

Aus der

Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik

Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie an der
Universität Tübingen

**WEAR-IT Studie Einsatz persönlicher Wearables zur
objektiven, eigenständigen Aktivitätsbestimmung
während der Rehabilitation nach Verletzungen
in der Traumatologie**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Platte, Julian

2025

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. B. J. Braun

2. Berichterstatter: Professor Dr. C. C. Ihle

Tag der Disputation: 23.10.2025

Vorwort

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden im Journal „Medicina“, 59 (2), 403, am 19. Februar 2023 veröffentlicht. Die Publikation trägt den Titel „„Bring Your Own Device“- A New Approach to Wearable Outcome Assessment in Trauma“. Die DOI Nummer lautet 10.3390. Folgende Autoren haben an diesem Projekt mitgewirkt: Benedikt J. Braun, Tina Histing, Maximilian M. Menger, Julian Platte, Bernd Grimm, Andrew M Hanflik, Peter H. Richter, Sureshan Sivananthan, Seth R. Yarboro, Boyko Gueorguiev, Dmitry Pokhvashchev, Meir T. Marmor (Braun et al., 2023).

Mein eigener Anteil bei dieser Vorabpublikation belief sich auf die Datenerhebung und Methodik sowie die formale Analyse und Untersuchung der Daten. Zusätzlich war ich an der Überprüfung und Bearbeitung der Fassung beteiligt.

Inhaltsverzeichnis

1. Abkürzungsverzeichnis	6
2. Einleitung	7
2.1. Wearable Systeme.....	7
2.2. Diversität und Eigenschaften der Sensoren.....	8
2.3. Verwendung und Vorteile im klinischen Alltag.....	9
2.4. Erfassung und Bedeutung der körperlichen Aktivität	10
2.5. Ausgangslage der klinischen Outcomes-Erfassung.....	12
2.6. Wearables zur Messung der Aktivität und Funktionalität	14
2.6.1. Zuverlässigkeit verschiedener Technologien	14
2.6.2. Nachteile der Wearables	16
2.6.3. Neue Messstrategie: Bring Your Own Device (BYOD).....	17
3. Fragestellung.....	20
4. Material und Methoden	21
4.1. Kooperation	21
4.2. Studiendesign	21
4.3. Patientenkollektiv	24
4.4. Datenerfassung.....	25
4.5. Die verfügbaren und verwendeten Wearables	25
4.5.1. Fitbit	25
4.5.2. Garmin	25
4.5.3. Apple.....	26
4.5.3.1. iPhone.....	26
4.5.3.2. Apple-Watch.....	26
4.5.4. Samsung	27
4.5.4.1. Samsung Galaxy	27
4.5.4.2. Samsung Galaxy Watch	27
4.5.5. Xiaomi.....	27
4.5.6. Huawei.....	28

4.6.	Datenanalyse	28
4.7.	Statistische Auswertung	29
5.	Ergebnisse	30
5.1.	Demographie	30
5.2.	Übersicht der Wearables	33
5.3.	Wearable-Aktivitätsdaten	34
5.4.	Prä- und Postoperativer Vergleich.....	36
6.	Diskussion	40
6.1.	Diskussion des Patientenkollektivs.....	40
6.2.	Kooperationsprojekt.....	42
6.3.	Verwendete Wearables	43
6.4.	Erhobene Parameter.....	44
6.5.	Diskussion der Methodik.....	45
6.5.1.	Vorteile der Verwendung von Wearables	45
6.5.2.	Vorteile der Wearables gegenüber früheren Methoden.....	46
6.5.3.	Nachteile der Verwendung von Wearables	48
6.6.	Diskussion der Ergebnisse.....	50
6.6.1.	Ergebnisse nach der Verletzung	50
6.6.2.	Prä- und postoperativer Vergleich (BYOD-Studie)	52
7.	Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	54
8.	Literaturverzeichnis	57
9.	Anhang.....	63
9.1.	Abbildungsverzeichnis.....	63
9.2.	Erklärung zum Eigenanteil und Veröffentlichung	64

1. Abkürzungsverzeichnis

AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
App	Application
BG	Berufsgenossenschaft
BYOD	Bring Your Own Device
COPD	Chronisch obstructive pulmonary disease
DD	Dedicated Device
EDSS	Extended Disability Status Scale
EKG	Elektrokardiographie
EQ-5D	EuroQol 5-Dimensionen
GPS	Global Positioning System
iOS	iPhone operating System
PROM	Patient-Reported Outcome Measures
SF-36	Short Form 36
UCSF	University of California San Francisco

2. Einleitung

2.1. Wearable Systeme

Unter dem Begriff Wearable versteht man tragbare Technologien, die in verschiedenen alltäglichen Bereichen, wie beispielsweise Bewegung und körperlichem Wohl, zur Kontrolle des Nutzers dienen können (Zhang et al., 2020). In den letzten Jahren hat der Bereich dieser Technologie enormen Zuwachs erhalten. Allein im Jahr 2018 hat der Markt der Wearables ein neues Maximum verzeichnet. Mit einem Wachstum um 55,2% zum vierten Quartal 2017 verzeichneten als Beispiel Smartwatches einen großen Anstieg und nahmen 34,3% des Marktes ein (Jitesh Ubrani, 2019). Die folgenden Jahre nahm der Bedarf an diesen Geräten weiter zu (Huhn et al., 2022).

Durch ihre weite Verbreitung finden mittels Wearable-Technologie erhobene Daten auch für wissenschaftliche Fragestellungen zunehmend Verwendung (Hartung et al., 2020). Nach der enormen Verbreitung und der in den letzten Jahren gestiegenen Anzahl vertriebener Geräte wurde im Jahr 2022 erstmals ein weniger steiler Anstieg beobachtet. Diese Tendenz sei jedoch auf wirtschaftliche Gegebenheiten und eine vorübergehend gesunkene Nachfrage aufgrund einer gewissen Marktsättigung zurückzuführen. Eine Tendenz, die sich zukünftig durch die Markteinführung ständig neuer Technologien und deren Möglichkeiten prognostisch nicht fortsetzen wird. Erneut steigende Absatzzahlen werden vorausgesagt (Jitesh Ubrani, 2023).

2.2. Diversität und Eigenschaften der Sensoren

Auch in der Medizin werden Wearable-Daten zunehmend im klinischen Alltag und in der Forschung hinzugezogen (Braun et al., 2020, Braun et al., 2022, Marmor et al., 2022).

Das Smartphone als ständiger Begleiter und vermutlich allgegenwärtigste Technologie in der heutigen Zeit beinhaltet allein bereits mehrere Sensoren und kann zur Ganganalyse und zur Aufzeichnung von Daten zur körperlichen Aktivität herangezogen werden (Braun et al., 2020). Sie werden beispielsweise über integrierte Beschleunigungssensoren als Schrittzähler verwendet (Bort-Roig et al., 2014). Zusätzlich können sie über einen dreiachsigen Beschleunigungssensor und ein Gyroskop verfügen, womit sie Daten über Drehungen des Körpers liefern können (Leach et al., 2018). Bei einem Gyroskop handelt es sich um einen Detektor, der Schwerkraft, Orientierung und Winkelgeschwindigkeit ermitteln kann (Díaz et al., 2020).

Zu den Geräten, die ebenfalls Aktivität aufzeichnen können und meist einen triaxialen Beschleunigungssensor beinhalten, gehören Fitness-Tracker, Smart-Watches und Hybriduhren. Ihre Datenerfassung kann kontinuierlich und über einen längeren Zeitraum erfolgen (Hartung et al., 2020). Eine weitere Technologie, die unter die Kategorie der Wearables fällt, sind Pedobarographie-Einlagen, die über Druck- und Temperatursensoren, sowie Beschleunigungsmesser Parameter wie Belastungen und Bewegungen eines jeden Schrittes erfassen (Braun et al., 2017).

Wearables können in der Lage sein, über Photoplethysmographie Vitalparameter zu beurteilen. Sie können sowohl die Herz- und Atemfrequenz, als auch die Sauerstoffsättigung messen (Glasin et al., 2019). Wie man anhand dieser zahlreichen Beispiele sieht, sind Wearables wahnsinnig vielfältig und aufgrund dieser Eigenschaften auch sehr variabel einsetzbar.

2.3. Verwendung und Vorteile im klinischen Alltag

Die Verwendung von Wearables im klinischen Alltag bringt viele Vorteile mit sich. Einige stechen besonders hervor, wenn man sich die Nutzung tragbarer Technologie in diesem Kontext anhand von einigen Beispielen genauer anschaut.

