstätig	38 (86,4 %)	42 (87,5 %)	80 (87,0 %)	0,971
Arbeitslos	3 (6,8 %)	2 (4,2 %)	5 (5,4 %)	n.a.
Arbeitsunfähigkeit vor OP (Tage)	2,1 ± 6,7	3,0 ± 6,8	2,6 ± 6,7	0,540
Körperliche Arbeitsschwere (mittelschwer/schwer)	8 (18,2 %)	9 (18,8 %)	17 (18,5 %)	0,944
Komorbiditäten und Medikation				
orthopädisch	4 (9,1 %)	4 (8,3 %)	8 (8,7 %)	0,898
kardiologisch	10 (22,7 %)	12 (25,0 %)	22 (23,9 %)	0,799
psychisch	3 (6,8 %)	3 (6,3 %)	6 (6,5 %)	n.a.
neurologisch	4 (9,1 %)	0 (0,0 %)	4 (4,3 %)	n.a.
Schmerzmedikation				n.a.
Opioide	5 (11,4 %)	4 (8,3 %)	9 (9,8 %)	
Sonstige Schmerzmedikation	24 (54,5 %)	23 (47,9 %)	47 (51,1 %)	
Endoprothetischer Eingriff				
Gelenkersatz-OP bis Eingangsuntersuchung (Tage)	49,6 ± 11,0	47,3 ± 14,7	48,2 ± 12,8	0,487
Gelenk TEP-Einsatz				0,339
Hüftgelenkprothese	28 (63,6 %)	35 (72,9 %)	63 (68,5 %)	
Kniegelenkprothese	16 (36,4 %)	13 (27,1 %)	29 (31,5 %)	

Kategoriale Variablen werden als absolute und relative Häufigkeiten mit n (%), metrische Variablen als Mittelwert (MW) ± Standardabweichung (SD) angegeben. BMI = Body-Mass-Index, OP = Operation, TEP = Totalendoprothese

Ein Großteil der Patienten kam aus Berlin bzw. dem angrenzenden Umland (siehe Abbildung 7). Im Durchschnitt wohnten die Teilnehmer $61,2 \pm 32,7$ km vom Untersuchungszentrum an der Universität Potsdam entfernt.

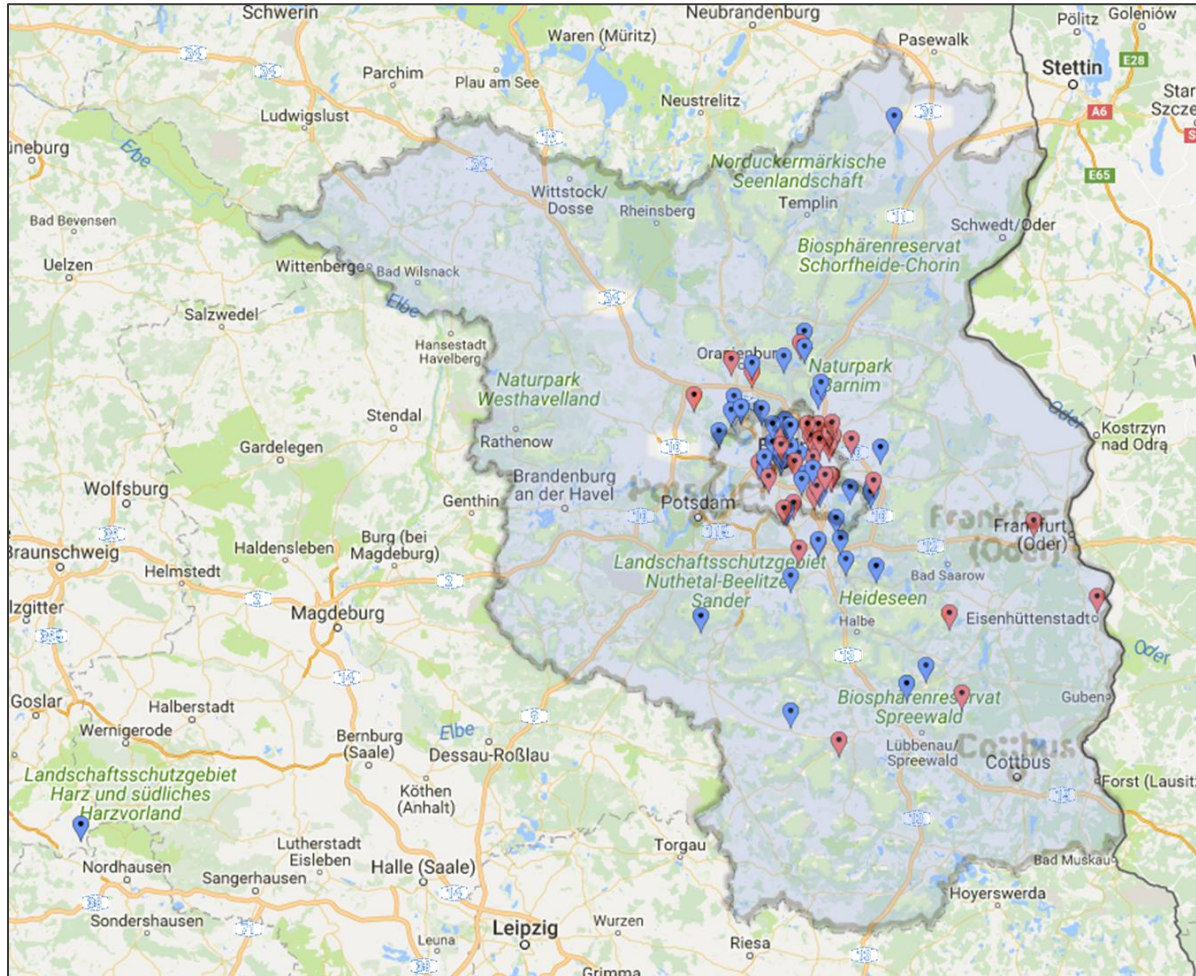


Abbildung 7: Herkunft der Studienteilnehmer (n = 87)

 Interventionsgruppe  Kontrollgruppe

3.2 Primärer Endpunkt: 6-Minuten-Gehtest

Bereits im Verlauf der dreiwöchigen Rehabilitation konnten die Patienten der Interventionsgruppe ihre Gehstrecke im Durchschnitt um $83,8 \pm 7,3$ m und die Kontrollgruppe ihre um $59,7 \pm 8,8$ m steigern (Abbildung 8). Diese Steigerung ist in beiden Gruppen statistisch signifikant. Somit weisen beide Gruppen bereits zum Ende der Rehabilitation mit 435,9 m bzw. 404,2 m eine gute körperliche Belastbarkeit auf. Zudem ist die Steigerung der 6-Minuten-Gehstrecke im Verlauf der

sich anschließenden 12-wöchigen Interventionsphase für beide Gruppen statistisch signifikant (Abbildung 9) ($p < 0,001$).

Zum Ende der Intervention weist die Interventionsgruppe eine Differenz von $88,3 \pm 57,7$ m und die Kontrollgruppe eine Differenz von $79,6 \pm 48,7$ m in der 6-Minuten Gehstrecke auf. Die prozentuale Verbesserung beträgt in beiden Gruppen über 20 % (IG: $21,4 \pm 15,2$ %; KG: $20,3 \pm 16,3$ %). Bei einem Gruppenunterschied der Differenz von lediglich 1,1 % zeigt der primäre Endpunkt keinen signifikanten Unterschied (Abbildung 10) ($p = 0,951$).

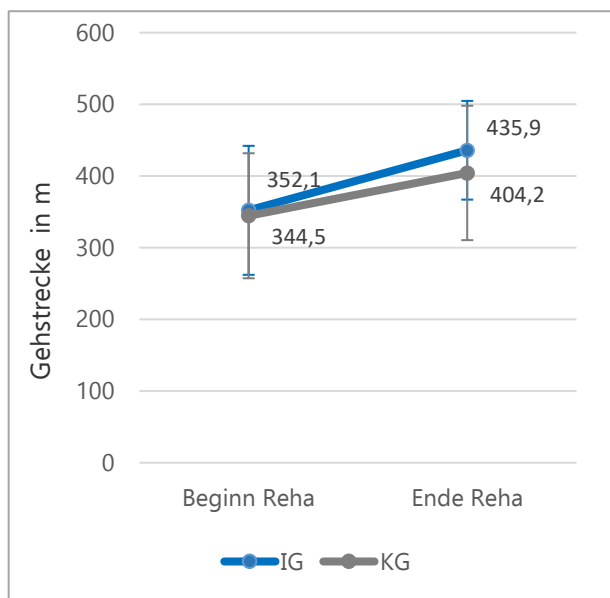


Abbildung 8: Veränderung des 6MWT während der Rehabilitation ($n = 80$)

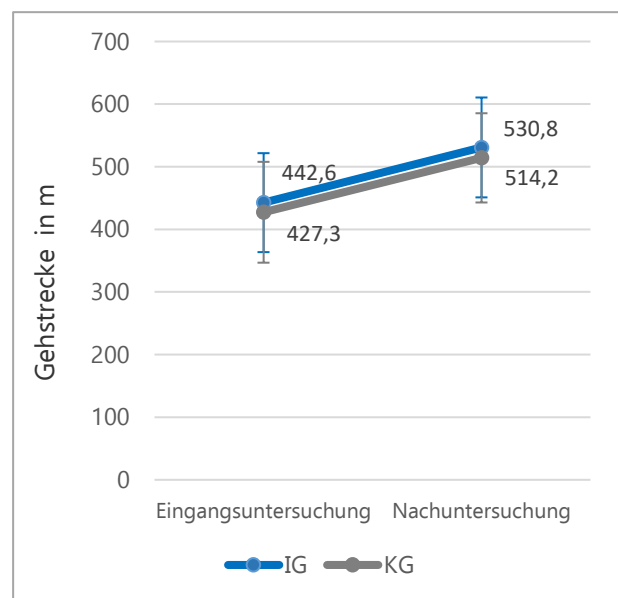


Abbildung 9: Veränderung des 6MWT während der Intervention ($n = 85$)

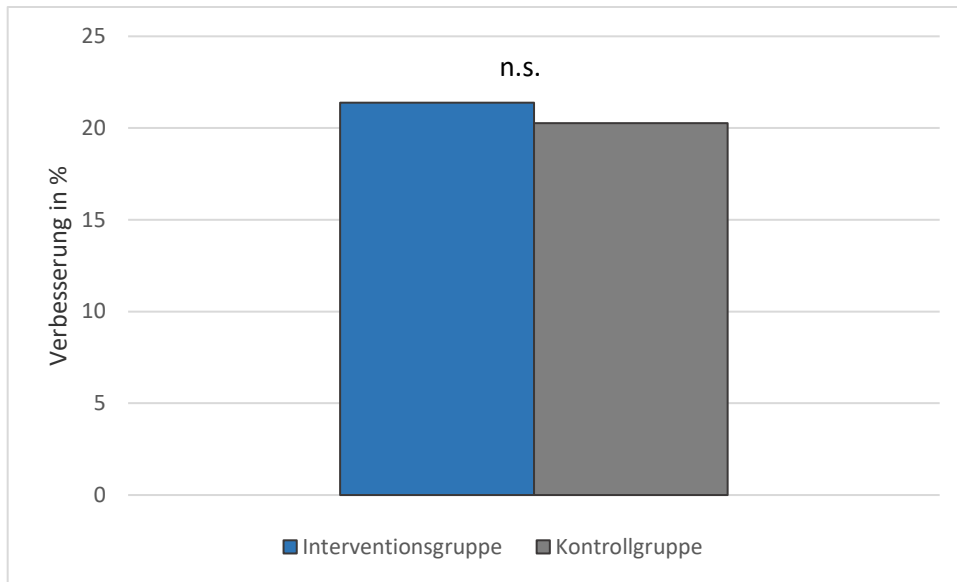


Abbildung 10: prozentuale Verbesserung im 6MWT während der Intervention; n.s. = nicht signifikant

3.3 Sekundäre Endpunkte

3.3.1 Berufliche Wiedereingliederung

Zum Ende der Intervention waren 31 Patienten (64,6 %) der Interventionsgruppe und 18 Patienten (46,2 %) der Kontrollgruppe wieder beruflich eingegliedert. In der multivariaten Analyse (n = 86) zeigt diese Differenz einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen (p = 0,014) (Abbildung 11).

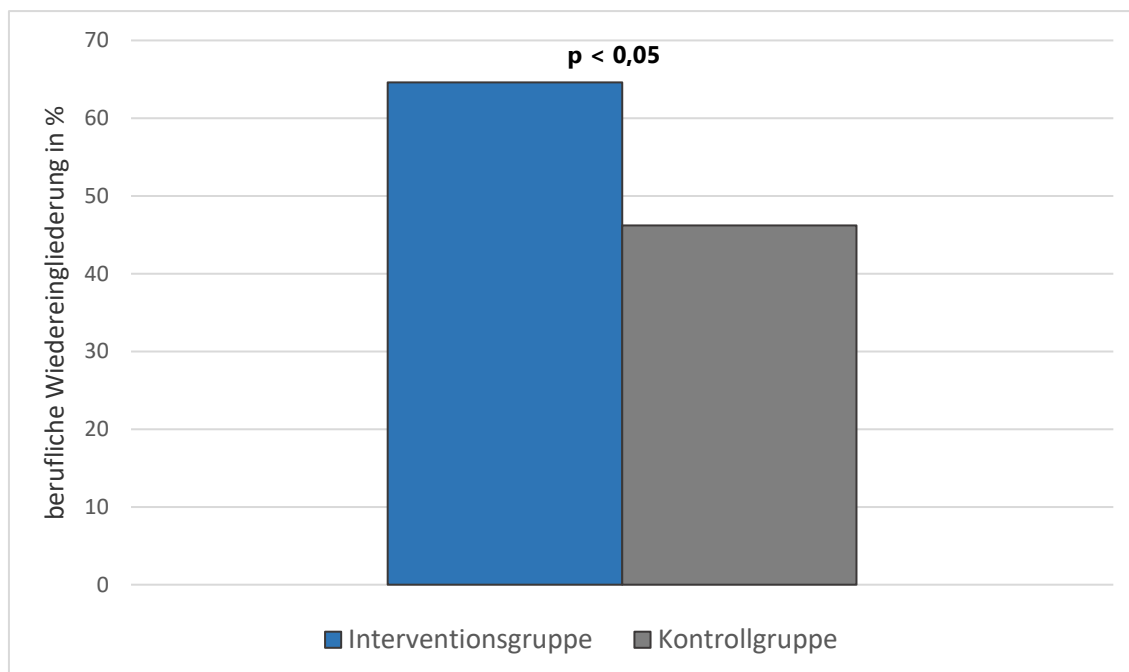


Abbildung 11: berufliche Wiedereingliederung zum Ende der Intervention (n = 87)

3.3.2 Funktionelle Mobilität

Die benötigte Zeit für den Stair Ascend Test (SAT) reduziert sich in beiden Gruppen im Verlauf der Interventionsphase (IG: $2,5 \pm 2,4$ s; KG: $2,5 \pm 3,0$ s). Ebenso verringert sich die Ausführungszeit für den Timed Up and Go Test (TUG) in beiden Gruppen (IG: $1,9 \pm 1,5$ s; KG: $1,5 \pm 2,2$ s). Die multivariate Analyse der Differenzen der Gruppenunterschiede ($n = 85$) zeigt weder für den SAT ($p = 0,463$) noch für den TUG ($p = 0,567$) signifikante Gruppenunterschiede (Abbildung 12).

Auch im Five-times-sit-to-Stand Test (5STS) verringert sich die benötigte Zeit in der Interventionsgruppe um $2,7 \pm 3,5$ s sowie in der Kontrollgruppe um $3,8 \pm 5,1$ s. In der multivariaten Analyse der Differenzen der Gruppenunterschiede weist die Kontrollgruppe hier eine statistisch signifikant höhere Verbesserung auf ($p = 0,004$) (Abbildung 12).

Beide Gruppen zeigen im Verlauf der Intervention in allen drei Tests zur funktionellen Mobilität eine statistisch signifikante Verringerung der benötigten Testdauer ($p < 0,001$). Zudem ist bei allen drei Assessments eine geringere Standardabweichung in den Ergebnissen der Nachuntersuchung sichtbar.