Smartwatches die dazu in der Lage sind mit der Herzfrequenz, dem Blutdruck, der Sauerstoffsättigung sowie der Elektrokardiographie (EKG) grundlegende medizinische Parameter zu erfassen, stellen in der Kardiologie eine für den Anwender unkomplizierte Möglichkeit der Datenerhebung dar. Zusätzlich ergibt sich mit der Herzfrequenz eine Größe die eine Beurteilung eines Rehabilitationsverlaufes auch in nicht kardiologischen Bereichen zulässt (Vogel et al., 2024). In Notaufnahmen gehört die Messung von Vitalparametern ebenfalls zur Standarddiagnostik. Mit Hilfe der oben bereits beschriebenen Photoplethysmographie wurden kabellose Sensoren entwickelt die zu einer deutlichen Erleichterung führen (Glasin et al., 2019). Dieser Vorteil ist auch im prähospitalen Setting bei eingeschränktem Platz in Rettungsfahrzeugen zu spüren. Auch die Auswertung der Parameter, sowie deren Weitergabe muss manuell erfolgen. Neue mobile, drahtlose Überwachungssysteme dienen dazu, diese Probleme zu beheben und aufgrund der gemessenen Werte bereits eine Triage vorzunehmen (Koceska et al., 2020).

In der Orthopädie und Traumatologie können Smartphone-Anwendungen zum Einsatz kommen. Die Analyse der körperlichen Drehung, insbesondere bei älteren und sturzgefährdeten Patienten bietet bei Auffälligkeiten die Möglichkeit der Intervention und Prävention bereits vor Auftreten eines Sturzereignisses (Leach et al., 2018). Über die App „DrGoniometer“ lässt sich das Ausmaß der Supination des Unterarmes nach Radiusfrakturen bestimmen. Dies geschieht, anders als herkömmlich, sowohl schnell als auch schmerzlos mittels virtueller Goniometer und angefertigter Fotografien (Reid and Egan, 2019).

Durch die Befestigung am Körper können Beschleunigungsdaten von Wearables Auskunft über orthopädisch relevante Fragestellungen liefern. Als Beispiel ist hier die Smartphone-basierte Messung des Bewegungsumfanges des Kniegelenkes bei dynamischer Streckbewegung zu nennen (Støve et al., 2018). Eine weitere große Rolle spielen Smartphones im Rahmen der Detektion und Beeinflussung der körperlichen Aktivität der Nutzer (Bort-Roig et al., 2014). Auf dem Smartphone gespeicherte Daten sind sowohl für den behandelnden Arzt als auch für den Patienten leicht zu erreichen (Pichonnaz et al., 2015) und auch die Kommunikation zwischen allen Beteiligten und die vereinfachte Digitalisierung der Daten spielen hier eine Rolle (Reid and Egan, 2019)

In einem nicht medizinischen Kontext ist positiv zu nennen, dass sich beispielsweise Beschleunigungsmesser und auch viele weitere Sensoren dadurch auszeichnen, dass sie leicht zu bedienen sind (Liu and Chan, 2016). Mit dem Smartphone findet sich aufgrund seiner weiten Verbreitung eine Technik, die für viele leicht zugänglich ist und welche der Nutzer nicht als störend empfindet. Da in den meisten Fällen ein Smartphone bereits vorhanden ist, muss kein zusätzliches Gerät für die Aufzeichnung der verschiedenen Daten benutzt werden (Zhai et al., 2020).

2.4. Erfassung und Bedeutung der körperlichen Aktivität

Die Erfassung von Mobilität ist im medizinischen Bereich von großer Bedeutung. Aufgrund der Zusammenhänge zwischen einer mangelnden Bewegung und zahlreichen Erkrankungen wie Diabetes, koronaren Herzkrankheiten oder Brust- und Darmkrebs sind die Reduktion dessen und die Messung der Aktivität besonders wichtig (Hartung et al., 2020). Auch für Patienten mit chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) spielt die tägliche Schrittzahl eine Rolle. So sagt unter anderem eine geringe Anzahl pro Tag die Krankenhausaufenthalte in Verbindung mit COPD voraus. Durch eine Schrittzahlsteigerung ist sie ebenfalls Teil der Strategie, um Exazerbationen vorzubeugen (Moy et al., 2013).

Allgemein kann man sagen, dass die Steigerung der Funktionalität und auch der Aktivität eines der größten Bestreben der orthopädischen Traumatologie darstellt (Marmor et al., 2022).

Nach orthopädischen Verletzungen kann eine Nichteinhaltung der Vorgaben bezüglich des Aktivitätsniveaus zu einer zusätzlichen Belastung werden. Bei dem globalen Ausmaß von Verletzungen dieser Art unterstreicht dies die Bedeutung der Aktivitätsaufzeichnung (Ekegren et al., 2018). Eine Verbindung zwischen physischer Betätigung, höherer Knochenmasse und Frakturrisiko bei Kindern konnte ebenfalls festgestellt werden (Clark et al., 2008). Die gemessenen Daten können als Maß dafür genommen werden, die Aktivität von Patienten während der Gipsruhigstellung mit der Gesunder zu vergleichen (Ceroni et al., 2011).

Insbesondere in der Traumatologie ist Wearable Technology von großer Wichtigkeit. Dies zeigt eine Umfrage unter Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO), welche ihre aktuelle Nutzung und den Bedarf in der Zukunft widerspiegelt. Es zeigte sich, dass von den Befragten 20,7% tragbare Technologie in ihrem Alltag verwenden. Den mit Abstand größten Anteil unter diesen Techniken nahm mit 75,4% die Messung der allgemeinen Patientenaktivität mittels Beschleunigungsmessung kombiniert mit Smartphones ein (Braun et al., 2022).

Eine angemessene Aktivität im Rahmen von Frakturheilung hat einen hohen Stellenwert. Wird diese über- oder unterschritten kann dies negative Folgen für den Heilungsverlauf einer solchen Verletzung haben (Duan and Lu, 2021). Im Bereich der operativen Versorgung von Frakturen der unteren Extremität fand Wearable-Technologie bereits Anwendung. Sie wurden genutzt, um die Compliance der Patienten bezüglich der empfohlenen Belastung ihrer verletzten Extremität zu ermitteln. Auch während der Rehabilitation nach traumatologischen Verletzungen wurden in vorangegangenen Studien Wearables verwendet, um verschiedenen Fragestellungen nachzugehen. In solchen Arbeiten sind Tendenzen zu erkennen, dass Wearable-Technologie die Möglichkeit bieten

kann, den Zeitraum nach Operationen noch patientenspezifischer zu beobachten (Marmor et al., 2022).

2.5. Ausgangslage der klinischen Outcomes-Erfassung

In Bezug auf ihre Auswertung sind Daten, die anhand von tragbarer Technologie erfasst wurden, der Methodik der bisherigen Funktions- und Aktivitätserfassung, wie beispielsweise Patient-Reported Outcome Measures (PROMs), Skalen oder Leistungstests besonders in der Objektivität überlegen (Grimm and Bolink, 2016).

Um im Rahmen einer Multiplen Sklerose die Beeinträchtigung zu erfassen, bedienen sich Kliniker der Extended Disability Status Scale (EDSS). Sie unterliegt jedoch diversen Einschränkungen, da sie zum einen nur auf eine kurze Gehstrecke von 500m beschränkt ist und zum anderen durch tagesabhängige Gegebenheiten beeinflusst wird. Kleinere, aber durchaus wichtige Schwankungen, werden durch diese Skala nicht erfasst (Zhai et al., 2020).