Tabelle 3 Ergebnisse der funktionellen Mobilität, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der gelenkbezogenen Beschwerden

Parameter	n	Eingangsuntersuchung		P-Wert	Nachuntersuchung		P-Wert
		IG	KG		IG	KG	
Stair Ascend Test (s)	86	$8,7 \pm 2,7$	$8,6 \pm 4,0$	0,327	$6,2 \pm 1,2$	$6,1 \pm 1,5$	0,438
Timed Up and Go Test (s)	86	$9,3 \pm 1,8$	$9,0 \pm 2,4$	0,164	$7,5 \pm 1,2$	$7,5 \pm 1,6$	0,933
Five Times Sit-to-Stand Test	86	$16,9 \pm 3,7$	$17,1 \pm 6,2$	0,376	$14,2 \pm 2,7$	$13,2 \pm 2,3$	0,059
SF-36 körperlicher Summenscore	87	$33,8 \pm 7,6$	$33,3 \pm 7,9$	0,824	$44,6 \pm 9,9$	$44,4 \pm 8,3$	0,804
SF-36 psychischer Summenscore	87	$54,8 \pm 10,6$	$53,9 \pm 11,8$	0,978	$52,4 \pm 10,6$	$54,1 \pm 9,8$	0,275
WOMAC Index	87	$26,4 \pm 18,5$	$24,8 \pm 16,4$	0,784	$11,5 \pm 12,7$	$13,9 \pm 14,3$	0,514

IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe, SF-36: Short-Form 36, WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index

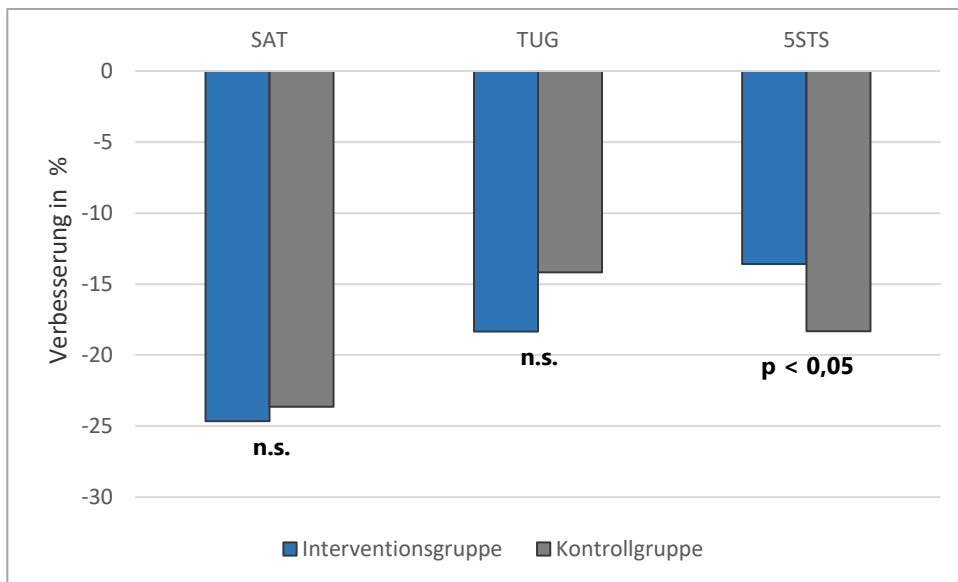


Abbildung 12: prozentuale Verbesserung der funktionellen Mobilität im Verlauf der Intervention. 5STS = Five Times Sit-to-Stand Test, n.s. = nicht signifikant, TUG = Timed Up and Go Test, SAT = Stair Ascend Test

3.3.3 Gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF-36) und gelenkbezogene Beschwerden (WOMAC)

Die Ergebnisse der gesundheitsbezogenen Lebensqualität zeigen im Verlauf der Interventionsphase eine deutliche Verbesserung von über 35 % für den körperlichen Summenscore (KSK) in beiden Gruppen. Im Verlauf der Interventionsphase beträgt die Veränderung des psychischen Summenscores (PSK) für die Interventionsgruppe $-1,7 \pm 24,5$ % und für die Kontrollgruppe $2,6 \pm 18,1$ %. Die Differenzen der Gruppenunterschiede ($n = 86$) sind weder für den KSK ($p = 0,050$) noch für den PSK ($p = 0,635$) signifikant unterschiedlich (Abbildung 13).

Hinsichtlich der absoluten Werte wird für den KSK in beiden Gruppen im Verlauf der Intervention ein deutlich statistisch signifikanter Anstieg von über 10 Punkten ersichtlich ($p < 0,001$). Bezüglich

des PSK-Wertes sind die Veränderungen im Verlauf der Interventionsphase für beide Gruppen nicht statistisch signifikant ($p = 0,324$).

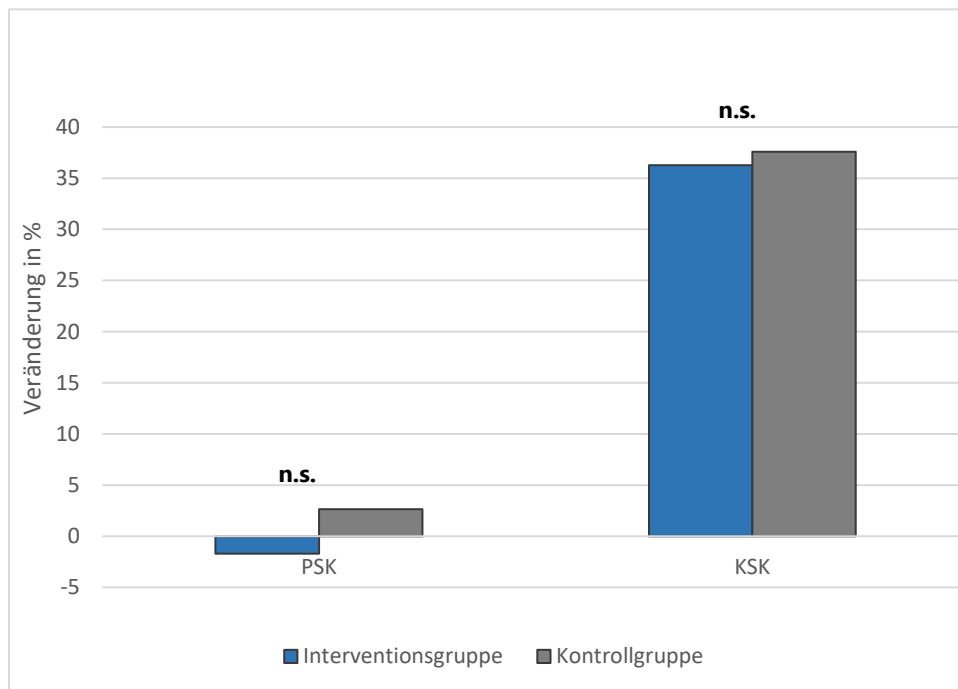


Abbildung 13: prozentuale Veränderung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (SF-36), KSK = körperlicher Summenscore, PSK = psychischer Summenscore, SF-36= Short-Form 36,

Für die gelenkbezogenen Beschwerden ist im Verlauf der Interventionsphase eine deutliche Reduktion im WOMAC Index von 44 ± 78 % in der Interventionsgruppe und 46 ± 42 % in der Kontrollgruppe zu verzeichnen, ohne dass dabei ein signifikanter Gruppenunterschied besteht ($p = 0,890$). Es existieren hohe Standardabweichungen für die Werte des WOMAC Index.

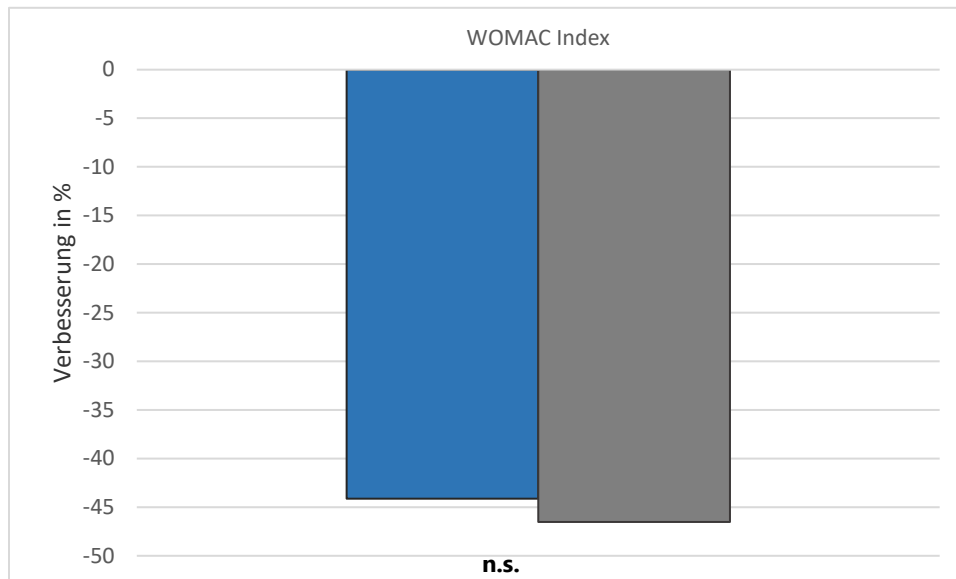


Abbildung 14: prozentuale Veränderung der gelenkbezogenen Beschwerden (WOMAC)

Mit Blick auf die absoluten Werte, sinkt der WOMAC Index der Interventionsgruppe im Verlauf der Interventionsphase von $26,4 \pm 18,5$ Punkten auf $11,5 \pm 12,7$ Punkte. In der Kontrollgruppe reduziert sich der Wert von $24,8 \pm 16,4$ Punkten auf $13,9 \pm 14,3$ Punkte. Diese Reduktion ist für beide Gruppen statistisch signifikant ($p < 0,001$) (Abbildung 14).

3.4 Inanspruchnahme von Reha-Nachsorge Leistungen

Beide Gruppen führten in der dreimonatigen Studienphase Maßnahmen der Rehabilitationsnachsorge durch. Hierbei nahmen 51,3 % der Kontrollgruppe und 33,3 % der Interventionsgruppe am IRENA Programm teil. Physiotherapeutische Maßnahmen wurden von 81,3 % der Interventionsgruppe und von 71,8 % der Kontrollgruppe in Anspruch genommen (Abbildung 15). Die Teilnehmerraten für die unterschiedlichen Rehabilitationsnachsorgeangebote unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen ($p > 0,05$).

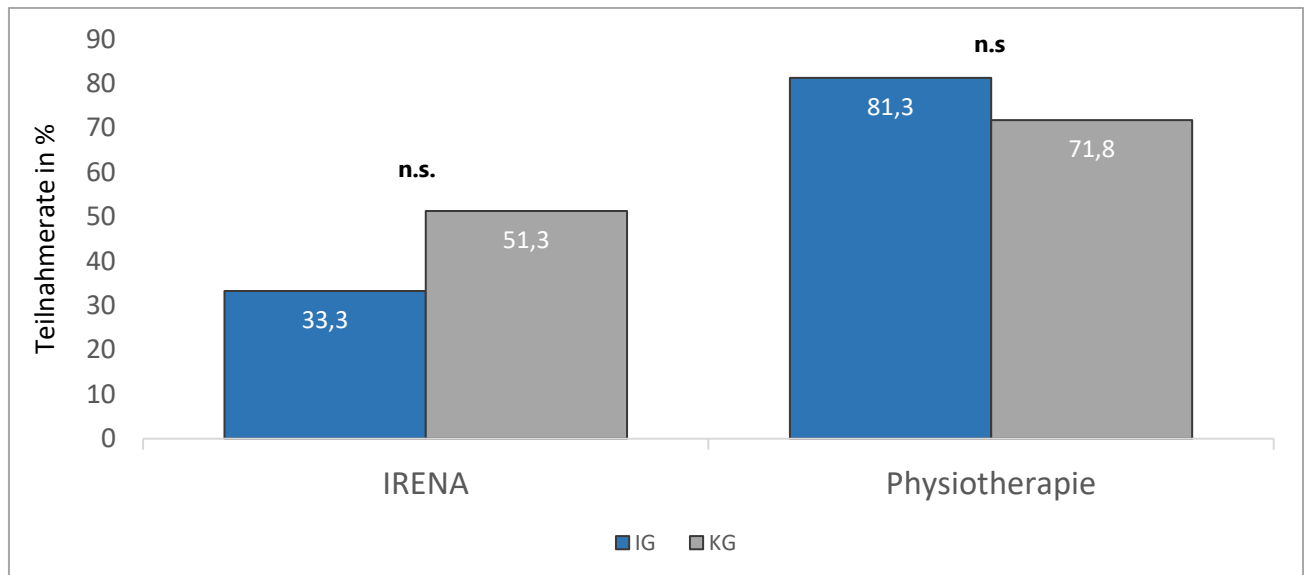


Abbildung 15: Teilnehmerate in % an Angeboten der postrehabilitativen Versorgung;
 IG = Interventionsgruppe, IRENA = Intensivierte Rehabilitationsnachsorge, KG = Kontrollgruppe (n = 86)

3.5 Adhärenz und Nutzungsdaten der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie

Bis zur 7. Woche der Interventionsphase liegt die Teilnehmerate der Tele-Nachsorge bei über 75 % (Abbildung 16). Danach nimmt die Teilnehmerate ab und beträgt in Woche 12 noch 60 %. Der Median der beruflichen Wiedereingliederung liegt für die Interventionsgruppe in der 7. Woche. Insgesamt wurden 64,6 % der Interventionsgruppe beruflich wiedereingegliedert. 25 % der beruflich wiedereingegliederten Teilnehmer gingen bereits nach drei Wochen wieder arbeiten. Ab der 9. Woche waren 75 % beruflich wiedereingegliedert. Insgesamt ist festzuhalten, dass mehr als die Hälfte der Teilnehmer der Interventionsgruppe die telemedizinisch assistierte Bewegungstherapie auch nach der 7. Woche fortsetzte.

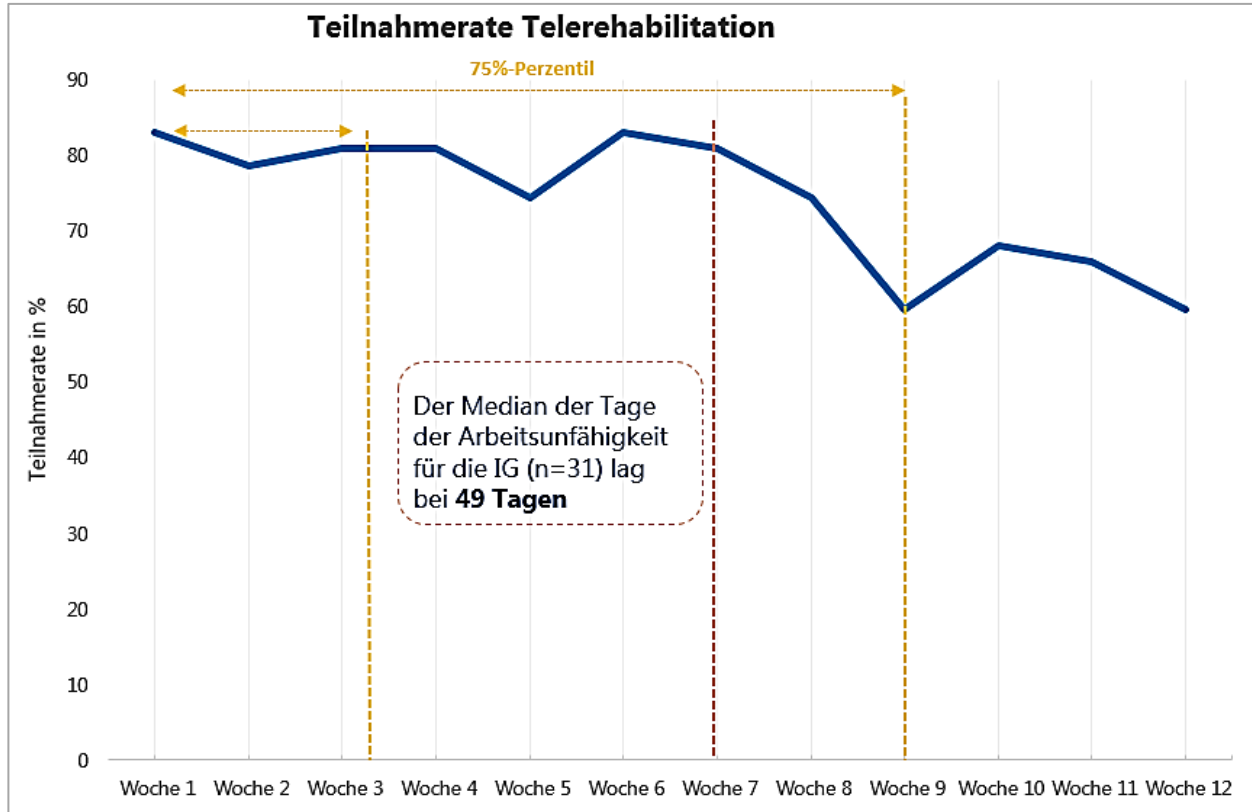


Abbildung 16: Teilnahmerate der Tele-Nachsorge im Verlauf der Interventionsphase (n = 48), IG = Interventionsgruppe

Die Daten zur wöchentlichen Trainingsdauer der Tele-Nachsorge wurden mit zwei unterschiedlichen Methoden erhoben. Die hellblaue Kurve (Abbildung 17) zeigt die Eigenangabe der Patienten, die mittels des Trainingstagebuches erfasst wurde. Die dunkelblaue Kurve gibt die Trainingsdauer an, die aus den Serverdaten des MeineReha[®] Systems generiert werden konnte. Für die Eigenangabe beträgt die durchschnittliche wöchentliche Trainingsdauer 55 ± 9 Minuten. Für die aus dem System generierten Daten ergibt sich eine Trainingsdauer von 39 ± 8 min. Die aus dem System generierten Daten erfassen dabei nur die Dauer der Ausführungszeit der Übungen. Hierbei wurde nicht die für die Demonstrationen der Übungen und die Bedienung des Systems benötigte Zeit berücksichtigt. Im Verlauf der Intervention nimmt die Abweichung der Trainingsdauer zwischen beiden Erhebungsmethoden ab und in Woche 9 gleichen sich die Angaben beider Erhebungsmethoden nahezu an.