PROMs im Allgemeinen sind eine Möglichkeit, um die Gesundheit, die Lebensqualität und auch den funktionellen Zustand zu erfassen, indem der Patient dies selbst mitteilt und das Ergebnis keiner Interpretation durch den behandelnden Mediziner unterliegt. Im Bereich der orthopädischen Traumaforschung finden beispielsweise die Fragebögen SF-36 oder EQ-5D häufig Anwendung (O'Hara et al., 2020). Zuvor wurden einige klinische Scores zur Beurteilung des Behandlungserfolges herangezogen. Diese standen jedoch in der Kritik die Mobilität und Aktivität der Patienten nicht ausreichend erfassen zu können. Die Patient-Reported Outcome Measures wurden verwendet, um diese Scores zu unterstützen und diese Lücken in der Erfassung zu schließen (Marmor et al., 2022)

Die Validität der Ergebnisse dieser patientenbezogenen Herangehensweise lässt sich durchaus mit der anderer Messstrategien im Rahmen der Anwendung in der

orthopädischen Chirurgie vergleichen (Gausden et al., 2018, Rothrock et al., 2019). Jedoch muss in Bezug auf die Erfassung der Aktivität der Patienten gesagt werden, dass die Ergebnisse dieser Methodik beispielsweise durch eine getrübe Erinnerung oder auch eine unterschiedliche Selbstwahrnehmung durchaus schwierig zu bewerten sind (Zhai et al., 2020). Neben der Überschätzung der eigenen körperlichen Aktivität ist ein weiteres Problem, dass einige PROMs ihre Anwendung hauptsächlich in der Forschung finden und somit für den Kliniker im Alltag nicht immer von Bedeutung sind (Moy et al., 2013).

Es zeigt sich auch, dass PROMs aufgrund der subjektiven Bewertung der Patienten eine Besserung des Zustandes angeben, während eine objektive Messung der Bewegung mittels Beschleunigungsmesser ein anderes Ergebnis zeigt (Edwards et al., 2020).

Zusätzlich zu der Subjektivität dieser Outcome-Erfassung kommt die Limitation, dass sie die Funktionalität der Patienten nach der Entlassung aus dem stationären Setting nicht kontinuierlich erfasst. Daraus resultiert, dass die Werte nur zu bestimmten Zeitpunkten während des Heilungsprozesses erhoben werden und dieser die Auslegung der Ergebnisse beeinflusst (Bienstock et al., 2022). Daher eignen sich Wearables besser dazu den Alltag der Nutzer aufzuzeichnen und bieten dem behandelnden Arzt die Möglichkeit, die Rehabilitation der Patienten in ihrer Gänze nachzuverfolgen (Feng et al., 2023). Auch die Abhängigkeit von der Compliance der Nutzer ist als Kritikpunkt der ursprünglichen Methode zu nennen (Marmor et al., 2022).

Die Fehleranfälligkeit von Fragebögen wird zusätzlich durch eine Studie bekräftigt, in welcher in der Datenerhebung Fragebögen verwendet, aber Ergebnisse von Beschleunigungsmessern zusätzlich herangezogen wurden, um das Fazit zu untermauern (Clark et al., 2008).

Aufgrund dieser Einschränkungen, welche unter anderem die Fragebögen mit sich bringen, wächst der Bedarf an objektiven Messmethoden wie beispielsweise

Smartphone-Technologie, um den Gesundheitszustand des Patienten auch individuell beurteilen zu können (Kelly et al., 2020). Wearable-Technologie bietet außerdem die Möglichkeit, über kontinuierliche Datenerfassung ein weiteres Defizit der bisherigen Herangehensweisen zu beseitigen (Bienstock et al., 2022).

2.6. Wearables zur Messung der Aktivität und Funktionalität

2.6.1. Zuverlässigkeit verschiedener Technologien

Durch die oben bereits beschriebenen Mängel der bisherigen Aktivitätsaufzeichnungen nimmt die Nutzung von Wearables im Bereich der orthopädischen Traumatologie zu. Smartwatches und Armbänder zu verwenden, um die Funktionalität und Aktivität von Patienten auch nach der Entlassung objektiv nachzuverfolgen, bietet eine sowohl schnelle als auch zeitnahe und detaillierte Möglichkeit in diesem Bereich. Die Kontinuität des Trackings bietet zusätzlich einen Einblick in die Aktivität in normalen Alltagssituationen.

Eine Übersicht über die Nutzung tragbarer Technologien im orthopädisch-traumatologischen Fachbereich zeigt, dass die am häufigsten verwendeten Wearables Beschleunigungsmesser sowie Druckeinlagen waren. Am häufigsten wurden mit ihrer Hilfe unter anderem die Aktivität oder das Verhalten wie beispielsweise die zurückgelegten Schritte pro Tag ermittelt (Marmor et al., 2022).

Allgemein reicht die Genauigkeit aktuell verwendeter Systeme zur Erfassung der täglichen Schrittzahl aus (Marmor et al., 2022). Auch im Bereich der telefonbasierten Messung via Smartphone wurde eine überdurchschnittliche Genauigkeit attestiert (Bort-Roig et al., 2014). In einer anderen Studie wird von einer 88%igen Präzision bei der Einschätzung der Aktivität gesprochen (Liu and Chan, 2016). Es besteht auch die Möglichkeit, die Aktivität der Schulter durch

einen am Handgelenk getragenen Sensor aufzuzeichnen. Auch in diesem Fall sind Wearables präzise genug und liefern brauchbare Ergebnisse (Ruder et al., 2022).

Ein wichtiger Punkt, den es bei der Verwendung von Beschleunigungsmessern zu beachten gilt, ist die Abhängigkeit der Genauigkeit ihrer Messungen von ihrem Trageort. Einbußen in diesem Bereich sind auch bei der Verwendung von Gehhilfen hinzunehmen. Auch unregelmäßiges bei sich tragen führt zu Einschränkungen (Marmor et al., 2022).

Im direkten Vergleich eines für Forschungszwecke häufig angewendeten, am nicht dominanten Handgelenk getragenen Beschleunigungsmessers (ActiGraph Modell GT3X+) und einem Smartphone (Samsung Galaxy S4 mini), welches in für die Teilnehmer üblichen Art und Weise getragen wurde, zeigte sich, dass ein im Smartphone integrierter Beschleunigungsmesser besser dazu geeignet ist, Mobilität bzw. Mobilitätseinschränkungen aufzuzeichnen. Er ist weniger abhängig von der Positionierung des mobilen Gerätes. Dennoch ist eine nah am Körperschwerpunkt liegende Trageposition der Wearables anzustreben (Zhai et al., 2020). Somit scheint ein an der Hüfte platzierter Sensor als Schrittzähler genauer zu sein als ein Gerät, welches am Handgelenk getragen wird (Block et al., 2017).

Eine Fehlerquelle, welche Aktivitätsmonitore am Handgelenk mit sich bringen, ist eine mögliche fehlerhafte Schrittzählerhöhung durch vermehrte Armbewegungen während des Gehens (Hartung et al., 2020). Im direkten Vergleich eines Smartphones und eines am Handgelenk getragenen Sensors wird angeführt, dass das Tragen eines zusätzlichen Sensors einen erhöhten Aufwand und somit eine Einschränkung dieser Methode darstellt (Zhai et al., 2020). Trotz dieser Unterschiede in der Genauigkeit bieten auch am Handgelenk zu tragende Wearables, wie beispielsweise die der Marke Fitbit, die Möglichkeit, über einen längeren Zeitraum, zuverlässig, kontinuierlich und auch nutzerfreundlich die Aktivität des Trägers aufzuzeichnen (Block et al., 2017). Zur Messung des

Gehens und der Aktivität des alltäglichen Lebens sind Ergebnisse von am Knöchel tragbarer Technologie mit denen an der Hüfte vergleichbar und von großem Wert (Hartung et al., 2020).

Um den Bewegungsumfang eines Gelenkes zu ermitteln, bieten Smartphones und Smartphone-Apps eine Möglichkeit, Goniometer zu ersetzen. Studien hierzu wurden in 60% der Fälle (23 von 25) als Studien mit geringem Verzerrungsrisiko eingeordnet. Jedoch sollte vermieden werden, zu verschiedenen Zeitpunkten verschiedene Geräte zu verwenden, da die absolute Validität zwischen den Geräten deutliche Unterschiede aufwies (Keogh et al., 2019).

2.6.2. Nachteile der Wearables

Beschleunigungsmesser unterliegen jedoch Einschränkungen, wenn Aktivitäten durchgeführt werden, bei denen ein Tragen dieser nicht möglich ist. Tätigkeiten wie beispielsweise Fahrradfahren können nicht genau aufgezeichnet werden. (Ceroni et al., 2011). Die Verwendung von Wearables kann bei physischer Betätigung als störend empfunden werden. Aufgrund von Gewohnheiten kann es dazu kommen, dass die Geräte nicht getragen werden, da dies vergessen wird (Liu and Chan, 2016). Auch allgemein ist die Verwertbarkeit der Ergebnisse davon abhängig, wie zuverlässig die Geräte getragen werden. Daher steigt der Bedarf an Methoden, die diesen Störfaktor ausräumen und zu einer geringeren Menge an Datenlücken führen (Ceroni et al., 2012).

Das steigende Alter der Bevölkerung ist allerdings aufgrund einer damit einhergehenden limitierten Nutzung und eines selteneren Vorhandenseins von Wearables ein durchaus zu berücksichtigender Faktor (Andone et al., 2016, Braun et al., 2023). Die Durchführung einer Studie mit Wearables bei Patienten mit einer Einschränkung der kognitiven Leistungsfähigkeit scheint aber möglich. Voraussetzung ist jedoch eine einfache, an die kognitiven Fähigkeiten des

Trägers angepasste Handhabung, die sich auf einfaches Tragen beschränkt (Chen and Lauderdale, 2019).

2.6.3. Neue Messstrategie: Bring Your Own Device (BYOD)

In den vorherigen Abschnitten wurde bereits thematisiert, dass Wearables allgemein Vorteile wie Objektivität und kontinuierliche Erfassung gegenüber der PROMs aufweisen (Grimm and Bolink, 2016, Block et al., 2017). Sie eignen sich besser um den Rehabilitationsprozess eines Patienten vollständig aufzuzeichnen (Feng et al., 2023)

Trotz des Aufwärtstrends der Wearable-Technology in der orthopädischen Traumatologie bedarf es einer Anwendung, um die Funktionalität von Patienten vor und nach erfolgtem Trauma zu vergleichen (Marmor et al., 2022). Bisher bestand die Strategie darin, dass der Kliniker dem Patienten ein Gerät zur Überwachung aushändigt und dieses getragen werden soll (DD-Strategie). Dies bringt zum einen die oben beschriebenen Probleme und zum anderen eine Beschränkung der Datenerfassung auf den Zeitraum nach erfolgtem Trauma mit sich (Braun et al., 2023). In der Literatur wird allerdings bereits angeführt, dass man anhand der Wearables den postoperativen Zeitraum noch patientenspezifischer betrachten könnte (Marmor et al., 2022).

Es braucht eine neue Methode, welche die Vorteile tragbarer Sensoren mit zunehmender Individualität in der postoperativen Nachverfolgung vereint und die bisherigen Nachteile dieser minimiert.

Mit dieser Arbeit soll eine neue Messstrategie vorgestellt werden. „Bring Your Own Device“ (BYOD-Strategie) basiert auf der Verwendung von Wearables, die der Patient bereits besitzt. Im Rahmen dieser Arbeit werden erstmals klinische Daten veröffentlicht, welche zum einen bereits vor erfolgtem Trauma und zum anderen auch während der anschließenden Genesung aufgezeichnet wurden.

Die Studie überprüft die Machbarkeit der neuen Methode und die Eignung der patienteneigenen tragbaren Sensoren das Outcome der orthopädischen Traumatologie zu beurteilen. Zurzeit steht ein Vergleich zwischen der aktuell meist angewendeten DD-Strategie und BYOD noch aus und stellt einen nicht zu vernachlässigenden Sachverhalt dar (Braun et al., 2023).

Die Verwendung von Aktivitätsdaten vor stattgehabter Verletzung und anschließender Behandlung bietet die Möglichkeit, durch den Vergleich mit prospektiven Messungen die Rückkehr eines Patienten auf sein ursprüngliches Aktivitätsniveau zu beobachten. Auf diesem Wege bietet sich die Aussicht, mangelnde Bewegung während des Rehabilitationsprozesses zu detektieren und im Fall eines Problems während der Genesung einzugreifen. Auch auf übermäßige Aktivität kann auf diese Weise frühzeitig reagiert werden (Braun et al., 2023).

Durch die Nutzung patienteneigener Geräte erreicht man eine höhere Compliance beim Anwender (Braun et al., 2020). Dies kann wiederum zur Folge haben, dass die Fehleranfälligkeit - beispielsweise Datenlücken durch Vergessen des Tragens ausgehändigter Geräte (Liu and Chan, 2016) - verringert wird. Aufgrund der großen Rolle, die auch Kosten in Bezug auf die tragbare Technologie sowie die bereits erwähnte Akzeptanz durch die Patienten spielen (Braun et al., 2022), stellt BYOD eine gute und kostengünstige Lösung dar um diese Probleme zu umgehen.

Die enorme Verbreitung von Smartphones in der heutigen Zeit (Bort-Roig et al., 2014) sollte bewirken, dass eine mangelnde Verfügbarkeit entsprechender Technologie eher selten einen Grund darstellt, dass BYOD nicht praktikabel ist. Die geringere Verfügbarkeit von Wearables im Alltag bei Betagten könnte allerdings besonders bei älteren Patienten zu genau dieser Einschränkung der BOYD-Methode führen. Es lassen sich derzeit jedoch Tendenzen in der Nutzung von Wearables bei Älteren erkennen, die andeuten, dass die Rolle des Alters in Zukunft von geringerer Wichtigkeit sein wird (Braun et al., 2023, Onyeaka et al.,

2021). Allgemein liegt jedoch die Vermutung nahe, dass es älteren Menschen leichter fällt, ein Gerät zu benutzen, das Sie bereits besitzen und an das sie bereits gewöhnt sind. Die Bedienung neuer Technologie durch kognitiv eingeschränkte Personen hat in der Vergangenheit bereits für Probleme gesorgt (Chen and Lauderdale, 2019). An diesen Stellen könnte die neue Messstrategie „Bring Your Own Device“ eine Lösung mit weniger Einschränkungen darstellen.

3. Fragestellung

Mit dieser Arbeit sollen zwei Dinge untersucht werden. Zum einen die Möglichkeit der Gewinnung und Verwertung von Daten zur Bewegung und Aktivität von Patienten mittels der neuen Messstrategie BYOD („Bring Your Own Device“) durch patienteneigene Wearables (z.B. Smartphones). Anhand dieser Daten soll der Heilungsverlauf nach erfolgtem Trauma dargestellt und analysiert werden. Dabei werden die vorher aufgezeichneten Zahlen als Referenz zum Normalzustand herangezogen und mit den prospektiv ermittelten Daten verglichen. Zum anderen als Grundlage für unsere neue Messtrategie BYOD, ob ein rein posttraumatisch/-operatives Tracking von Patienten in der Traumatologie anhand von Wearable-Daten möglich ist und sich eine Änderung Ihrer Aktivität erkennen lässt.

Ziel der Arbeit ist es, den Wert der Nutzung von patienteneigenen Wearables (BYOD) zur Aktivitätsmessung und der Steuerung der Behandlung durch das Auswerten der vor einem Trauma erhobenen Daten im Vergleich mit den Daten in der Heilungs- und Rehabilitationsphase zu beurteilen.

Daraus resultierten die folgenden Fragen:

1. Lassen sich Patienten anhand von Wearable-Daten posttraumatisch/-operativ kontinuierlich nachverfolgen? Lässt sich hier eine Aktivitätsänderung beobachten?
2. Welche Geräte bzw. welche Technologien haben die Patienten vor ihrem Trauma genutzt und welche Daten wurden erhoben?
3. Kann aus den Daten vor dem Unfall ein normaler Aktivitätszustand definiert und als „gesund“ festgelegt werden?
4. Kann nach dem Trauma der Heilungsverlauf dargestellt und aus dem Vergleich mit dem vortraumatischen Zustand Rückschlüsse auf den Heilungsverlauf und die Steuerung der Behandlung gezogen werden?