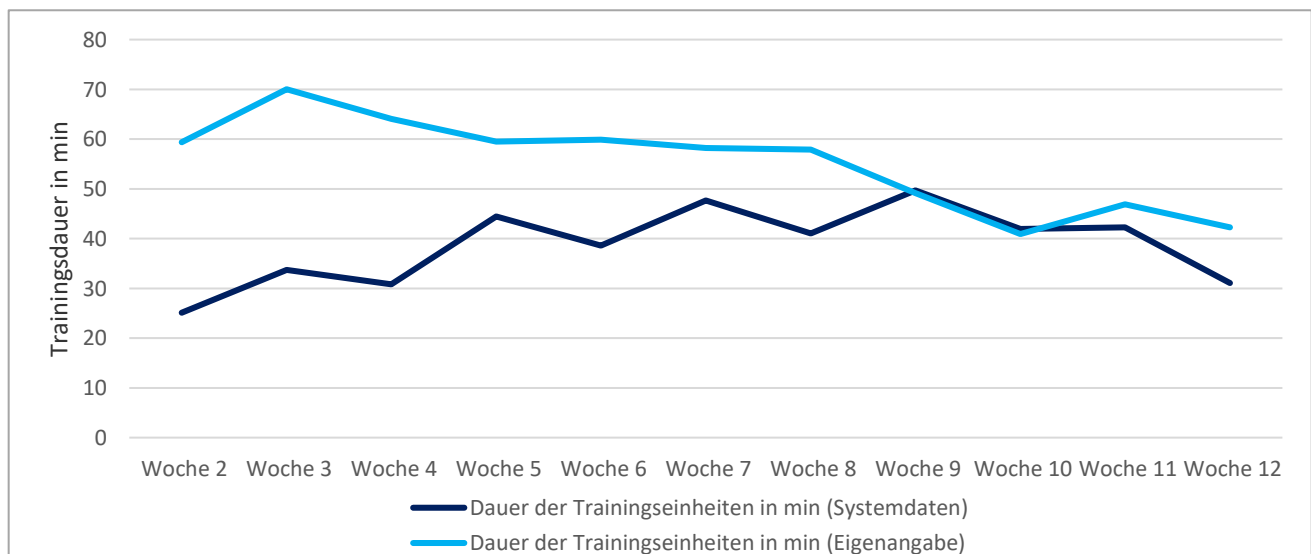


Abbildung 17: wöchentliche Trainingsdauer der Tele-Nachsorge im Verlauf der Interventionsphase (n = 48)

Die Kommunikation über Textnachrichten wurde zu Beginn der Intervention von 98 % der Therapeuten genutzt. 88 % der Patienten nutzten die Kommunikationsfunktion über Audionachrichten. Im Verlauf der Intervention ist eine deutliche Abnahme der Inanspruchnahme der Kommunikationsmöglichkeiten sowohl bei den Therapeuten als auch bei den Patienten zu erkennen (Abbildung 18). In Woche zwölf schickten die Therapeuten keine Textnachrichten mehr. 2,1 % der Patienten verschickten zu diesem Zeitpunkt noch Audionachrichten.

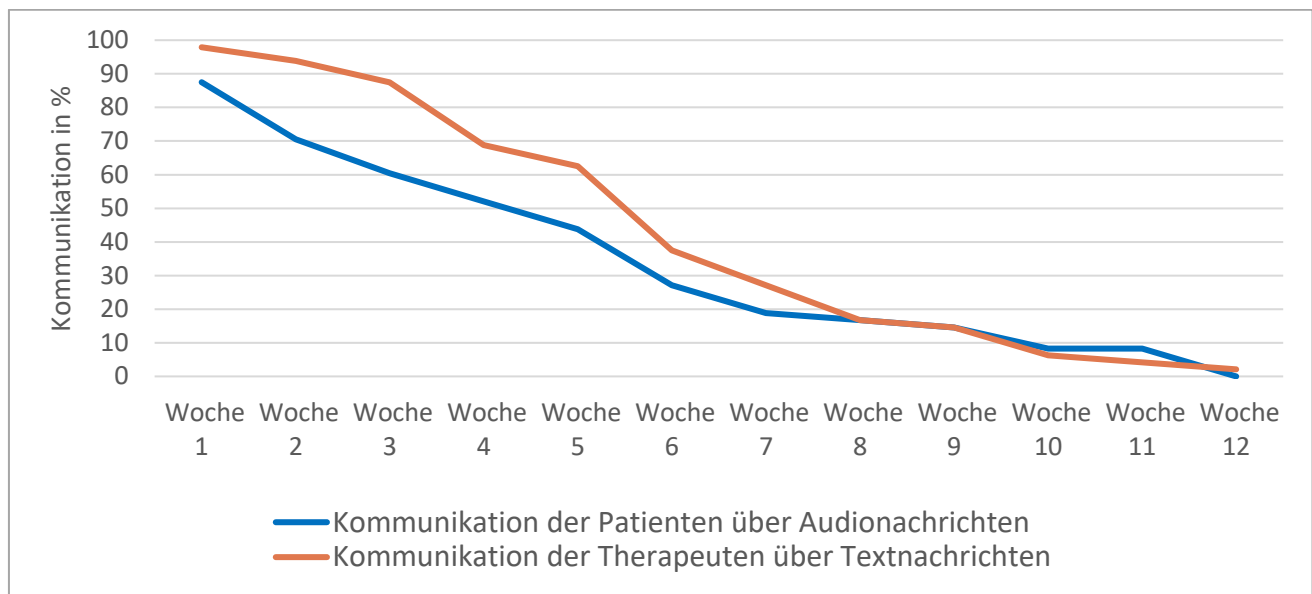


Abbildung 18: Kommunikationsverhalten der Therapeuten und der Patienten über das System (n = 48)

3.6 Technikakzeptanz

Der TUQ Gesamtwert liegt bei $75,3 \pm 17,7$ Punkten (Abbildung 19). In den Skalen „Nützlichkeit“ und „Benutzerfreundlichkeit und Erlernbarkeit“ liegen beide Skalen bei über 85 Punkten. Die Subskalen „Zufriedenheit und künftige Nutzung“ und „Qualität der Benutzeroberfläche“ weisen Ergebnisse von über 75 Punkten auf. Die Subskala „Qualität der Interaktion“ wurde von den Nutzern mit $59,6 \pm 36,2$ Punkten bewertet und die Subskala „Verlässlichkeit des Systems“ wurde mit $50,7 \pm 26,3$ Punkten bewertet.

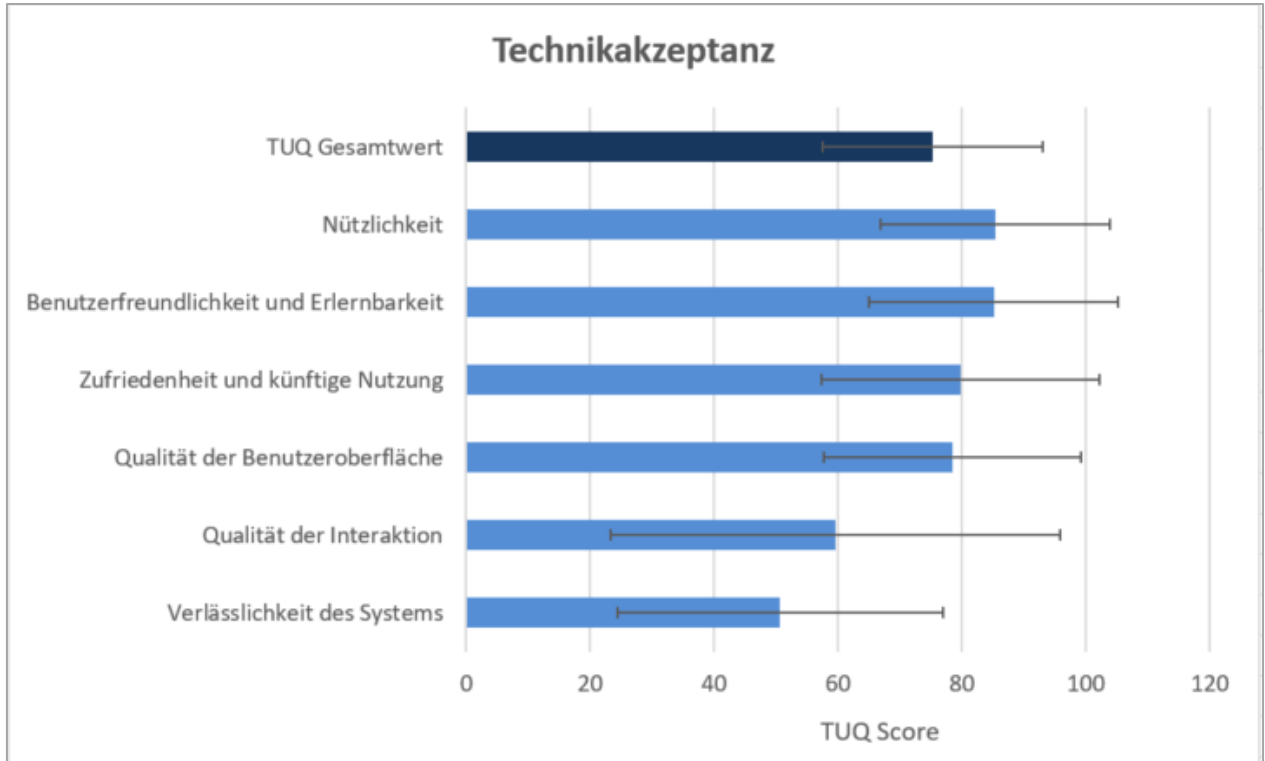


Abbildung 19: Technikakzeptanz der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie (Telehealth Usability Questionnaire) (n = 48)

3.7 Gesamtdauer der Nachsorgemaßnahmen und der eigenständigen körperlichen Aktivitäten

Die Gesamtdauer der postrehabilitativen Nachsorgemaßnahmen ergibt sich für die Interventionsgruppe aus der Summe der Dauer der durchgeführten IRENA Einheiten, der Physiotherapieeinheiten und der Einheiten der Tele-Nachsorge. Für die Kontrollgruppe wurde ein Summenwert der IRENA Einheiten und der Physiotherapieeinheiten gebildet. Im Mittel zeigt die Interventionsgruppe hierbei eine wöchentliche Gesamtdauer von 109 ± 18 Minuten und die Kontrollgruppe eine wöchentliche Gesamtdauer von 97 ± 17 Minuten. Ab der 7. Woche der Interventionsphase nimmt die Gesamtdauer der Nachsorgemaßnahmen in beiden Gruppen ab. Die Unterschiede der gemittelten Summenscores sind zu keinem Zeitpunkt statistisch signifikant.

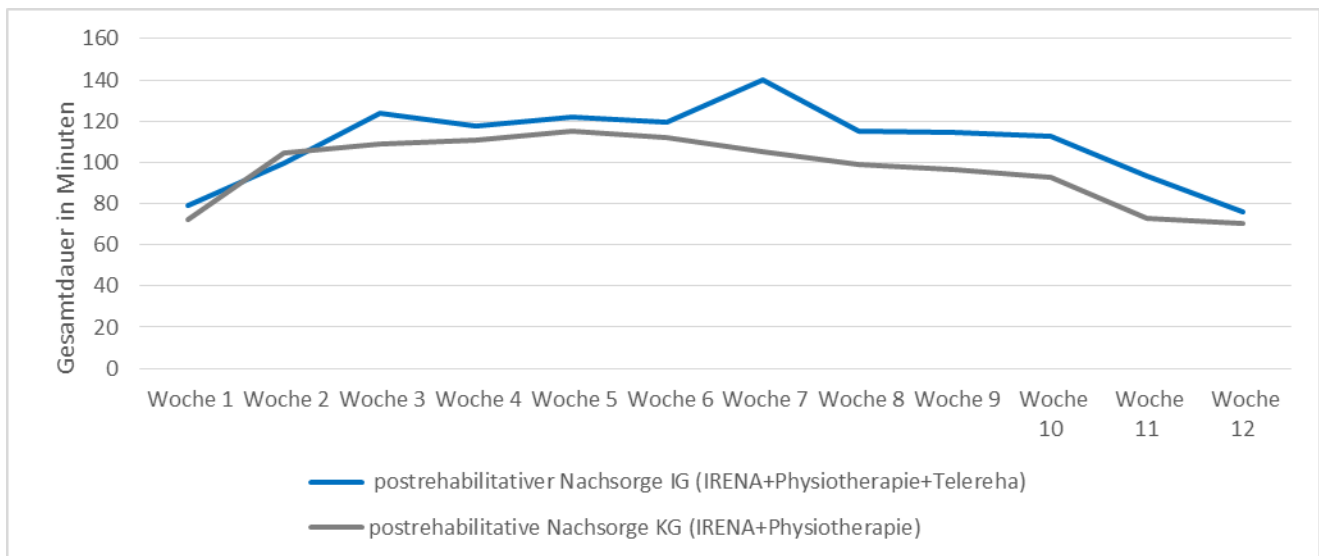


Abbildung 20: Gesamtdauer der postrehabilitativen Nachsorgemaßnahmen im Verlauf der Interventionsphase (n = 86)

Um die eigenständig durchgeführte körperliche Aktivität der beiden Gruppen zu vergleichen, wurden die durchschnittlichen wöchentlichen MET-minutes ermittelt. Beide Gruppen liegen über einem wöchentlichen Durchschnittswert von 500 MET-minutes. Die Interventionsgruppe gab wöchentlich durchschnittlich 565 ± 115 MET-minutes an, die Kontrollgruppe durchschnittlich 624 ± 48 MET-minutes (Abbildung 21). Für die Durchschnittswerte der MET-minutes gibt es keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede in den Trainingswochen, mit Ausnahme der neunten Woche. Hier gab die Kontrollgruppe statistisch signifikant mehr durchgeführte MET-minutes an.