4. Material und Methoden

4.1. Kooperation

Diese Studie wurde in Kooperation mit der Abteilung Traumatologie der University of California San Francisco (UCSF) durchgeführt. Eine Genehmigung der Studie durch die Ethikkommission der UCSF (Protokollcode 20-30783, Datum der Genehmigung 22. Juli 2020) und der Universität Tübingen ist erfolgt (Protokollcode 790/2020BO2, Datum der Genehmigung 18. November 2020). Die entsprechenden Patientendaten der UCSF wurden uns von extern übermittelt. Im Anschluss wurden die Ergebnisse von unserer Seite teilweise zusammengefügt. Der erste Teil der Studie, welcher sich auf die rein posttraumatisch/-operative Beobachtung der Probanden bezieht, setzt sich aus Daten beider Zentren zusammen. Die Ergebnisse des neuen Messkonzeptes BYOD, dem zweiten Teil der Arbeit, beinhaltet lediglich die erhobenen Daten der Teilnehmer aus Tübingen

4.2. Studiendesign

Es handelt sich um eine Machbarkeitsstudie mit sowohl retrospektiv als auch prospektiv beobachtendem Studiendesign. Die Studie wurde an der BG-Klinik Tübingen, Schnarrenbergstraße 95 in 72076 Tübingen, sowie der Abteilung Traumatologie der University of California San Francisco durchgeführt. An der BG-Klinik Tübingen wurden Patienten entsprechend des Patientenkollektivs im Rahmen ihres stationären Aufenthaltes oder während der traumatologischen Sprechstunde in die Studie aufgenommen. Im Falle des Vorhandenseins eines patienteneigenen Wearables zur Aktivitätsaufzeichnung wurden für die Zeit vor und nach erfolgtem Trauma mit ggf. folgender Operation Mobilitätsdaten erhoben. Als präoperativer Zeitraum wurde eine Spanne von 1 bis 6 Wochen gewählt, je nach Aufzeichnung durch das entsprechende Gerät. Der

Nachbeobachtungszeitraum betrug zwischen 6 Wochen und ungefähr 6 Monaten. Die Probanden erhielten keinerlei Vorgabe bzgl. der Verwendung ihres Wearables. Sie sollten die Geräte auf die gleiche Art nutzen wie vor dem Unfall. Zum Zeitpunkt der Aufnahme wurde mit den Teilnehmern ein Bogen ausgefüllt, der sowohl die Marke des vorhandenen Gerätes, die dazugehörige App als auch die erhobenen Parameter dokumentiert.

Der Studieneinschluss erfolgte gemäß der Ein- und Ausschlusskriterien. Die Erfassung der Ergebnisdaten erfolgte in Nachbeobachtungsintervallen von 2 und 6 Wochen sowie 3 Monaten (Braun et al., 2023). Für alle in die Studie eingeschlossenen Patienten wurden zusätzlich zu den Aktivitätsparametern und dem verwendeten Gerät das Alter, das Geschlecht und die verletzte Extremität dokumentiert.

Patient:

Datum:

Nutzen Sie tragbare, „wearable“ Aktivitätsmesser (z.B. Smartphone, Smartwatch, Fitness Tracker, wie Fitbit, etc.)

- Ja
- Nein

Falls Sie mit ja geantwortet haben, nennen Sie bitte bis zu 3 Ihrer am häufigsten genutzten Aktivitätsmesser direkt (z.B. Iphone 11, Fitbit Versa 2, etc.)

1	
2	
3	

Falls Sie mit ja geantwortet haben und dies zutrifft, nennen Sie bitte bis zu 3 Ihrer am häufigsten genutzten Apps direkt (z.B. Google Health, weitere Herstellerapps etc.)

1	
2	
3	

Falls Sie mit ja geantwortet haben und dies zutrifft, nennen Sie bitte bis zu 3 der Parameter auf die Sie achten (z.B. Schrittzahl, Aktivitätszahl etc.)

1	
2	
3	

Abbildung 1: Tübinger Dokumentationsblatt des Wearables, der App und der Parameter

4.3. Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv dieser Studie umfasste Patienten, die aufgrund einer muskuloskelettalen Verletzung in der BG Klinik in Tübingen vorstellig wurden. Bedingung für eine Teilnahme waren Volljährig- und Einwilligungsfähigkeit sowie die bereits erwähnte Kategorie der Verletzung. Die wichtigste Voraussetzung für eine Studienteilnahme war das Vorhandensein eines Wearables jeglicher Art zur Aufzeichnung der Patientenaktivität, welches bereits vor der erlittenen Verletzung Aktivität dokumentiert hat. Ein Ausschlusskriterium stellte missbräuchliches Verhalten in Bezug auf Alkohol und/oder Drogen dar. Die Inhaftierung der entsprechenden Personen sowie eine geplante oder intakte Schwangerschaft im Zeitraum der Datenerfassung zählten ebenfalls zu Gründen, die eine Teilnahme ausschlossen (Braun et al., 2023). Die Teilnehmer wurden über den Ablauf der Studie informiert. Zusätzlich wurde ihnen eine schriftliche Information zur durchgeführten Studie ausgehändigt. Sie unterschrieben eine Einverständniserklärung einschließlich Datenschutzeinwilligung (Braun et al., 2023). Ein zweites Patientenkollektiv ergab sich aus Patienten der Abteilung Traumatologie der University of California San Francisco. Inkludiert wurden dort alle, welche in jüngster Vergangenheit eine operative Versorgung einer Fraktur erhielten und in den darauffolgenden 6 Monaten dort nachuntersucht wurden. Die Vollendung des 18. Lebensjahres sowie der Besitz und die Befähigung zur Nutzung von mindestens einem Wearable oder Smartphone gehörten ebenfalls zu den Einschlusskriterien. Ausgeschlossen wurden Patienten ohne Englischkenntnisse und jene mit psychischen Problemen, bei denen das Einverständnis für eine medizinische Intervention nicht eingeholt werden konnte (Braun et al., 2023).

4.4. Datenerfassung

Um die Mobilitätsdaten der Teilnehmer zu erfassen verwendeten die Patienten die jeweils vorhandene Software um ihre Aktivität kontinuierlich aufzuzeichnen. Diese Daten wurden uns anschließend zu Verfügung gestellt. Die Tübinger Probanden, die bereits prätraumatisch ermittelte Zahlen aufgezeichnet hatten, konnten diese zum Zeitpunkt des Studieneinschlusses bereits übermitteln.

4.5. Die verfügbaren und verwendeten Wearables

Die Tübinger Teilnehmer der Studie besaßen unterschiedlichen Wearables, um ihre Aktivität aufzuzeichnen.

4.5.1. Fitbit

Wearables der Marke Fitbit arbeiten mit einem triaxialen Beschleunigungssensor. Dieser ist in der Lage Bewegungen im Raum zu detektieren und aufzuzeichnen. Die Auswertung der Daten mittels eigens entwickelter Algorithmen führt dazu, dass die Geräte fähig sind, bestimmte Muster in den Tätigkeiten zu erkennen. Dies ermöglicht die Erfassung bestimmter Parameter wie Schritte, verbrauchter Energie und die zurückgelegte Strecke (Feehan et al., 2018). Geräte der Marke Fitbit werden mit einer entsprechenden App auf dem Smartphone gekoppelt (Fuller et al., 2021).

4.5.2. Garmin

Garmin Fitness-Tracker beinhalten einen Beschleunigungssensor in 3-Achsen. Sie können am Handgelenk getragen werden und über diese Technik als

Schrittzähler benutzt werden. Auch Garmin verfügt über einen eigenen Algorithmus, um das Ausmaß der Bewegung zu berechnen (Withycombe et al., 2022). Die Geräte kommunizieren mit einer entsprechenden „Garmin“-App. Diese ist sowohl für iOS als auch für Android als Anwendung verfügbar (Miller et al., 2022)

4.5.3. Apple

4.5.3.1. iPhone

Smartphones der Marke Apple arbeiten mit Sensoren, die Beschleunigungen erfassen. Darüber zeichnen sie die Aktivitätsdaten des Nutzers auf. Dazu gehören beispielsweise die Schrittzahl und die zurückgelegte Strecke. Die Dokumentation erfolgt über die bereits vorinstallierte „Apple Health“-App. Eine andere Möglichkeit wird durch die mögliche Nutzung anderer Aktivitäts-Apps geboten (Reynolds et al., 2022).

4.5.3.2. Apple-Watch

Die Apple-Watch ist ein am Handgelenk zu tragendes Gerät. Sie ist mit zahlreichen Sensoren ausgestattet. Zu diesen gehören neben einem Beschleunigungsmesser auch Gyroskope und Magnetometer. Diese detektieren im Falle dieses Wearables alle triaxial. Anhand dieser Technologie werden unter anderem Bewegungsdaten wie Schritte oder auch Treppensteigen erfasst (Espinosa et al., 2020).

Zusätzlich können Sie über Photoplethysmographie die Herzfrequenz und auch den Rhythmus analysieren (Raja et al., 2019).

Die Smartwatches werden mit der bereits erwähnten „Apple Health“-App verbunden (Fuller et al., 2021).

4.5.4. Samsung

4.5.4.1. Samsung Galaxy

Samsung Galaxy Smartphones können mit der „Samsung Health“-App verbunden werden. Diese Smartphone-Anwendung dient der Aufzeichnung der Aktivität des Nutzers. Dies erfolgt über Bewegungssensoren. Beschleunigungen, welche von den Geräten erkannt werden, werden beispielsweise als Schritte erfasst (Beltrán-Carrillo et al., 2019).

4.5.4.2. Samsung Galaxy Watch

Die Samsung Galaxy Watch als am Handgelenk zu tragendes Wearable ist wie das entsprechende, oben bereits beschriebene Smartphone in der Lage, mit der „Samsung Health“-App zu kommunizieren. Wie viele andere Geräte arbeitet sie mit einem triaxialen Beschleunigungssensor (Viciano et al., 2022). Zusätzlich gibt es Parallelen zu Technologie anderer Marken, da auch die Samsung Galaxy Watch mit Hilfe von Photoplethysmographie Vitalparameter wie die Herzfrequenz oder den Blutdruck des Nutzers erfassen kann (Nissen et al., 2022).

4.5.5. Xiaomi

Fitnessarmbänder der Marke Xiaomi beinhalten Beschleunigungsmesser in drei Achsen, um die Bewegungen ihrer Nutzer aufzuzeichnen. Ein globales Positionierungssystem (GPS) trägt ebenfalls dazu bei, die Aktivität zu messen. Neben der Schrittzahl kann auch die zurückgelegte Distanz getrackt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, sie mit anderen mobilen Geräten zu koppeln und die ermittelten Daten in eine App zu übertragen (Liang et al., 2018, Chang, 2020).

4.5.6. Huawei

Huawei Smartphones sind ebenfalls in der Lage, Aktivität aufzuzeichnen. Dies ermöglichen zahlreiche Sensoren, die die Beschleunigung oder die Kräfte, die auf das Gerät wirken, messen. Zu diesen Sensoren zählt unter anderem auch ein integriertes Gyroskop (Kalabakov et al., 2022)

4.6. Datenanalyse

Im Rahmen dieser Studie wurde die Analyse nicht auf bestimmte Verletzungsentitäten reduziert. Aufgrund der Erfassung unterschiedlicher Aktivitätsparameter wurden die von den Wearables am häufigsten erfassten Größen zur Auswertung in der Studie herangezogen. Für die Analyse wurden nur Patienten verwendet, von welchen mindestens Daten von 6 Wochen vorlagen. Im ersten Teil der Studie wurde sich auf die Daten und Auswertung der Schrittzahl im Zeitraum nach dem Trauma beschränkt. Hier wurden die absoluten Schrittwerte aller Teilnehmer zur Darstellung herangezogen. Im Falle des zweiten Studienabschnitts, der nur die Tübinger Patienten betrifft, waren die häufigsten aufgezeichneten Parameter die tägliche Schrittzahl und die zurückgelegte Strecke pro Tag sowie Kardiopunkte. Für diese Parameter wurden die täglichen Durchschnittswerte vor und nach dem Trauma sowie nach einer operativen Versorgung ermittelt und ausgewertet (Braun et al., 2023). Mit Hilfe der Software GraphPad Prism (GraphPad Prism Version 9; GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA) wurden alle Werte im Zeitraum der ersten 6 Wochen in Bezug auf die durchschnittliche Aktivität in der Woche vor dem stattgehabten Trauma konstant normiert. Diese durchschnittliche prätraumatische Aktivität wurde als „gesunde“ Referenz festgelegt (Braun et al., 2023). Die erhaltenen Daten wurden verwendet, um die Aktivität der Probanden im Nachbeobachtungsintervall darzustellen und zu analysieren.

4.7. Statistische Auswertung

Es wurde eine deskriptive Statistik der UCSF-Screening-Protokolle und der durch die Wearables erfassten Mobilitätsdaten der Teilnehmer an beiden Studienzentren angefertigt (Braun et al., 2023). In einem ersten Teil fand eine Analyse der Schrittzahlen aller Teilnehmer, sowohl der an der UCSF eingeschlossenen Probanden, als auch der Teilnehmer aus Tübingen, gemeinsam statt. Dabei wurde nur der posttraumatische/-operative Zeitraum untersucht. Für deren Auswertung wurde die durchschnittliche tägliche Schrittzahl nach 2 und 6 Wochen sowie 3 Monaten in einem Boxplot dargestellt und der Median, die Streuung und die Quartilen ermittelt. In einem zweiten Teil der Arbeit wurden die Tübinger Patienten isoliert ausgewertet. Dafür wurden einerseits die durchschnittliche tägliche Schrittzahl und andererseits die zurückgelegte Strecke zusammen mit den Kardiopunkten gegen die Zeit in zwei Liniendiagrammen aufgetragen. Anschließend wurden die posttraumatisch/-operativen Daten mit denen vor der stattgehabten Verletzung verglichen. Außerdem wurden die gescreenten Merkmale - Alter, Geschlecht, verwendetes Wearable und verletzte Extremität (Braun et al., 2023) - ausgewertet. Gleiches geschah mit den Gründen für Nichtteilnahme oder Ausschluss aus der Studie.

5. Ergebnisse

5.1. Demographie

An beiden Studienzentren zusammen konnten insgesamt 48 von 61 eingeschlossenen Teilnehmern diese Studie abschließen. Mit einer Spanne von 21 – 67 Jahren betrug das durchschnittliche Alter 45,9 Jahre. Die Geschlechterverteilung belief sich auf 14 weibliche und 47 männliche Patienten. Es lagen 14 (23%) Verletzungen der oberen und 35 (57,5%) der unteren Extremität vor. 7 (11,5%) Teilnehmer erlitten eine Schädigung des Beckens und in 5 (8%) Fällen handelte es sich um eine Kombination verschiedener Verletzungsentitäten (Braun et al., 2023). Während ursprünglich 34 Patienten an der BG Klinik in Tübingen für die Studie in Frage kamen und dem Einschluss zustimmten, konnten die Daten von 4 (12% der ursprünglichen 34) Patienten nicht verwendet werden. Somit reduzierte sich die Anzahl der Probanden aus Tübingen auf 30 (88% der ursprünglichen 34). In 3 (9%) Fällen konnte keine Kontaktaufnahme nach Einschluss in die Studie und anschließender Entlassung aus der Klinik erfolgen. Aus diesem Grund konnte keine Aussage über deren postoperative Aktivität getroffen werden und es bestand keine Vergleichbarkeit zwischen der Aktivität vor dem stattgehabten Trauma und nach anschließender Operation. In einem Einzelfall (3%) wurden die erhobenen Daten aus der Wertung genommen. Zusätzlich zu einem lückenhaften Datensatz prä- wie postoperativ erfolgte innerhalb des Beobachtungszeitraums der Wechsel des Schrittzählers. Aus diesen Gründen war auch hier keine Vergleichbarkeit gewährleistet. Lediglich 2 gescreente Patienten lehnten eine Teilnahme an der Studie ab. Ein großer Teil der Befragten kamen nicht für das Patientenkollektiv in Frage, da kein Wearable vorhanden war, welches bereits vor dem Unfall die Aktivität aufgezeichnet hat. An der UCSF betrug die Anzahl der gescreenten Patienten 432. Mit 27 Personen stimmten 6,5% dieser 432 einer Teilnahme an der Studie zu. Während 48 (11%) die Aufnahme ablehnten, verfügten 35 (8%) nicht über ein Wearable oder waren nicht in der Lage, es zu nutzen. 65 (15%)

sprachen kein Englisch, 86 (20%) wurden nicht operativ versorgt und 65 (15%) konnten im Laufe des Nachbeobachtungszeitraumes nicht weiterverfolgt werden. Zusätzlich waren 35 (8%) nicht im Stande über die Studie aufgeklärt zu werden und 71 (16,5%) Ausschlüsse waren auf andere Kriterien zurückzuführen. Die Anzahl der Patienten, die daraufhin zur Analyse zur Verfügung standen, reduzierte sich auf 18 (66,5% der 27 Teilnehmer, insgesamt 4% aller Gescreenten), da 9 Teilnehmer (33,5% der 27 Teilnehmer, 2% aller Gescreenten) im Nachbeobachtungszeitraum nicht weiterverfolgt werden konnten. An der UCSF bestand ein signifikanter Unterschied des Alters der in die Studie eingeschlossenen Patienten gegenüber derer, die ausgeschlossen wurden ($38,6 \pm 15,2$ Jahre versus $55,6 \pm 22,5$ Jahre, $p= 0,0187$). Verglichen mit den anderen Teilnehmern hatten das signifikant höchste Alter die Betreffenden, die nicht im Besitz eines Smartphones oder nicht in der Lage waren eines zu benutzen ($72,1 \pm 18,9$ Jahre versus $54 \pm 22,3$ Jahre, $p=0,0028$) (Braun et al., 2023).