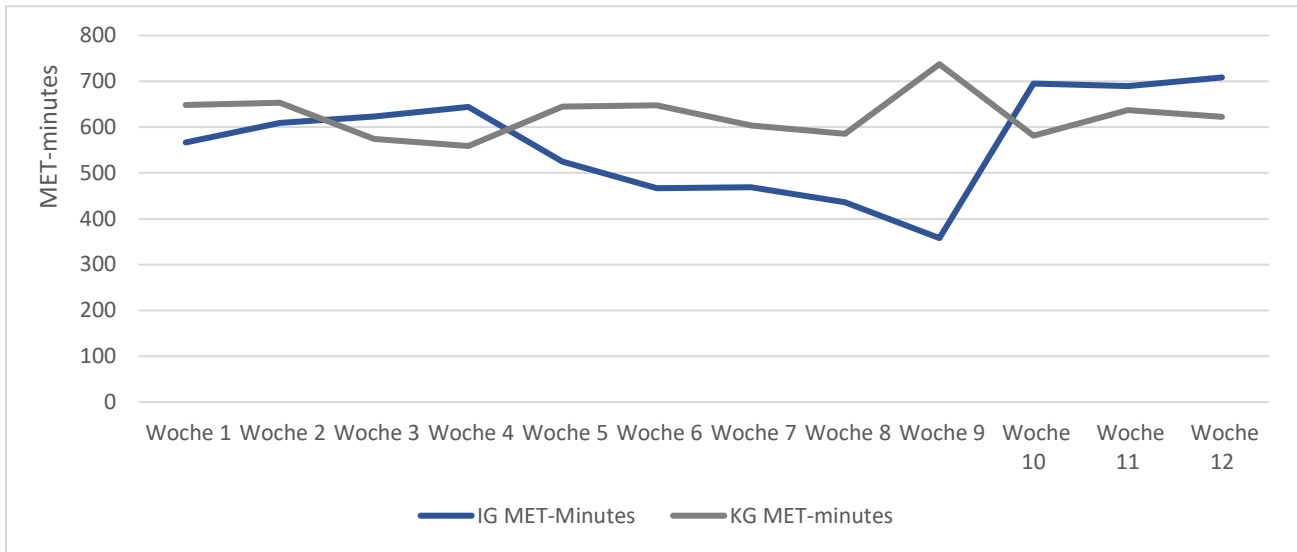


Abbildung 21: MET-minutes der eigenständig durchgeführten körperlichen Aktivität im Verlauf der Interventionsphase (n = 86)

4 Diskussion

In der orthopädischen Rehabilitation mangelt es bisher an bedarfsgerechten und flexiblen Reha-Nachsorgeangeboten für Patienten nach Knie- und Hüft-TEP. Die vorliegende Untersuchung konnte zeigen, dass eine dreimonatige telemedizinisch assistierte Bewegungstherapie bei Patienten nach endoprothetischem Gelenkersatz an der unteren Extremität hinsichtlich der erzielten Differenz im 6MWT gegenüber der herkömmlichen Nachsorge gleichwertig ist. Auch die sekundären Endpunkte zur funktionellen Mobilität, zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität und zu gelenkbezogenen Beschwerden weisen eine Gleichwertigkeit auf. Allerdings waren die Patienten der Interventionsgruppe zu einem signifikant höheren Anteil am Ende der Intervention beruflich wieder eingegliedert. Zudem zeigt die Telenachsorge eine gute Adhärenz und eine akzeptable Technikakzeptanz. Ob die telemedizinisch assistierte Bewegungstherapie somit eine geeignete Versorgungsform der Nachsorge sein kann, soll im Folgenden diskutiert werden.

4.1 Zusammensetzung der Patientenpopulation

Die Interventions- und Kontrollgruppe unterscheiden sich nahezu in keinem der Patientencharakteristika. Trotz der Methode des randomisiert kontrollierten Einschlusses der Patienten ist die Interventionsgruppe signifikant jünger. Allerdings kann dieser Altersunterschied aufgrund der verwendeten baseline-adjustierten Analysen keinen Einfluss auf die analysierten Endpunkte genommen haben. Der mit 54,3 % leicht erhöhte Frauenanteil, deckt sich mit bekannten Prävalenzen bei TEP-Patienten. Demnach sind weibliche Patienten aufgrund einer höheren Arthrose-Prävalenz häufiger betroffen [1,45]. Im Jahr 2016 waren 61 % der Hüft-TEP-Patienten und 62 % der Knie-TEP-Patienten weiblich [7]. Auch die höhere Rate an Hüft-TEP Patienten (68,5 %) im Vergleich zu Knie-TEP Patienten (31,5 %) deckt sich mit Angaben aus dem Qualitätsreports 2016 des Institutes für Qualitätssicherung im Gesundheitswesen [7]. Nahezu die Hälfte der Patienten (46,7 %) gilt als adipös. Adipositas ist einer der wesentlichen Risikofaktoren bei der Entstehung der Arthrose [179,180]. Verglichen mit Werten des Endoprothesenregisters 2016 [181] sind die ermittelten Zahlen dieser Studienpopulation allerdings hoch. Im Jahresbericht des Endoprothesenregisters wird die Nebendiagnose Adipositas ($\text{BMI} \geq 30$) bei insgesamt 15,7 % aller Erstimplantationen an der Hüfte und bei 27,4 % aller Erstimplantationen am Knie aufgeführt.

In der Studienpopulation lässt sich ein überdurchschnittliches Bildungsniveau feststellen (43,5 % mit Hochschulabschluss). Für 2015 belegen Zahlen der Agentur für Arbeit, dass in der Gesamtbevölkerung nur 20 % der Erwerbstätigen über einen Hochschulabschluss verfügen [182]. Auch ist die Arbeitslosenquote der Stichprobe mit einer Quote von 5,4 % verglichen mit dem Berliner Durchschnitt von 8,4 % als gering einzustufen [106].

In der Kontrollgruppe war eine höhere Dropout-Quote zu verzeichnen. Dies kann dadurch bedingt sein, dass die Interventionsgruppe eine zusätzliche Therapieoption durch die Studienteilnahme erhielt. Die Kontrollgruppe hingegen erhielt kein zusätzliches Angebot. Auch kann angenommen werden, dass die Interventionsgruppe eine stärkere Motivation zur Anreise zu den Untersuchungsterminen zeigte. Hierauf weist die statistisch signifikant kürzere Zeitspanne zwischen Reha-Ende und der Eingangsuntersuchung der Interventionsgruppe hin (IG: $4,6 \pm 3,5$ Tage; KG: $8,2 \pm 5,4$).

Nur ein Viertel der gescreenten Patienten konnten in die Studie eingeschlossen werden. Neben dem Hauptablehnungsgrund „kein Interesse“ (49 %) gaben 29 % als Ablehnungsgrund an, dass sie nicht über die nötigen technischen oder räumlichen Voraussetzungen verfügten. Ebenso geben Moffet et al. 2015 [116] mit 15 % und Piqueras et al. mit 35 % [114] auch niedrige Einschlussquoten für Interventionsstudien zur Telerehabilitation nach Knie-TEP an. Hieraus wird deutlich, dass die Tele-Nachsorge nur für eine limitierte Patientenpopulation umsetzbar zu sein scheint. Aktuell weisen ländliche Regionen hierzulande nach wie vor einen großen Rückstand in der Versorgung mit Breitbandanschlüssen im Vergleich zu städtischen Regionen auf [192]. Aufgrund der Eigenanreise zum Untersuchungszentrum ist es auch wahrscheinlich, dass Patienten mit einer eingeschränkten Mobilität und einem schlechten Gesundheitszustand nicht an der Studie teilnahmen und somit nicht in der Studienpopulation repräsentiert sind.

4.2 Wirksamkeit der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie

Betrachtet man den Verlauf der dreimonatigen Interventionsphase lässt sich in beiden Gruppen ein klinisch relevanter Anstieg im 6MWT belegen (KG: $88,3 \pm 57,7$ m; IG: $79,6 \pm 48,7$ m). Für Knie-TEP- und Hüft-TEP-Patienten gelten bereits eine Verbesserung von 50 m – 60 m als klinisch

bedeutsam [134]. In Bezug auf eine klinisch signifikante Verbesserung im 6MWT lässt sich vor allem auch die dreiwöchige Rehabilitationsphase hervorheben. Bereits in diesem deutlich kürzeren Zeitabschnitt zeigen beide Gruppen eine Zunahme der Gehstrecke (IG: $83,8 \pm 7,3$ m; KG: $59,7 \pm 8,8$ m). Dieser hohe Anstieg in der frühen postoperativen Phase lässt sich vermutlich auf die der Operation vorausgegangene physische Dekonditionierung und die plötzlich wiedergewonnene Schmerzfreiheit der Patienten zurückführen [25–27]. Nach einer üblicherweise langen Phase mit Schmerzen und Einschränkungen des betroffenen Gelenkes, sind die Patienten in der Regel ab dem ersten Tag nach dem Eingriff schmerzfrei und können und sollen das Gelenk so früh wie möglich wieder belasten [49–51].

Zum Ende der Intervention zeigen die 6MWT Werte (IG: 531 ± 79 m; KG: 514 ± 71 m) nur geringe Abweichungen von den Normwerten für Gesunde, die in dieser Altersgruppe bei 578 m für Männer und bei 534 m für Frauen liegen [183]. Die 6MWT Werte der hier untersuchten Stichprobe liegen über den 6MWT Werten vergleichbarer klinischer Populationen [77,134,138] und weisen somit auf ein hohes Niveau der körperlichen Leistungsfähigkeit in der untersuchten Population hin. Übereinstimmend mit den Ergebnissen des 6MWT belegen auch die Tests zur funktionellen Mobilität bei signifikanten Verbesserungen in beiden Gruppen keine Überlegenheit der Tele-Nachsorge während der dreimonatigen Studienphase. Für den 5STS weist die Kontrollgruppe jedoch eine statistisch signifikant höhere Verbesserung als die Interventionsgruppe auf. Allerdings liegt der Unterschied zwischen beiden Gruppen hier deutlich unter dem als klinisch relevant geltenden Wert von 2,5 s [150].

Bei der gesundheitsbezogenen Lebensqualität erreichen beide Gruppen im körperlichen Summenscore eine gleichwertige signifikante Steigerung während der Interventionsphase. Vor dem Hintergrund der hauptsächlich physisch orientierten Nachsorgemaßnahmen erscheint dieser Anstieg nachvollziehbar. Trotz der Verbesserung liegen die Patienten zum Ende der Intervention mit 44 Punkten immer noch leicht unter den altersgemäßen Normwerten von 47-49 Punkten des körperlichen Summenscores [163,164]. Für den postoperativen Zeitraum von drei Monaten lassen sich jedoch vergleichbare Werte (44-48 Punkte) für Patientenpopulationen nach Knie- und Hüft-TEP finden [77,138,143]. Die Werte des psychischen Summenscores weisen für beide Gruppen keine signifikanten Veränderungen im Verlauf der Intervention auf und liegen zum Ende der

Intervention (IG: $52,4 \pm 9,8$; KG: $54,1 \pm 10,6$) gering über dem Normwert von 48 - 50 Punkten [163,164]. Ebenso wenig zeigen andere Studien mit Knie- und Hüft-TEP Patienten signifikante Veränderungen des psychischen Summenscores im postoperativen Verlauf [77,184,185].

Für den WOMAC Index gelten Werte, die unter einem Cut-Off Wert von 29,5 Punkten liegen, als Behandlungserfolg nach Einsatz einer Knie-TEP [172]. Die Werte der untersuchten Studienpopulation lagen bereits zur Eingangsuntersuchung unter diesem Cut-Off Wert (IG: $26,4 \pm 18,5$; KG: $24,8 \pm 16,4$). Somit belegen diese Werte, dass schon der operative Eingriff und die anschließende Rehabilitation zu einem deutlichen Behandlungserfolg geführt haben. Im Mittel zeigten die Patienten also bereits zu Beginn der Intervention ein geringes Ausgangsniveau der gelenkbezogenen Beschwerden. In der postrehabilitativen Phase sank dieser Wert in beiden Gruppen nochmals signifikant ab (IG: $11,5 \pm 12,7$; KG: $13,9 \pm 14,3$; $p < 0,05$). Die WOMAC-Werte der Studienpopulation liegen auch unter den postoperativen WOMAC Werten anderer klinischer Populationen [173–175], wobei diese jedoch ein höheres Durchschnittsalter aufwiesen. In diesen Populationen sowie der hier untersuchten Stichprobe lassen sich ebenfalls hohe Standardabweichungen für die WOMAC Werte finden, die auf ausgeprägte interindividuelle Unterschiede der Patienten hinweisen. Zudem ist für den WOMAC bekannt, dass TEP-Patienten häufig den niedrigsten Wert wählen. Dieser Umstand wird als Bodeneffekt bezeichnet. Damit geht die Kritik einher, dass der WOMAC keine differenzierten Messergebnisse für Patienten mit einem geringen Ausmaß gelenkbezogener Beschwerden abbilden kann [174,186,187].

Die Verbesserungen bei den funktionellen Tests sowie den Patient Reported Outcomes (SF-36, WOMAC) scheinen für Patienten nach Gelenkersatz an der unteren Extremität einen relativ stabilen postoperativen Verlauf zu nehmen. Dabei werden die schlechtesten Werte für Knie-TEP Patienten unmittelbar nach der Operation beobachtet. Die größten Verbesserungen lassen sich in einem Zeitraum von drei Monaten postoperativ erkennen [172]. Dieser stabile Verlauf wird auch von zahlreichen Interventionsstudie gestützt, in denen der postoperative Verlauf von Patienten nach Knie- oder Hüft-TEP untersucht wurde [68,77,139,143].

Der primäre Endpunkt und die sekundären Endpunkte belegen eine Gleichwertigkeit der Tele-Nachsorge mit der herkömmlichen Versorgung. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit weiteren randomisiert kontrollierten Studien zur Wirksamkeit der Telerehabilitaion nach Knie-TEP [114–

116,188]. Alle bisherigen Studien zeigen eine Gleichwertigkeit der telemedizinisch assistierten Interventionen im Vergleich zu den herkömmlichen Versorgungsformen. Lediglich Tousignant et al. 2011 [115] fanden signifikant bessere Werte der gelenkbezogenen Beschwerden (WOMAC) in der Gruppe der herkömmlichen Versorgung.

Obwohl die Mehrheit der untersuchten Endpunkte keine Überlegenheit der telemedizinisch assistierten Trainingstherapie zeigt, war zum Ende der dreimonatigen Studienphase ein signifikant höherer Anteil der Interventionsgruppe beruflich wiedereingegliedert. Dieser Umstand lässt sich jedoch nicht durch eine verbesserte körperliche Leistungsfähigkeit, Lebensqualität oder reduzierte gelenkbezogene Beschwerden der Interventionsgruppe erklären. Es bleibt zu diskutieren, ob die Möglichkeit der orts- und zeitunabhängigen Durchführbarkeit der Tele-Nachsorge zu einer früheren beruflichen Wiedereingliederung der Interventionsgruppe geführt haben kann. Zudem sollte aber auch die hohe Dropout-Quote der Kontrollgruppe im Vergleich zur Interventionsgruppe berücksichtigt werden (IG: 14,3 %; KG: 29,1 %). Aufgrund des aufwendigen Anfahrtswegs zum Studienzentrum besteht die Möglichkeit, dass vor allem bei den beruflich wiedereingegliederten Patienten der Kontrollgruppe weder Bereitschaft noch Zeit zur Studienteilnahme vorhanden waren.

4.3 Postoperative Bewegungstherapien

Die herkömmlichen Nachsorgeangebote wurden von den Patienten der IG und der KG gleichermaßen in einem hohen Maße in Anspruch genommen. Da die Patienten überwiegend aus dem städtischen Raum kamen, ist davon auszugehen, dass hier keine Unterversorgung der entsprechenden Angebote vorhanden war. Die Teilnehmerate der Kontrollgruppe (51 %) an dem strukturierten Nachsorgeprogramm IRENA ist vergleichbar zu der von Sibold et al. 2012 ermittelten Teilnehmerate von 50 % für das strukturierte Nachsorgekonzept MERENA [48]. Auch in der Interventionsgruppe nahmen noch über 30 % am IRENA Programm teil. Zudem nahmen auch bis zur 7. Woche nahezu 80 % der Interventionsgruppe an der telemedizinisch assistierten Nachsorge teil. In den folgenden Wochen konnten noch Teilnehmeraten von über 60 % für die Tele-Nachsorge

erreicht werden. Die hohen Teilnahmeraten der Tele-Nachsorge könnten durch die zeitlich und örtlich unabhängige Durchführbarkeit dieser Versorgungsform bedingt sein. Sibold et al. 2012 nennen berufliche Verpflichtungen als einen Haupthinderungsgrund zur Teilnahme an Nachsorgeprogrammen [48]. Die Gesamtdauer der durchgeführten Nachsorgeangebote unterscheidet nicht sich signifikant zwischen den Gruppen, jedoch zeigt sich ab der 7. Woche eine Tendenz zur höheren Inanspruchnahme von Nachsorgeangeboten durch die IG. Dies kann auf eine verbesserte Vereinbarkeit der Nachsorgeangebote mit beruflichen Verpflichtungen hinweisen. Die nicht signifikanten Gruppenunterschiede der Gesamtdauer der Nachsorgemaßnahmen, könnten allerdings auch als Erklärungsansatz für die gleichwertigen Verbesserungen in den funktionellen Endpunkten beider Gruppen dienen.

Die Studienergebnisse zeigen, dass selbst nachdem ein Großteil der Patienten beruflich wieder eingegliedert war, noch eine gute Adhärenz der Tele-Nachsorge vorlag. Die gute und andauernde Adhärenz weist auch auf eine Akzeptanz und Umsetzbarkeit dieser Versorgungsform für Patienten nach Knie- und Hüft-TEP im berufsfähigen Alter hin. Auch Moffet et al. 2015 [116] konnten in ihrer Untersuchung eine gute Adhärenz einer Telerehabilitationsintervention für Patienten nach Knie-TEP zeigen. Nahezu die gesamte Studienpopulation (99 %) nahm hier an mindestens 75 % der Interventionstermine teil. In einer weiteren Untersuchung evaluierten die Autoren die Zufriedenheit der Patienten mit der erhaltenen Gesundheitsversorgung [189]. Mittels des Health Care Satisfaction Questionnaire [190] konnte ein hohes Maß der Zufriedenheit für Patienten der Telerehabilitationsgruppe belegt werden. Weiterhin zeigten sich auch im Vergleich mit der Kontrollgruppe, welche die herkömmliche Versorgung erhalten hatte, keine signifikanten Unterschiede in der Zufriedenheit mit der Gesundheitsversorgung. Die gute Adhärenz von Telerehabilitationsinterventionen unterstreicht das Potential der Telerehabilitation als eine klinisch wirksame Versorgungsform für Patienten nach Knie- und Hüft-TEP.

Die hohe Adhärenz an den verschiedenen Nachsorgeangeboten kann auch für das hohe Niveau der körperlichen Leistungsfähigkeit, welches die Studienpopulation zum Ende der Intervention zeigte, verantwortlich gewesen sein. Zudem weist die Adhärenz auch auf einen hohen Anspruch an die körperliche Leistungsfähigkeit und ein großes Maß an Ehrgeiz der untersuchten Population hin.

Vergleicht man die wöchentliche Gesamtdauer der durchgeführten Nachsorgemaßnahmen ergibt sich kein signifikanter Unterschied der Trainingsdauer zwischen beiden Gruppen. Aufgrund der hohen Inanspruchnahme an herkömmlichen Versorgungsangeboten konnte der Einsatz der Tele-Nachsorge nicht mehr zu einer signifikanten höheren Trainingsdauer der Nachsorgemaßnahmen führen. Auch dieser Umstand kann als Erklärungsansatz für die zum Großteil gleichwertigen Verbesserungen beider Gruppen im primären Endpunkt und einem Großteil der sekundären Endpunkte gesehen werden.

Insgesamt zeigt sich für beide Gruppen ab der 7. Woche eine kontinuierliche Abnahme der Dauer aller wahrgenommenen Nachsorgeangebote. Dies kann mit der beruflichen Wiedereingliederung der Patienten im Zusammenhang stehen. Der Median der beruflichen Wiedereingliederung lag für die Interventionsgruppe in der 7. Woche, was darauf hindeutet, dass die berufliche Wiedereingliederung eine der Hauptbarrieren zur Teilnahme an Nachsorgemaßnahmen ist.

Aus den Ergebnissen zur Trainingsdauer der Tele-Nachsorge wurde deutlich, dass sich die Eigenangabe der Patienten und die aus dem System generierten Daten deutlich unterscheiden. Bei den aus dem System generierten Daten wurde nur die reine Ausführungszeit der Übungen ausgewertet. Es ist davon auszugehen, dass die Patienten auch die benötigte Zeit für die Bedienung des Systems sowie die Demonstrationsphasen der Übungen in ihre Zeitangaben mit einbezogen haben. Darüber hinaus weisen Methoden zur Eigenangabe körperlicher Aktivität häufig Messfehler auf [191]. Im Verlauf der Intervention gleichen sich die Durchschnittswerte der Trainingsdauer an. Hierfür können ein geübter Umgang mit der Technik sowie das Überspringen der Demonstrationsphasen der Übungen verantwortlich gewesen sein.

Die Technikakzeptanz steht in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der Nutzung und Aufrechterhaltung der Nutzung von eHealth Anwendungen [192–194]. In dieser Untersuchung lag der durchschnittliche Wert der Technikakzeptanz mit $75,3 \pm 17,7$ Punkten im oberen Viertel der Skala zur Technikakzeptanz. Dabei weisen vor allem die Subskalen zur Bedienbarkeit und der wahrgenommenen Nützlichkeit auf eine hohe Technikakzeptanz hin, da deren Durchschnittswerte alle im oberen Viertel liegen. Für den TUQ lassen sich keine Vergleichswerte in der Literatur finden. Jedoch haben Bini et. al 2016 [113] die Technikakzeptanz ihrer Telerehabilitationsplattform bei Patienten nach Knie-TEP untersucht. Mittels einer fünfstufigen Likert Skala bewerteten die

Patienten ihre Aussagen zum Umgang mit der Plattform. In dieser Studie wurden alle Kategorien mit Punktzahlen im oberen Viertel der Skala bewertet.

In der hier vorliegenden Studie wurden zwei Skalen zur Technikakzeptanz („Qualität der Interaktion“ und „Verlässlichkeit des Systems“) von den Teilnehmern jedoch deutlich negativer bewertet ($59,6 \pm 36,2$ und $50,7 \pm 26,3$ Punkte). Die schlechtere Bewertung der Qualität der Interaktion kann auch für das abnehmende Kommunikationsverhalten im Laufe der Intervention verantwortlich gewesen sein. Zum Ende der Intervention fand zwischen den Patienten und Therapeuten nahezu kein Austausch mehr statt. Die Therapeuten-Patienten-Interaktion ist jedoch eine geeignete Maßnahme, um die Adhärenz der Patienten zu erhalten [195,196]. Der Therapeut kann dem Patienten ein Feedback geben, seinen Trainingsfortschritt einordnen und ihm die Notwendigkeit der Interventionsmaßnahmen vermitteln. In zukünftigen Telerehabilitationsinterventionen sollte eine durchgehende Therapeuten-Patienten-Interaktion angestrebt werden. Auch die als gering wahrgenommene Verlässlichkeit des Systems könnte zu einer geringeren Nutzungsbereitschaft des Systems geführt haben. Vor dem klinischen Einsatz von Telerehabilitationssystemen sollte daher eine hohe Technikakzeptanz sichergestellt werden, um eine hohe Adhärenz bei den Interventionen erzielen zu können.

Für die eigenständig durchgeführte körperliche Aktivität liegen beide Gruppen über einem wöchentlichen Durchschnittswert von 500 MET-minutes. Das Physical Activity Guidelines Advisory Committee empfiehlt wöchentlich 500-1000 MET-minutes körperliche Aktivität. Die Hälfte der US Bevölkerung erfüllt diese Empfehlungen nicht [197]. Auch der Umstand, dass die hier untersuchte Studienpopulation diese Empfehlung bereits in der postrehabilitativen Phase erfüllt hat, kann das hohe Niveau der körperlichen Leistungsfähigkeit der Studienpopulation erklären.

4.4 Limitationen

Es lässt sich ein überdurchschnittliches Bildungsniveau sowie eine geringe Arbeitslosenquote in der untersuchten Studienpopulation feststellen. Zudem wird bei der Herkunft deutlich, dass ein Großteil der Patienten aus Berlin sowie dem angrenzenden Umland kam. In dieser Untersuchung kann der eigenständig und zweimal durchzuführende Anfahrtsweg zur Universität Potsdam ein

Hinderungsgrund für die Teilnahme von Patienten aus weiter entfernten strukturschwachen Gebieten gewesen sein. Aber auch die geringere Verfügbarkeit von Breitband-Anschlüssen in ländlichen Gebieten kann hierfür ursächlich gewesen sein [198]. Nur knapp ein Viertel der gescreenten Patienten nahm an der Studie teil. Die geringe Teilnahmequote sowie die diskutierten Patientencharakteristika legen daher einen Selektionsbias nahe.

Aufgrund eines möglichen Selektionsbias in Bezug auf den Bildungsgrad, die Herkunft und das Niveau der körperlichen Leistungsfähigkeit sind die Studienergebnisse nur bedingt auf die Regelversorgung übertragbar. Zudem sind die Ergebnisse auch nur für Patienten im erwerbsfähigen Alter repräsentativ. Zur Untersuchung einer möglichst repräsentativen Stichprobe sollten zukünftige Studien geringe Barrieren für eine Studienteilnahme anstreben. Dabei wäre es auch denkbar der Kontrollgruppe einen vergleichbaren Anreiz zur Studienteilnahme anzubieten, um deren Compliance sicherzustellen. Eine weitere Limitation des Studiendesigns war die fehlende Verblindung der Studienteilnehmer sowie der Untersucher und Therapeuten. Hierdurch kann eine mögliche Beeinflussung der Teilnehmer während der Messungen nicht ausgeschlossen werden. Es ist bekannt, dass in nicht verblindeten Studien größere Interventionseffekte als in verblindeten Studien gezeigt werden [199].

Aufgrund der Tatsache, dass alle Patienten eine Rehabilitation und Nachsorgemaßnahmen durchgeführt haben, lassen sich jedoch keine kausalen Schlüsse darüber ziehen, ob tatsächlich die Rehabilitationsmaßnahmen für die signifikanten Verbesserungen im Zeitverlauf verantwortlich waren. Zahlreiche Untersuchungen konnten jedoch bereits die Wirksamkeit postoperativer Bewegungstherapien für kurzfristige Follow-Up Zeitpunkte belegen [68,71]. Für Langzeiteffekte liegt bisher jedoch keine ausreichende Evidenz vor [68]. Padgett et al., 2017 [200] verglichen Knie-TEP Patienten, die an einer stationären Rehabilitation teilnahmen mit einer vergleichbaren Patientengruppe, welche keine Rehabilitation durchführte. Zwei Jahre später konnten keine Unterschiede für die funktionellen Outcomes zwischen den Gruppen nachgewiesen werden. Zudem lässt sich auch nicht feststellen welche Verbesserungen auf den Effekt der Tele-Nachsorge zurückführbar sind, da die herkömmliche Nachsorge in dieser Studie nicht durch die Tele-Nachsorge ersetzt werden konnte, sondern lediglich erweitert wurde. Aus ethischen und rechtlichen Gründen muss jedem Patienten der Zugang zu den herkömmlichen

Nachsorgeangeboten gewährt werden. Auch ließen sich die Trainingsinhalte und Trainingshäufigkeiten der postoperativen Bewegungstherapien zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe nicht standardisieren.

Weiterhin weisen die Trainingsinhalte der telemedizinisch assistierten Trainingsintervention nur einen geringen Grad der Standardisierung auf. Eine Trainingsintervention muss progressiv gestaltet werden, um eine trainingswirksame Belastung zu erzielen. Die progressive Gestaltung des Trainingsplans beruhte in dieser Studie auf der subjektiven Einschätzung der betreuenden Physiotherapeuten und kann quantitativ nicht nachvollzogen werden. Dass Patienten in einem trainingsunwirksamen Level trainiert haben, kann daher nicht ausgeschlossen werden. Oatis et al. 2018 [201] konnten aufzeigen, dass physiotherapeutische Interventionen nach Einsatz einer Knie-TEP häufig eine unzureichende Dosierung zur Erzielung optimaler postoperativer Ergebnisse beinhalten. Hinsichtlich der Gestaltung eines effektiven Trainingsprogrammes existieren auch weitere Trainingsmaßnahmen, für die eine Wirksamkeit für Knie- und Hüft-Patienten belegt werden konnte. Dazu zählen Übungen mit zusätzlichen Trainingsgewichten oder auch funktionellere Formen des Trainings wie z.B. Walking, Gangschule, Ergometertraining oder Treppentraining [78,139,202,203]. Zukünftig könnte evaluiert werden, inwiefern sich solche Maßnahmen in Angebote der Tele-Nachsorge integrieren lassen und die Wirksamkeit der Tele-Nachsorge erhöhen können.

Es sollte auch diskutiert werden, ob eine unimodale Therapieoption eine ausreichende Form der Reha-Nachsorge für Patienten nach Knie- und Hüft-TEP darstellen kann. In Zukunft könnte der individuelle Bedarf an Therapieoptionen zur Tele-Nachsorge über Screeningverfahren ermittelt werden. Im Rahmen der Tele-Nachsorge ist es auch denkbar, andere Therapiebausteine wie z.B. psychotherapeutische oder sozialtherapeutische Interventionen zu entwickeln um den Patienten so bedarfsgerechte multimodale Tele-Nachsorge Programme anbieten zu können. Neben der Entwicklung weiterer Therapiebausteine bedingt der rasante technische Fortschritt zukünftig auch eine Weiterentwicklung der Telerehabilitationssysteme. So ist es z.B. denkbar, Bewegungsanalysen über das Smartphone zu realisieren oder Rehabilitanden in virtuellen Realitäten trainieren zu lassen. Weiterhin werden auch multi-sensorische Feedbacksysteme in zukünftige Telerehabilitationsanwendungen integriert werden [204,205].

4.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die telemedizinisch assistierte Bewegungstherapie für Knie- oder Hüft-TEP-Patienten ist der herkömmlichen Versorgung zur Nachsorge hinsichtlich der erzielten Verbesserungen bei der funktionellen Mobilität, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der gelenkbezogenen Beschwerden gleichwertig. Es ließen sich in dieser Patientenpopulation klinisch relevante Verbesserungen unabhängig von der Form der Bewegungstherapie erzielen.

In der Patientengruppe mit der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie konnte eine mit 18 % höhere Rate der beruflichen Wiedereingliederung zum Ende der dreimonatigen Interventionsphase festgestellt werden. Zudem zeigt die Telenachsorge eine gute Adhärenz. Die Tele-Nachsorge scheint somit eine geeignete Versorgungsform der Nachsorge zu sein, die orts- und zeitunabhängig durchgeführt werden kann und sich daher mit Anforderungen des privaten und beruflichen Umfelds der Rehabilitanden vereinbaren lässt. Allerdings konnte dies nur für Patienten im berufsfähigen Alter mit einem hohen Bildungsstatus und einem Zugang zum Internet belegt werden. Die Tele-Nachsorge sollte daher nur als eine optionale und komplementäre Form der postrehabilitativen Nachsorge angeboten werden, um Ungleichheiten im Zugang zu postrehabilitativen Nachsorgeangeboten zu vermeiden. Da zukünftig vor allem eine stark ausgeprägte Zunahme geriatrischer Hüft-TEP-Patienten zu erwarten ist [206], sollten auch hierfür zielgruppenspezifische telemedizinische Versorgungsangebote entwickelt und evaluiert werden um sich abzeichnende Versorgungsbedarfe zu decken.

Auch im Hinblick auf den ansteigenden Fachkräftemangel im Bereich der Physiotherapie und mit Blick auf bestehende Versorgungslücken in strukturschwachen Gebieten kann der Einsatz der Tele-Nachsorge Lösungsansätze bieten. Bevor die Tele-Nachsorge jedoch flächendeckend angeboten werden könnte, müssen alle Regionen Zugangsmöglichkeiten zum Breitband-Internet erhalten. Digitale Lösungen der Reha-Nachsorge eröffnen die Chance, zentrale Elemente der Rehabilitation in den Alltag der Rehabilitanden zu integrieren.