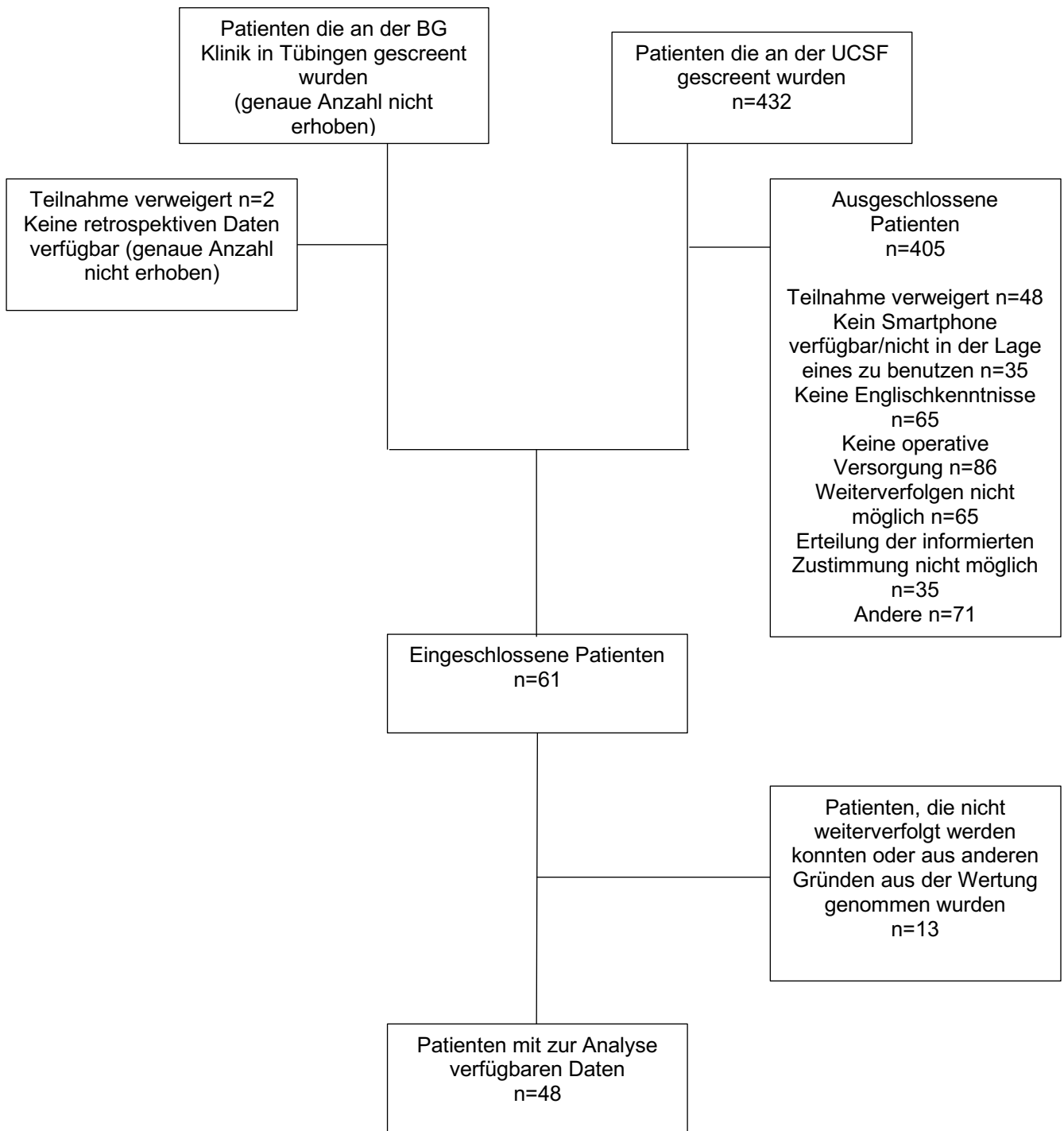


Abbildung 2: Übersicht der Patienten, die in der BG und an der UCSF gescreent, in die Studie aufgenommen und schließlich zur Analyse zur Verfügung standen. Zusätzlich die Anzahl der Patienten die an der BG und der UCSF nicht in die Studie eingeschlossen wurden mit der entsprechenden Begründung (Braun et al., 2023) .

5.2. Übersicht der Wearables

Bezogen auf beide Studienzentren verwendete jeder Patient (100%), der diese Studie abschloss, ein Smartphone, um seine Aktivität aufzuzeichnen. Dies geschah entweder durch das Smartphone selbst oder durch ein Wearable, welches am Handgelenk des Probanden getragen wurde und mit dem entsprechenden Smartphone in Verbindung stand (n=9; 19%). Mit 71% (n=34) waren die meisten Systeme der Apple-Technologie (Apple Inc, Cupertino, CA, USA) zuzuordnen (Braun et al., 2023). Die Nutzer der Apple-Wearables zeichneten ihre Daten mit Hilfe der „Health“-App auf. Im Fall der übrigen 29%(n=14) Geräte handelte es sich um Technologie von Google (Google LLC, Mountain View, CA, USA) (Braun et al., 2023). Bei den 30 in Tübingen rekrutierten Probanden wurden je nach verwendeter Google-Technologie Geräte unterschiedlicher Marken und somit unterschiedliche Apps zur Aufzeichnung genutzt. Zu den häufigsten vorgefundenen Marken gehörten Samsung (n=4; 13,5 % der 30 Patienten) und Fitbit (n=2; 6,5%). Während Samsung-Nutzer die „Samsung-Health“- sowie die „Google Fit“-App verwendeten, fanden für die Fitbit-Modelle die entsprechenden Apps und „Yazio“ Anwendung. Andere Teilnehmer der Studie nutzten ein Wearable des Herstellers Garmin (n=2; 6,5%) in Verbindung mit der „Garmin Connect“-App. Einige Technologien wurden in unserem Patientenkollektiv jeweils nur einmal (3,5%) genutzt. Dazu gehörten ein Smartphone der Marke Huawei mit dazugehöriger „Huawei Health“-App und ein Mi Fitnessarmband der Marke Xiaomi kombiniert mit der Anwendung „Mi Fitness“. Wenn man nur die am Handgelenk getragenen Wearables betrachtet (n=9; 30% Tübinger Teilnehmer), teilen sich diese auf in Technologien von Apple (n=3; 33,5%), Fitbit (n=2, 22,25%), Garmin (n=2; 22,25%), Samsung (n=1; 11%) und Xiaomi (n=1; 11%).

5.3. Wearable-Aktivitätsdaten

Die tägliche Schrittzahl wurde in diesem ersten Teil der Studie verwendet, um im posttraumatisch/-operativen Nachbeobachtungsintervall die durchschnittliche tägliche Schrittzahl zu den Zeitpunkten nach 2 und 6 Wochen sowie 3 Monaten zu berechnen (Braun et al., 2023). Es wurden die Zahlen beider Studienzentren, der UCSF und der BG-Klinik Tübingen, zusammengetragen.