Literaturverzeichnis

- [1] H.-H. Bleß and M. Kip, *Weißbuch Gelenkersatz*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017.
- [2] L. Shan, B. Shan, D. Graham et al., "Total hip replacement: a systematic review and meta-analysis on mid-term quality of life," *Osteoarthritis and cartilage*, vol. 22, no. 3, pp. 389–406, 2014.
- [3] S. M. A. Bierma-Zeinstra and B. W. Koes, "Risk factors and prognostic factors of hip and knee osteoarthritis," *Nature clinical practice. Rheumatology*, vol. 3, no. 2, pp. 78–85, 2007.
- [4] A. Wengler, U. Nimptsch, and T. Mansky, "Hip and knee replacement in Germany and the USA: analysis of individual inpatient data from German and US hospitals for the years 2005 to 2011," *Deutsches Ärzteblatt international*, vol. 111, 23-24, pp. 407–416, 2014.
- [5] H. Maradit Kremers, D. R. Larson, C. S. Crowson et al., "Prevalence of Total Hip and Knee Replacement in the United States," *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, vol. 97, no. 17, pp. 1386–1397, 2015.
- [6] V. Pilz, T. Hanstein, and R. Skripitz *Acta orthopaedica*, pp. 1–6, 2018.
- [7] Institut für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen, *Qualitätsreport*, IQTIG, Berlin, 2016.
- [8] Statistisches Bundesamt, "20 häufigsten Hauptdiagnosen in Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen 2014," <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/VorsorgeRehabilitationseinrichtungen/Tabellen/DiagnosenVorsorgeReha.html>.
- [9] D. C. Wirtz, *AE-Manual der Endoprothetik*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [10] R. F. Loeser, "Aging and osteoarthritis: the role of chondrocyte senescence and aging changes in the cartilage matrix," *Osteoarthritis and cartilage*, vol. 17, no. 8, pp. 971–979, 2009.
- [11] M. I. O'Connor, "Sex differences in osteoarthritis of the hip and knee," *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 15 Suppl 1, S22-5, 2007.
- [12] M. J. Peffers, P. Balaskas, and A. Smagul, "Osteoarthritis year in review 2017: genetics and epigenetics," *Osteoarthritis and cartilage*, 2017.
- [13] K. Kulkarni, T. Karssiens, V. Kumar et al., "Obesity and osteoarthritis," *Maturitas*, vol. 89, pp. 22–28, 2016.
- [14] S. A. Richmond, R. K. Fukuchi, A. Ezzat et al., "Are joint injury, sport activity, physical activity, obesity, or occupational activities predictors for osteoarthritis? A systematic review," *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, vol. 43, no. 8, 515-B19, 2013.
- [15] E. B. P. Lopes, A. Filiberti, S. A. Husain et al., "Immune Contributions to Osteoarthritis," *Current osteoporosis reports*, vol. 15, no. 6, pp. 593–600, 2017.
- [16] L. Sharma, D. Kapoor, and S. Issa, "Epidemiology of osteoarthritis: an update," *Current opinion in rheumatology*, vol. 18, no. 2, pp. 147–156, 2006.
- [17] M. Rahmati, G. Nalesso, A. Mobasheri et al., "Aging and osteoarthritis: Central role of the extracellular matrix," *Ageing research reviews*, vol. 40, pp. 20–30, 2017.
- [18] N. Maruotti, A. Corrado, and F. P. Cantatore, "Osteoblast role in osteoarthritis pathogenesis," *Journal of cellular physiology*, vol. 232, no. 11, pp. 2957–2963, 2017.
- [19] A. J. Hall, B. Stubbs, M. A. Mamas et al., "Association between osteoarthritis and cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis," *European journal of preventive cardiology*, vol. 23, no. 9, pp. 938–946, 2016.

- [20] M. F. Williams, D. A. London, E. M. Husni et al., "Type 2 diabetes and osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis," *Journal of diabetes and its complications*, vol. 30, no. 5, pp. 944–950, 2016.
- [21] R. Caporali, M. A. Cimmino, P. Sarzi-Puttini et al., "Comorbid conditions in the AMICA study patients: effects on the quality of life and drug prescriptions by general practitioners and specialists," *Seminars in arthritis and rheumatism*, vol. 35, 1 Suppl 1, pp. 31–37, 2005.
- [22] M. D. Kohn, A. A. Sassoon, and N. D. Fernando, "Classifications in Brief: Kellgren-Lawrence Classification of Osteoarthritis," *Clinical orthopaedics and related research*, vol. 474, no. 8, pp. 1886–1893, 2016.
- [23] C. J. Wirth, W.-E. Mutschler, D. Kohn et al., *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*, Georg Thieme Verlag KG, s.l., 2014.
- [24] L. Claes, ed., *Hüfte und Hüftrevision*, Springer, Heidelberg, 2012.
- [25] M. D. Ries, E. F. Philbin, and G. D. Groff, "Relationship between severity of gonarthrosis and cardiovascular fitness," *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, no. 313, pp. 169–176, 1995.
- [26] M. Deasy, E. Leahy, and A. I. Semciw, "Hip Strength Deficits in People With Symptomatic Knee Osteoarthritis: A Systematic Review With Meta-analysis," *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, vol. 46, no. 8, pp. 629–639, 2016.
- [27] R. Stemberger and K. Kersch-Schindl, "Osteoarthritis: physical medicine and rehabilitation--nonpharmacological management," *Wiener medizinische Wochenschrift (1946)*, vol. 163, 9-10, pp. 228–235, 2013.
- [28] H.-H. Bleß and M. Kip, eds., *Weißbuch Gelenkersatz: Versorgungssituation bei endoprothetischen Hüft- und Knieoperationen in Deutschland*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [29] W. J. Rejeski and S. Shumaker, "Knee osteoarthritis and health-related quality of life," *Medicine and science in sports and exercise*, vol. 26, no. 12, pp. 1441–1445, 1994.
- [30] J. H. Yang, K. Lee, S. Y. Jung et al., "Osteoarthritis Affects Health-Related Quality of Life in Korean Adults with Chronic Diseases: The Korea National Health and Nutritional Examination Surveys 2009-2013," *Korean journal of family medicine*, vol. 38, no. 6, pp. 358–364, 2017.
- [31] V. Lowry, P. Ouellet, P.-A. Vendittoli et al., "Determinants of pain, disability, health-related quality of life and physical performance in patients with knee osteoarthritis awaiting total joint arthroplasty," *Disability and rehabilitation*, pp. 1–11, 2017.
- [32] Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, "Endoprothese bei Gonarthrose," http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-008_S1_Endoprothese_bei_Gonarthrose_2009_pdf.
- [33] Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, "Endoprothese bei Koxarthrose," <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/012-006.html>.
- [34] J. A. Singh and D. G. Lewallen, "Medical and psychological comorbidity predicts poor pain outcomes after total knee arthroplasty," *Rheumatology (Oxford, England)*, vol. 52, no. 5, pp. 916–923, 2013.
- [35] T. Schäfer, F. Krummenauer, J. Mettelsiefen et al., "Social, educational, and occupational predictors of total hip replacement outcome," *Osteoarthritis and cartilage*, vol. 18, no. 8, pp. 1036–1042, 2010.
- [36] A.-K. Nilsson and L. S. Lohmander, "Age and waiting time as predictors of outcome after total hip replacement for osteoarthritis," *Rheumatology (Oxford, England)*, vol. 41, no. 11, pp. 1261–1267, 2002.

- [37] S. A. Alattas, T. Smith, M. Bhatti et al., "Greater pre-operative anxiety, pain and poorer function predict a worse outcome of a total knee arthroplasty," *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, vol. 25, no. 11, pp. 3403–3410, 2017.
- [38] K.-P. Günther, E. Haase, T. Lange et al., "Persönlichkeitsprofil und Komorbidität: Gibt es den "schwierigen Patienten" in der primären Hüftendoprothetik?," *Der Orthopäde*, vol. 44, no. 7, pp. 555–565, 2015.
- [39] J. A. Singh and D. G. Lewallen, "Depression in primary TKA and higher medical comorbidities in revision TKA are associated with suboptimal subjective improvement in knee function," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 15, p. 127, 2014.
- [40] G. N. Lewis, D. A. Rice, P. J. McNair et al., "Predictors of persistent pain after total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis," *British journal of anaesthesia*, vol. 114, no. 4, pp. 551–561, 2015.
- [41] F. Wilken, I. J. Banke, F. Laux et al., "So wird der Hüftgelenkersatz geplant," *MMW - Fortschritte der Medizin*, vol. 156, no. 17, pp. 51–55, 2014.
- [42] OECD, *Health at a Glance 2017: OECD Indicators*, Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, Paris, 2017.
- [43] Statistisches Bundesamt, "Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Diagnosen, Prozeduren, Fallpauschalen und Case Mix der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern - Fachserie 12 Reihe 6.4 - 2015,".
- [44] J. Ziegler, M. Amlang, M. Bottesi et al., "Ergebnisse endoprothetischer Versorgung bei Patienten vor dem 50. Lebensjahr," *Der Orthopäde*, vol. 36, no. 4, pp. 325–336, 2007.
- [45] M. Rabenberg, ed., *Arthrose*, Robert Koch-Inst, Berlin, 2013.
- [46] Statistisches Bundesamt, *Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik): Diagnosen, Prozeduren, Fallpauschalen und Case Mix der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern*, Wiesbaden, 2014.
- [47] Deutsche Rentenversicherung, "Rahmenkonzept zur Nachsorge: für medizinische Rehabilitation nach § 15 SGB VI,".
- [48] M. Sibold, O. Mittag, B. Kulick et al., "Prädiktoren der Teilnahme an einer Nachsorge nach ambulanter Rehabilitation bei erwerbstätigen Rehabilitanden mit chronischen Rückenschmerzen," *Die Rehabilitation*, vol. 50, no. 6, pp. 363–371, 2011.
- [49] S. T. Woolson and N. S. Adler, "The effect of partial or full weight bearing ambulation after cementless total hip arthroplasty," *The Journal of Arthroplasty*, vol. 17, no. 7, pp. 820–825, 2002.
- [50] C. J. Taunt, H. Finn, and P. Baumann, "Immediate weight bearing after cementless total hip arthroplasty," *Orthopedics*, vol. 31, no. 3, p. 223, 2008.
- [51] J. Jerosch, J. Heisel, C. O. Tibesku et al., *Knieendoprothetik: Indikationen, Operationstechnik, Nachbehandlung, Begutachtung*, Springer, Berlin, 2015.
- [52] K. G. Henderson, J. A. Wallis, and D. A. Snowdon, "Active physiotherapy interventions following total knee arthroplasty in the hospital and inpatient rehabilitation settings: a systematic review and meta-analysis," *Physiotherapy*, 2017.
- [53] *Westby (Hg.) 2008 – Cochrane Database of Systematic Reviews*.
- [54] M. G. Joice, S. Bhowmick, and D. F. Amanatullah, "Perioperative Physiotherapy in Total Knee Arthroplasty," *Orthopedics*, pp. 1–9, 2017.
- [55] V. S. Husby, J. Helgerud, S. Bjørgen et al., "Early maximal strength training is an efficient treatment for patients operated with total hip arthroplasty," *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 90, no. 10, pp. 1658–1667, 2009.

- [56] T. McGinn, M. Chughtai, A. Khlopa et al., "Early Outpatient Physical Therapy May Improve Range-of-Motion in Primary Total Knee Arthroplasty," *The journal of knee surgery*, 2017.
- [57] L. R. Mikkelsen, I. Mechlenburg, K. Søballe et al., "Effect of early supervised progressive resistance training compared to unsupervised home-based exercise after fast-track total hip replacement applied to patients with preoperative functional limitations. A single-blinded randomised controlled trial," *Osteoarthritis and cartilage / OARS, Osteoarthritis Research Society*, vol. 22, no. 12, pp. 2051–2058, 2014.
- [58] E. Trudelle-Jackson and S. S. Smith, "Effects of a late-phase exercise program after total hip arthroplasty: a randomized controlled trial," *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 85, no. 7, pp. 1056–1062, 2004.
- [59] E. F. Philbin, G. D. Groff, M. D. Ries et al., "Cardiovascular fitness and health in patients with end-stage osteoarthritis," *Arthritis and rheumatism*, vol. 38, no. 6, pp. 799–805, 1995.
- [60] T. Horstmann, F. Martini, F. Mayer et al., "Kraftverhalten der hüftumgreifenden Muskulatur und Gehfähigkeit bei Patienten nach Implantation einer zementfreien Hüftendoprothese," *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, vol. 133, no. 6, pp. 562–567, 1995.
- [61] D. Vahtrik, H. Gapeyeva, H. Aibast et al., "Quadriceps femoris muscle function prior and after total knee arthroplasty in women with knee osteoarthritis," *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, vol. 20, no. 10, pp. 2017–2025, 2012.
- [62] A. Rasch, A. H. Byström, N. Dalén et al., "Persisting muscle atrophy two years after replacement of the hip," *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, vol. 91, no. 5, pp. 583–588, 2009.
- [63] D. S. Barrett, A. G. Cobb, and G. Bentley, "Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees," *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, vol. 73, no. 1, pp. 53–56, 1991.
- [64] S. M. Isaac, K. L. Barker, I. N. Danial et al., "Does arthroplasty type influence knee joint proprioception? A longitudinal prospective study comparing total and unicompartmental arthroplasty," *The Knee*, vol. 14, no. 3, pp. 212–217, 2007.
- [65] S. F. Papagelopoulos PJ1, "Limited range of motion after total knee arthroplasty: etiology, treatment, and prognosis.," *Ortopaedics*, 1997.
- [66] T. Horstmann, Heitkamp, H, C, and G. Haupt, "Möglichkeiten und Grenzen der Sporttherapie bei Coxarthrose- und Hüftendoprothesen-Patienten," *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, vol. 52, pp. 274–278, 2001.
- [67] J. Knoop, M. P. M. Steultjens, M. van der Leeden et al., "Proprioception in knee osteoarthritis: a narrative review," *Osteoarthritis and cartilage*, vol. 19, no. 4, pp. 381–388, 2011.
- [68] N. Artz, K. T. Elvers, C. M. Lowe et al., "Effectiveness of physiotherapy exercise following total knee replacement: systematic review and meta-analysis," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 16, p. 15, 2015.
- [69] "Physiotherapy rehabilitation after total knee or hip replacement: an evidence-based analysis," *Ontario health technology assessment series*, vol. 5, no. 8, pp. 1–91, 2005.
- [70] O. Ozdemir and B. U. L. Tosun, "Effects of Home Exercise Programmes During Home Visits After Hip Replacement: A Systematic Review," *Journal of the College of Physicians and Surgeons-Pakistan : JCPSP*, vol. 27, no. 1, pp. 34–37, 2017.
- [71] E. Muller, O. Mittag, M. Gulich et al., "Systematische Literaturanalyse zu Therapien in der Rehabilitation nach Hüft- und Kniegelenks-Total-Endoprothesen: Methoden, Ergebnisse und Herausforderungen," *Die Rehabilitation*, vol. 48, no. 2, pp. 62–72, 2009.

- [72] A. Zech, S. Hendrich, and K. Pfeifer, "Association Between Exercise Therapy Dose and Functional Improvements in the Early Postoperative Phase After Hip and Knee Arthroplasty: An Observational Study," *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, vol. 7, no. 10, pp. 1064–1072, 2015.
- [73] C. J. Minns Lowe, K. L. Barker, M. E. Dewey et al., "Effectiveness of physiotherapy exercise following hip arthroplasty for osteoarthritis: a systematic review of clinical trials," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 10, p. 98, 2009.
- [74] W. F. Peter, R. G. H. H. Nelissen, and T. P. M. V. Vlieland, "Guideline recommendations for post-acute postoperative physiotherapy in total hip and knee arthroplasty: are they used in daily clinical practice?," *Musculoskeletal care*, vol. 12, no. 3, pp. 125–131, 2014.
- [75] L. R. Mikkelsen, I. Mechlenburg, K. Søballe et al., "Effect of early supervised progressive resistance training compared to unsupervised home-based exercise after fast-track total hip replacement applied to patients with preoperative functional limitations. A single-blinded randomised controlled trial," *Osteoarthritis and cartilage / OARS, Osteoarthritis Research Society*, vol. 22, no. 12, pp. 2051–2058, 2014.
- [76] C. Eulenburg, A.-L. Rahlf, A. Kutasow et al., "Agreements and disagreements in exercise therapy prescriptions after hip replacement among rehabilitation professionals: a multicenter survey," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 16, p. 185, 2015.
- [77] M. J. Bade, T. Struessel, M. Dayton et al., "Early High-Intensity Versus Low-Intensity Rehabilitation After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial," *Arthritis care & research*, vol. 69, no. 9, pp. 1360–1368, 2017.
- [78] M. Di Monaco and C. Castiglioni, "Which type of exercise therapy is effective after hip arthroplasty? A systematic review of randomized controlled trials," *European journal of physical and rehabilitation medicine*, vol. 49, no. 6, 893-907, quiz 921-3, 2013.
- [79] M. Di Monaco, F. Vallero, R. Tappero et al., "Rehabilitation after total hip arthroplasty: a systematic review of controlled trials on physical exercise programs," *European journal of physical and rehabilitation medicine*, vol. 45, no. 3, pp. 303–317, 2009.
- [80] W. Stryla, A. M. Pogorzala, P. Rogala et al., "Algorithm of physical therapy exercises following total hip arthroplasty," *Polish orthopedics and traumatology*, vol. 78, pp. 33–39, 2013.
- [81] B. Skoffler, U. Dalgas, and I. Mechlenburg, "Progressive resistance training before and after total hip and knee arthroplasty: a systematic review," *Clinical Rehabilitation*, vol. 29, no. 1, pp. 14–29, 2015.
- [82] R. Tsukagoshi, H. Tateuchi, Y. Fukumoto et al., "Functional performance of female patients more than 6 months after total hip arthroplasty shows greater improvement with weight-bearing exercise than with non-weight-bearing exercise. Randomized controlled trial," *European journal of physical and rehabilitation medicine*, vol. 50, no. 6, pp. 665–675, 2014.
- [83] I. Aprile, R. S. Rizzo, E. Romanini et al., "Group rehabilitation versus individual rehabilitation following knee and hip replacement: a pilot study with randomized, single-blind, cross-over design," *European journal of physical and rehabilitation medicine*, vol. 47, no. 4, pp. 551–559, 2011.
- [84] V. Ko, J. Naylor, I. Harris et al., "One-to-one therapy is not superior to group or home-based therapy after total knee arthroplasty: a randomized, superiority trial," *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, vol. 95, no. 21, pp. 1942–1949, 2013.
- [85] M. S. Austin, B. T. Urbani, A. N. Fleischman et al., "Formal Physical Therapy After Total Hip Arthroplasty Is Not Required: A Randomized Controlled Trial," *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, vol. 99, no. 8, pp. 648–655, 2017.

- [86] M. Florez-Garcia, F. Garcia-Perez, R. Curbelo et al., "Efficacy and safety of home-based exercises versus individualized supervised outpatient physical therapy programs after total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis," *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 2016.
- [87] N. Bükler, S. Akkaya, N. Akkaya et al., "Comparison of effects of supervised physiotherapy and a standardized home program on functional status in patients with total knee arthroplasty: a prospective study," *Journal of physical therapy science*, vol. 26, no. 10, pp. 1531–1536, 2014.
- [88] R. A. Rajan, Y. Pack, H. Jackson et al., "No need for outpatient physiotherapy following total knee arthroplasty: a randomized trial of 120 patients," *Acta orthopaedica Scandinavica*, vol. 75, no. 1, pp. 71–73, 2004.
- [89] A. S. Y. Han, L. Nairn, A. R. Harmer et al., "Early rehabilitation after total knee replacement surgery: a multicenter, noninferiority, randomized clinical trial comparing a home exercise program with usual outpatient care," *Arthritis care & research*, vol. 67, no. 2, pp. 196–202, 2015.
- [90] D. Li, Z. Yang, P. Kang et al., "Home-Based Compared with Hospital-Based Rehabilitation Program for Patients Undergoing Total Knee Arthroplasty for Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials," *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, vol. 96, no. 6, pp. 440–447, 2017.
- [91] Deutsche Rentenversicherung, "Reha-Therapiestandards Hüft- und Knie-TEP," http://forschung.deutsche-rentenversicherung.de/ForschPortalWeb/ressource?key=rts_tep.pdf.
- [92] S. Brüggemann, D. Sewöster, and A. Kranzmann, "Bewegungstherapeutische Versorgung in der medizinischen Rehabilitation der Rentenversicherung – eine Analyse auf Basis quantitativer Routinedaten," *Die Rehabilitation*, 2017.
- [93] M. Müller, R. Toussaint, and T. Kohlmann, "Hüft- und Knie-TEP-Implantation: Ergebnisse ambulanter orthopädischer Rehabilitation," *Der Orthopäde*, vol. 44, no. 3, pp. 203–211, 2015.
- [94] S. Ritter, J. Dannenmaier, S. Jankowiak et al., "Implantation einer Hüft- oder Knie-TEP-Implantation und die Inanspruchnahme einer Anschlussrehabilitation," *Die Rehabilitation*, 2017.
- [95] V. Stein and B. Greitemann, eds., *Rehabilitation in Orthopädie und Unfallchirurgie: Methoden - Therapiestrategien - Behandlungsempfehlungen*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, s.l., 2015.
- [96] R. M. Aliyev, "Alloarthroplastischer Hüftgelenkersatz mit dem Staffelstein-Score: Ergebnisevaluation der stationären Rehabilitation," *Der Orthopäde*, vol. 39, no. 12, pp. 1163–1170, 2010.
- [97] C. Baulig, M. Grams, B. Rohrig et al., "Clinical outcome and cost effectiveness of inpatient rehabilitation after total hip and knee arthroplasty. A multi-centre cohort benchmarking study between nine rehabilitation departments in Rhineland-Palatinate (Western Germany)," *European journal of physical and rehabilitation medicine*, vol. 51, no. 6, pp. 803–813, 2015.
- [98] M. Müller, R. Toussaint, and T. Kohlmann, "Ergebnisse ambulanter orthopädischer Rehabilitation nach Hüft- und Knie-TEP-Versorgung," *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin*, vol. 25, no. 02, pp. 74–80, 2015.
- [99] T. Tuncel, S. Simon, and K. M. Peters, "Flexibilisierte Rehabilitationsdauer nach alloplastischem Hüft- und Kniegelenkersatz," *Der Orthopäde*, vol. 44, no. 6, pp. 465–473, 2015.
- [100] M. D. Westby, A. Brittain, and C. L. Backman, "Expert consensus on best practices for post-acute rehabilitation after total hip and knee arthroplasty: a Canada and United States Delphi study," *Arthritis care & research*, vol. 66, no. 3, pp. 411–423, 2014.

- [101] R. Thimmel, M. Schubert, and S. Viehmeier, "Nach der Rehabilitation," in *Rehabilitation: Vom Antrag bis zur Nachsorge - für Ärzte, Psychotherapeuten und andere Gesundheitsberufe*, pp. 205–216, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018.
- [102] Deutsche Rentenversicherung Bund, *Reha-Bericht: Die medizinische und berufliche Rehabilitation der Rentenversicherung im Licht der Statistik*, Berlin, 2016.
- [103] Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation, *Rahmenvereinbarung über den Rehabilitationssport und das Funktionstraining: Vom 1. Januar 2011*, BAR, Frankfurt, M., 2011.
- [104] M. Rogante, D. Kairy, C. Giacomozzi et al., "A quality assessment of systematic reviews on telerehabilitation: what does the evidence tell us?," *Annali dell'Istituto superiore di sanita*, vol. 51, no. 1, pp. 11–18, 2015.
- [105] Robert Koch-Institut, "Gesundheit in Deutschland: Gesundheitsberichtserstattung des Bundes," 2015.
- [106] Bundesagentur für Arbeit, "Arbeitsmarkt im Überblick: Berichtsmonat April 2018 - Berlin, Bundesland," <https://statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Statistik-nach-Regionen/Politische-Gebietsstruktur/Berlin-Nav.html>.
- [107] S. Hansen, J. Aaboe, I. Mechlenburg et al., "Effects of supervised exercise compared to non-supervised exercise early after total hip replacement on patient-reported function, pain, health-related quality of life and performance-based function - a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials," *Clinical Rehabilitation*, 269215518791213, 2018.
- [108] Deutsche Rentenversicherung Bund, "Rahmenkonzept zur Reha-Nachsorge," 2017.
- [109] J. M. Pastora-Bernal, R. Martín-Valero, F. J. Barón-López et al., "Evidence of Benefit of Telerehabilitation After Orthopedic Surgery: A Systematic Review," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 19, no. 4, e142, 2017.
- [110] H. Shukla, S. Nair, and D. Thakker, "Role of telerehabilitation in patients following total knee arthroplasty: Evidence from a systematic literature review and meta-analysis," *Journal of telemedicine and telecare*, no. 2, pp. 1–8, 2016.
- [111] M. Agostini, L. Moja, R. Banzi et al., "Telerehabilitation and recovery of motor function: a systematic review and meta-analysis," *Journal of telemedicine and telecare*, vol. 21, no. 4, pp. 202–213, 2015.
- [112] E. van der Meij, J. R. Anema, R. H. J. Otten et al., "The Effect of Perioperative E-Health Interventions on the Postoperative Course: A Systematic Review of Randomised and Non-Randomised Controlled Trials," *PloS one*, vol. 11, no. 7, e0158612, 2016.
- [113] S. A. Bini and J. Mahajan, "Clinical outcomes of remote asynchronous telerehabilitation are equivalent to traditional therapy following total knee arthroplasty: A randomized control study," *Journal of telemedicine and telecare*, 2016.
- [114] M. Piqueras, E. Marco, M. Coll et al., "Effectiveness of an interactive virtual telerehabilitation system in patients after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial," *Journal of rehabilitation medicine*, vol. 45, no. 4, pp. 392–396, 2013.
- [115] M. Tousignant, H. Moffet, P. Boissy et al., "A randomized controlled trial of home telerehabilitation for post-knee arthroplasty," *Journal of telemedicine and telecare*, vol. 17, no. 4, pp. 195–198, 2011.
- [116] H. Moffet, M. Tousignant, S. Nadeau et al., "In-Home Telerehabilitation Compared with Face-to-Face Rehabilitation After Total Knee Arthroplasty: A Noninferiority Randomized Controlled Trial," *J Bone Joint Surg Am*, vol. 97, no. 14, pp. 1129–1141, 2015.

- [117] K. E. M. Harmelink, A. V. C. M. Zeegers, T. M. Tönis et al., “The effectiveness of the use of a digital activity coaching system in addition to a two-week home-based exercise program in patients after total knee arthroplasty: study protocol for a randomized controlled trial,” *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 18, no. 1, p. 290, 2017.
- [118] M. Nelson, M. Bourke, K. Crossley et al., “Telerehabilitation Versus Traditional Care Following Total Hip Replacement: A Randomized Controlled Trial Protocol,” *JMIR research protocols*, vol. 6, no. 3, e34, 2017.
- [119] U. Eisermann, I. Haase, and B. Kladny, “Computer-aided multimedia training in orthopedic rehabilitation,” *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists*, vol. 83, no. 9, pp. 670–680, 2004.
- [120] D. Antón, M. Nelson, T. Russell et al., “Validation of a Kinect-based telerehabilitation system with total hip replacement patients,” *Journal of telemedicine and telecare*, 2015.
- [121] B. Lauber and M. Keller, “Improving motor performance: selected aspects of augmented feedback in exercise and health,” *European journal of sport science*, vol. 14, no. 1, pp. 36–43, 2014.
- [122] Carlos Zerpa, Chelsey Lees, Pritesh Patel et al., “The Use of Microsoft Kinect for Human Movement Analysis,” *International Journal of Sports Science*, 2015.
- [123] R. A. Clark, Y. H. Pua, C. C. Oliveira et al., “Reliability and concurrent validity of the Microsoft Xbox One Kinect for assessment of standing balance and postural control,” *Gait Posture*, vol. 42, no. 2, pp. 210–213, 2015.
- [124] S. Eichler, S. Rabe, A. Salzwedel et al., “Effectiveness of an interactive telerehabilitation system with home-based exercise training in patients after total hip or knee replacement: Study protocol for a multicenter, superiority, no-blinded randomized controlled trial,” *Trials*, vol. 18, no. 1, p. 407, 2017.
- [125] A. Da Gama, P. Fallavollita, V. Teichrieb et al., “Motor Rehabilitation Using Kinect: A Systematic Review,” *Games for health journal*, vol. 4, no. 2, pp. 123–135, 2015.
- [126] M. Wochatz, *Die Validität subjektiver Beurteilungen der Bewegungsausführung in der Sport- und Trainingstherapie*, Frankfurt, M., 2016.
- [127] M. Wochatz, F. Mayer, S. Eichler et al., “Reliability and Validity of the Kinect V2 for the assessment of lower extremity rehabilitation exercises,” *Gait & posture (submitted)*.
- [128] “ATS statement: guidelines for the six-minute walk test,” *American journal of respiratory and critical care medicine*, vol. 166, no. 1, pp. 111–117, 2002.
- [129] P. Hien and H. Morr, “6-Minuten-Gehtest in der pneumologischen und kardiologischen Diagnostik - Methodik, Bedeutung und Grenzen -,” *Pneumologie (Stuttgart, Germany)*, vol. 56, no. 9, pp. 558–566, 2002.
- [130] V. Ko, J. M. Naylor, I. A. Harris et al., “The six-minute walk test is an excellent predictor of functional ambulation after total knee arthroplasty,” *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 14, p. 145, 2013.
- [131] D. L. Boardman, F. Dorey, B. J. Thomas et al., “The accuracy of assessing total hip arthroplasty outcomes,” *The Journal of Arthroplasty*, vol. 15, no. 2, pp. 200–204, 2000.
- [132] F. Dobson, R. S. Hinman, E. M. Roos et al., “OARSI recommended performance-based tests to assess physical function in people diagnosed with hip or knee osteoarthritis,” *Osteoarthritis and cartilage*, vol. 21, no. 8, pp. 1042–1052, 2013.
- [133] B. Unver, T. Kahraman, S. Kalkan et al., “Reliability of the six-minute walk test after total hip arthroplasty,” *Hip International*, vol. 23, no. 6, pp. 541–545, 2013.

- [134] D. M. Kennedy, P. W. Stratford, J. Wessel et al., "Assessing stability and change of four performance measures: a longitudinal study evaluating outcome following total hip and knee arthroplasty," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 6, p. 3, 2005.
- [135] E. Parent and H. Moffet, "Comparative responsiveness of locomotor tests and questionnaires used to follow early recovery after total knee arthroplasty," *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 83, no. 1, pp. 70–80, 2002.
- [136] J. M. Naylor, K. Mills, M. Buhagiar et al., "Minimal important improvement thresholds for the six-minute walk test in a knee arthroplasty cohort: triangulation of anchor- and distribution-based methods," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 17, no. 1, p. 390, 2016.
- [137] N. M. Salbach, K. K. O'Brien, D. Brooks et al., "Reference values for standardized tests of walking speed and distance: a systematic review," *Gait & posture*, vol. 41, no. 2, pp. 341–360, 2015.
- [138] M. R. Dayton, D. L. Judd, C. A. Hogan et al., "Performance-Based Versus Self-Reported Outcomes Using the Hip Disability and Osteoarthritis Outcome Score After Total Hip Arthroplasty," *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, vol. 95, no. 2, pp. 132–138, 2016.
- [139] K. E. Heiberg, V. Bruun-Olsen, A. Ekeland et al., "Effect of a walking skill training program in patients who have undergone total hip arthroplasty: Followup one year after surgery," *Arthritis Care & Research*, vol. 64, no. 3, pp. 415–423, 2012.
- [140] M. J. Bade, T. Struessel, M. Dayton et al., "Early High-Intensity Versus Low-Intensity Rehabilitation After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial," *Arthritis care & research*, vol. 69, no. 9, pp. 1360–1368, 2017.
- [141] G. J. Almeida, C. A. Schroeder, A. B. Gil et al., "Interrater Reliability and Validity of the Stair Ascend/Descend Test in Subjects With Total Knee Arthroplasty," *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 91, no. 6, pp. 932–938, 2010.
- [142] N. L. Parks, C. E. Whitney, and G. A. Engh, "Can We Quantify Functional Improvement Following Total Knee Arthroplasty in the Clinical Setting?," *The journal of knee surgery*, vol. 28, no. 6, pp. 475–482, 2015.
- [143] D. L. Judd, D. A. Dennis, A. C. Thomas et al., "Muscle Strength and Functional Recovery During the First Year After THA," *Clinical Orthopaedics and Related Research*[®], vol. 472, no. 2, pp. 654–664, 2014.
- [144] L. R. Mikkelsen, S. Mikkelsen, K. Soballe et al., "A study of the inter-rater reliability of a test battery for use in patients after total hip replacement," *Clinical Rehabilitation*, 2014.
- [145] E. J. Nightingale, F. Pourkazemi, and C. E. Hiller, "Systematic review of timed stair tests," *Journal of rehabilitation research and development*, vol. 51, no. 3, pp. 335–350, 2014.
- [146] C. L. Christiansen and J. E. Stevens-Lapsley, "Weight-bearing asymmetry in relation to measures of impairment and functional mobility for people with knee osteoarthritis," *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 91, no. 10, pp. 1524–1528, 2010.
- [147] J. E. Naili, M. D. Iversen, A.-C. Esbjornsson et al., "Deficits in functional performance and gait one year after total knee arthroplasty despite improved self-reported function," *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 2016.
- [148] R. W. Bohannon, D. J. Bubela, S. R. Magasi et al., "Sit-to-stand test: Performance and determinants across the age-span," *Isokinetics and Exercise Science*, vol. 18, no. 4, pp. 235–240, 2010.
- [149] F. Medina-Mirapeix, I. Vivo-Fernández, J. López-Cañizares et al., "Five times sit-to-stand test in subjects with total knee replacement: Reliability and relationship with functional mobility tests," *Gait & posture*, vol. 59, pp. 258–260, 2018.

- [150] A. Goldberg, M. Chavis, J. Watkins et al., "The five-times-sit-to-stand test: Validity, reliability and detectable change in older females," *Aging clinical and experimental research*, vol. 24, no. 4, pp. 339–344, 2012.
- [151] R. W. Bohannon, "Reference values for the five-repetition sit-to-stand test: a descriptive meta-analysis of data from elders," *Perceptual and motor skills*, vol. 103, no. 1, pp. 215–222, 2006.
- [152] D. Podsiadlo and S. Richardson, "The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 39, no. 2, pp. 142–148, 1991.
- [153] "Summary of the Updated American Geriatrics Society/British Geriatrics Society clinical practice guideline for prevention of falls in older persons," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 59, no. 1, pp. 148–157, 2011.
- [154] M. Taniguchi, S. Sawano, M. Kugo et al., "Physical Activity Promotes Gait Improvement in Patients With Total Knee Arthroplasty," *The Journal of Arthroplasty*, vol. 31, no. 5, pp. 984–988, 2016.
- [155] B. M. Kear, T. P. Guck, and A. L. McGaha, "Timed Up and Go (TUG) Test: Normative Reference Values for Ages 20 to 59 Years and Relationships With Physical and Mental Health Risk Factors," *Journal of primary care & community health*, 2016.
- [156] E. Yuksel, S. Kalkan, S. Cekmece et al., "Assessing Minimal Detectable Changes and Test-Retest Reliability of the Timed Up and Go Test and the 2-Minute Walk Test in Patients With Total Knee Arthroplasty," *The Journal of Arthroplasty*, vol. 32, no. 2, pp. 426–430, 2017.
- [157] C. A. McHorney, J. E. Ware, and A. E. Raczek, "The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36): II. Psychometric and clinical tests of validity in measuring physical and mental health constructs," *Medical care*, vol. 31, no. 3, pp. 247–263, 1993.
- [158] A. A. Patel, D. Donegan, and T. Albert, "The 36-item short form," *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, vol. 15, no. 2, pp. 126–134, 2007.
- [159] M. Bullinger, I. Kirchberger, and J. Ware, "Der deutsche SF-36 Health Survey Übersetzung und psychometrische Testung eines krankheitsübergreifenden Instruments zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität," *Journal of Public Health*, vol. 3, no. 1, pp. 21–36, 1995.
- [160] R. W. Bohannon and L. DePasquale, "Physical Functioning Scale of the Short-Form (SF) 36: internal consistency and validity with older adults," *Journal of geriatric physical therapy (2001)*, vol. 33, no. 1, pp. 16–18, 2010.
- [161] E. A. Lingard, J. N. Katz, R. J. Wright et al., "Validity and responsiveness of the Knee Society Clinical Rating System in comparison with the SF-36 and WOMAC," *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 83-A, no. 12, pp. 1856–1864, 2001.
- [162] R. R. da Silva, A. A. M. Santos, J. de Sampaio Carvalho Júnior et al., "Quality of life after total knee arthroplasty: systematic review," *Revista brasileira de ortopedia*, vol. 49, no. 5, pp. 520–527, 2014.
- [163] M. Morfeld, I. Kirchberger, and M. Bullinger, *SF-36 Fragen zum Gesundheitszustand: Deutsche Version des Short Form - 36 Health Survey*, Hogrefe, S.I., 2011.
- [164] U. Ellert and B.-M. Kurth, "Methodische Betrachtungen zu den Summenscores des SF-36 anhand der erwachsenen bundesdeutschen Bevölkerung," *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, vol. 47, no. 11, pp. 1027–1032, 2004.
- [165] N. Bellamy, W. W. Buchanan, C. H. Goldsmith et al., "Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee," *The Journal of rheumatology*, vol. 15, no. 12, pp. 1833–1840, 1988.

- [166] P. Kersten, P. J. White, and A. Tennant, "The visual analogue WOMAC 3.0 scale--internal validity and responsiveness of the VAS version," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 11, p. 80, 2010.
- [167] I. Ackerman, "Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC)," *The Australian journal of physiotherapy*, vol. 55, no. 3, p. 213, 2009.
- [168] L. C. Walker, N. D. Clement, M. Bardgett et al., "The WOMAC score can be reliably used to classify patient satisfaction after total knee arthroplasty," *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 2018.
- [169] Nicholas Bellamy, *WOMAC Osteoarthritis Index User Guide XI*, 2014.
- [170] G. Stucki, D. Meier, S. Stucki et al., "Evaluation einer deutschen Version des WOMAC (Western Ontario und McMaster Universities) Arthroseindex," *Zeitschrift fur Rheumatologie*, vol. 55, no. 1, pp. 40–49, 1996.
- [171] N. Bellamy, C. Wilson, and J. Hendrikz, "Population-based normative values for the Western Ontario and McMaster (WOMAC) Osteoarthritis Index: part I," *Seminars in arthritis and rheumatism*, vol. 41, no. 2, pp. 139–148, 2011.
- [172] J. M. Giesinger, D. F. Hamilton, B. Jost et al., "WOMAC, EQ-5D and Knee Society Score Thresholds for Treatment Success After Total Knee Arthroplasty," *The Journal of Arthroplasty*, vol. 30, no. 12, pp. 2154–2158, 2015.
- [173] P. J. van der Wees, J. J. G. Wammes, R. P. Akkermans et al., "Patient-reported health outcomes after total hip and knee surgery in a Dutch University Hospital Setting: results of twenty years clinical registry," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 18, no. 1, p. 97, 2017.
- [174] J. M. Quintana, A. Escobar, A. Bilbao et al., "Responsiveness and clinically important differences for the WOMAC and SF-36 after hip joint replacement," *Osteoarthritis and cartilage*, vol. 13, no. 12, pp. 1076–1083, 2005.
- [175] D. M. Kennedy, P. W. Stratford, S. E. Hanna et al., "Modeling early recovery of physical function following hip and knee arthroplasty," *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 7, no. 1, p. 100, 2006.
- [176] B. E. Ainsworth, W. L. Haskell, S. D. Herrmann et al., "2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values," *Medicine and science in sports and exercise*, vol. 43, no. 8, pp. 1575–1581, 2011.
- [177] B. Parmanto, A. N. Lewis, K. M. Graham et al., "Development of the Telehealth Usability Questionnaire (TUQ)," *International journal of telerehabilitation*, vol. 8, no. 1, pp. 3–10, 2016.
- [178] J. Carifio and R. Perla, "Resolving the 50-year debate around using and misusing Likert scales," *Medical education*, vol. 42, no. 12, pp. 1150–1152, 2008.
- [179] D. T. Felson, J. J. Anderson, A. Naimark et al., "Obesity and knee osteoarthritis. The Framingham Study," *Annals of internal medicine*, vol. 109, no. 1, pp. 18–24, 1988.
- [180] T. Stürmer, K. P. Günther, and H. Brenner, "Obesity, overweight and patterns of osteoarthritis: the Ulm Osteoarthritis Study," *Journal of clinical epidemiology*, vol. 53, no. 3, pp. 307–313, 2000.
- [181] EPRD gGmbH, *Jahresbericht*, EPRD Deutsche Endoprothesenregister gGmbH, Berlin, 2016]-.
- [182] Bundesagentur für Arbeit, "Blickpunkt Arbeitsmarkt 2017," <https://statistik.arbeitsagentur.de/Statischer-Content/Arbeitsmarktberichte/Berufe/generische-Publikationen/Broschuere-Akademiker.pdf>.
- [183] N. M. Salbach, K. K. O'Brien, D. Brooks et al., "Reference values for standardized tests of walking speed and distance: a systematic review," *Gait & posture*, vol. 41, no. 2, pp. 341–360, 2015.
- [184] J. C. Reichert, E. von Rottkay, F. Roth et al., "A prospective randomized comparison of the minimally invasive direct anterior and the transgluteal approach for primary total hip arthroplasty," *BMC musculoskeletal disorders*, vol. 19, no. 1, p. 241, 2018.

- [185] D. Thiam, D. J. W. Teh, H. R. Bin Abd Razak et al., "Improvement in health-related quality of life after unilateral total knee arthroplasty in patients with bilateral knee osteoarthritis," *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)*, vol. 24, no. 3, pp. 294–297, 2016.
- [186] B. Gandek, "Measurement properties of the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index: a systematic review," *Arthritis care & research*, vol. 67, no. 2, pp. 216–229, 2015.
- [187] L. A. Beaupre, E. C. O. Masson, B. J. Luckhurst et al., "A randomized pilot study of a comprehensive postoperative exercise program compared with usual care following primary total hip arthroplasty in subjects less than 65 years of age: Feasibility, selection of outcome measures and timing of assessment," *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 15, no. 1, p. 192, 2014.
- [188] S. A. Bini and J. Mahajan, "Clinical outcomes of remote asynchronous telerehabilitation are equivalent to traditional therapy following total knee arthroplasty: A randomized control study," *Journal of telemedicine and telecare*, 2016.
- [189] H. Moffet, M. Tousignant, S. Nadeau et al., "Patient Satisfaction with In-Home Telerehabilitation After Total Knee Arthroplasty: Results from a Randomized Controlled Trial," *Telemedicine journal and e-health : the official journal of the American Telemedicine Association*, 2016.
- [190] M. Gagnon, R. Hébert, M. Dubé et al., "Development and validation of the Health Care Satisfaction Questionnaire (HCSQ) in elders," *Journal of nursing measurement*, vol. 14, no. 3, pp. 190–204, 2006.
- [191] B. E. Ainsworth, C. J. Caspersen, C. E. Matthews et al., "Recommendations to Improve the Accuracy of Estimates of Physical Activity Derived from Self Report," *Journal of physical activity & health*, vol. 9, 0 1, S76-84, 2012.
- [192] G. Marzano and V. Lubkina, "Usability in social telerehabilitation systems for elderly users," *Public health*, vol. 144, pp. 1–3, 2017.
- [193] E. J. Cook, G. Randhawa, C. Sharp et al., "Exploring the factors that influence the decision to adopt and engage with an integrated assistive telehealth and telecare service in Cambridgeshire, UK: a nested qualitative study of patient 'users' and 'non-users'," *BMC Health Services Research*, vol. 16, 2016.
- [194] B. Cruz Zapata, J. L. Fernández-Alemán, A. Toval et al., "Reusable Software Usability Specifications for mHealth Applications," *Journal of medical systems*, vol. 42, no. 3, p. 45, 2018.
- [195] J. L. Jordan, M. A. Holden, E. E. Mason et al., "Interventions to improve adherence to exercise for chronic musculoskeletal pain in adults," *The Cochrane database of systematic reviews*, no. 1, CD005956, 2010.
- [196] P. J. A. Nicolson, K. L. Bennell, F. L. Dobson et al., "Interventions to increase adherence to therapeutic exercise in older adults with low back pain and/or hip/knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis," *British journal of sports medicine*, vol. 51, no. 10, pp. 791–799, 2017.
- [197] Office of Disease Prevention and Health Promotion, "2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report,".
- [198] Sarah Berger and Oliver Koppel, "Breitband-Internet: Ländliche Regionen holen zu langsam auf," 2017, <http://hdl.handle.net/10419/172013>.
- [199] M. Egger, P. Juni, C. Bartlett et al., "How important are comprehensive literature searches and the assessment of trial quality in systematic reviews? Empirical study," *Health technology assessment (Winchester, England)*, vol. 7, no. 1, pp. 1–76, 2003.

- [200] D. E. Padgett, A. B. Christ, A. D. Joseph et al., "Discharge to Inpatient Rehab Does Not Result in Improved Functional Outcomes Following Primary Total Knee Arthroplasty," *The Journal of Arthroplasty*, 2017.
- [201] C. A. Oatis, J. K. Johnson, T. DeWan et al., "Characteristics of Usual Physical Therapy Post-Total Knee Replacement and their Associations with Functional Outcomes," *Arthritis care & research*, 2018.
- [202] B. Unver, S. Bakirhan, and V. Karatosun, "Does a weight-training exercise programme given to patients four or more years after total knee arthroplasty improve mobility: A randomized controlled trial," *Archives of gerontology and geriatrics*, vol. 64, pp. 45–50, 2016.
- [203] V. Bruun-Olsen, K. E. Heiberg, A. K. Wahl et al., "The immediate and long-term effects of a walking-skill program compared to usual physiotherapy care in patients who have undergone total knee arthroplasty (TKA): a randomized controlled trial," *Disability and rehabilitation*, vol. 35, no. 23, pp. 2008–2015, 2013.
- [204] E. Navarro, P. González, V. López-Jaquero et al., "Adaptive, Multisensorial, Physiological and Social: The Next Generation of Telerehabilitation Systems," *Frontiers in neuroinformatics*, vol. 12, p. 43, 2018.
- [205] L. Meng, T. Du, J. Fan et al., "Design of Wearable Telerehabilitation Device Based on Micro-sensors," *Chinese journal of medical instrumentation*, vol. 41, no. 3, pp. 189–192, 2017.
- [206] V. Pilz, T. Hanstein, and R. Skripitz, "Projections of primary hip arthroplasty in Germany until 2040," *Acta orthopaedica*, pp. 1–6, 2018.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Heinz Völler, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Studie vorzubereiten, durchzuführen, auszuwerten und auf zahlreichen Fachveranstaltungen zu präsentieren und zu diskutieren.

Ebenso bedanke ich mich bei Frau Dr. Annett Salzwedel und Frau Dr. Sarah Eichler für all die inhaltlichen und methodischen Ratschläge im Rahmen der durchgeführten Studie. Auch möchte ich herzlich allen weiteren Kolleginnen und Kollegen der Professur für Rehabilitationswissenschaften für die freundschaftliche Arbeitsatmosphäre und die andauernde Unterstützung auf dem Weg zur Promotion bedanken. Ein weiterer Dank gilt den beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Professur für Sportmedizin und Sportorthopädie für eine wertvolle Zusammenarbeit bei der Vorbereitung und Durchführung der Studie.

Des Weiteren danke ich den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Median Klinik Hoppegarten, der Brandenburg Klinik Bernau und dem Reha-Zentrum Lübben, die alle maßgeblich zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben. Zudem möchte ich auch den Mitarbeitern des Fraunhofer FOKUS Institutes für die gute und spannende Zusammenarbeit bei der Entwicklung der telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie und die Lösung aller technischen Probleme danken. Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Karl Wegscheider für die statistische und methodische Beratung.

Auch möchte ich hervorheben, dass die Flexibilität und das Vertrauen meines neuen Arbeitgebers der Lindera GmbH, mir die nötige Ruhe und Konzentration zur Fertigstellung der Dissertation ermöglicht haben. Mein besonderer Dank gilt schließlich meinen Freunden und meiner Familie, die mich und meine Arbeit mit großem Engagement unterstützt haben.

Sophie Rabe

Potsdam im Januar 2019

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit „Wirksamkeit einer telemedizinisch assistierten Bewegungstherapie für die postrehabilitative Versorgung von Patienten mit Knie- oder Hüft-Totalendoprothese“ selbständig und ohne unzulässige Hilfe Dritter nach den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis verfasst, nur die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt sowie alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Des Weiteren erkläre ich, dass ich an keiner anderen Hochschule ein Promotionsverfahren eröffnet habe und dass die Dissertation in der gegenwärtigen Fassung keiner anderen Hochschule vorgelegen hat oder vorliegt.

Sophie Rabe

Potsdam im Januar 2019