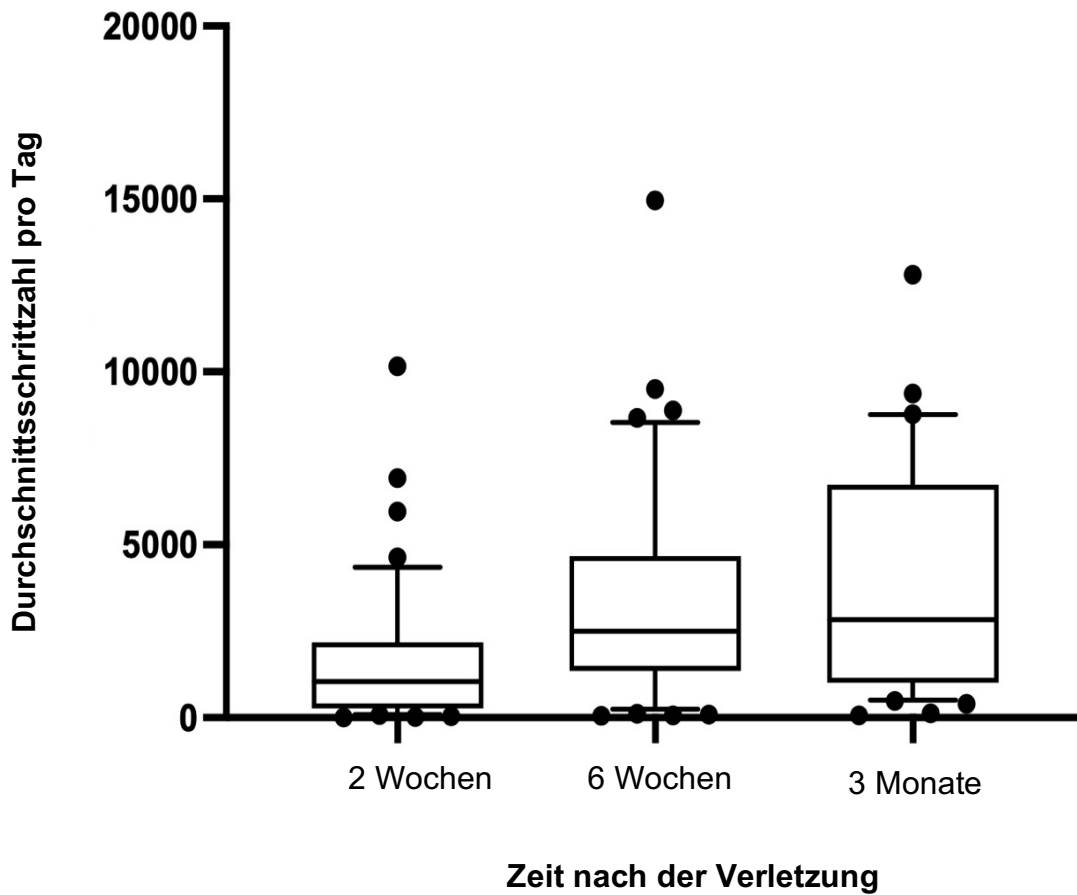


Abbildung 3: Die durchschnittliche tägliche Schrittzahl aller Patienten in den ersten 2 und 6 Wochen sowie 3 Monate nach stattgehabter Verletzung. Während die X-Achse die Zeitpunkte darstellt, sind auf der Y-Achse die durchschnittlichen Schrittzahlen aufgetragen. Die Boxen markieren die 1. und die 3. Quartile mit dem entsprechenden Median, die Whisker zeigen die 10. und die 90. Perzentile. Die Punkte stellen vereinzelte, abweichende Ergebnisse dar (Braun et al., 2023).

Der Median wird im gesamten Beobachtungszeitraum stetig größer. Hierbei ist der Unterschied zwischen den Zeitpunkten nach 2 und 6 Wochen größer als zwischen 6 Wochen und 3 Monaten. Der Interquartilsabstand nimmt im zeitlichen Verlauf zu. Er weist zwischen 6 Wochen und 3 Monaten die größte Zunahme auf. Der Anstieg der 90. Perzentile ist von der 2ten bis zur 6ten Woche nach der Verletzung größer als im Zeitraum danach. Zu allen Zeitpunkten wurden abweichende Ergebnisse, sowohl unterhalb der 10., als auch oberhalb der 90. Perzentile aufgezeichnet.

5.4. Prä- und Postoperativer Vergleich

Die Teilnehmer dieser Studie, die in Tübingen aufgenommen wurden (n=30) lieferten sowohl Daten aus der Zeit vor als auch nach ihrer Verletzung. Dadurch bot sich die Möglichkeit, die Aktivität der Patienten bis zur Genesung zu verfolgen und es ergab sich der zweite Teil der Studie, welcher sich auf die Probanden an der BG Klinik Tübingen beschränkt. Die Genesung wurde auf die durchschnittlichen Werte der erhobenen Parameter vor der Verletzung normiert und die Daten zur besseren Darstellung auf 100% begrenzt.

Bei den entsprechenden Patienten beschränkte man sich bei der Auswertung auf die Schrittzahl und je nach Gerät auf die zurückgelegte Entfernung pro Tag in Kilometern oder die Kardiopunkte bei Systemen, die auf Android basierten. Diese stellten neben der Schrittzahl die am häufigsten gemessenen Werte dar. Die erhobenen Daten sind in Abbildung 4 (Schrittzahl) und 5 (Entfernung/Kardiopunkte) dargestellt (Braun et al., 2023).

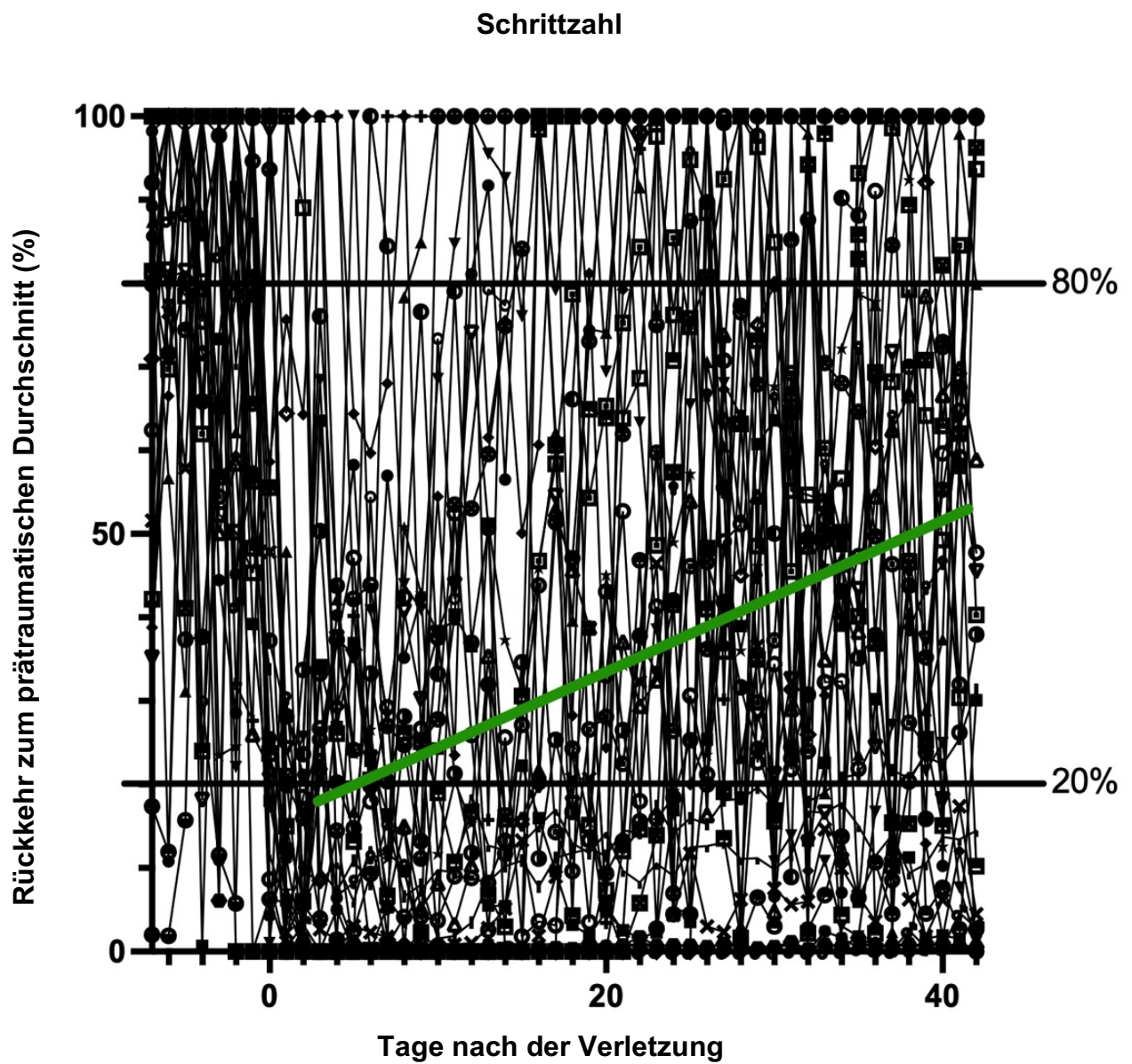


Abbildung 4: Genesung der Patienten anhand der täglichen Schrittzahl vor und nach dem erfolgten Trauma über den Zeitraum von 6 Wochen (Braun et al., 2023).

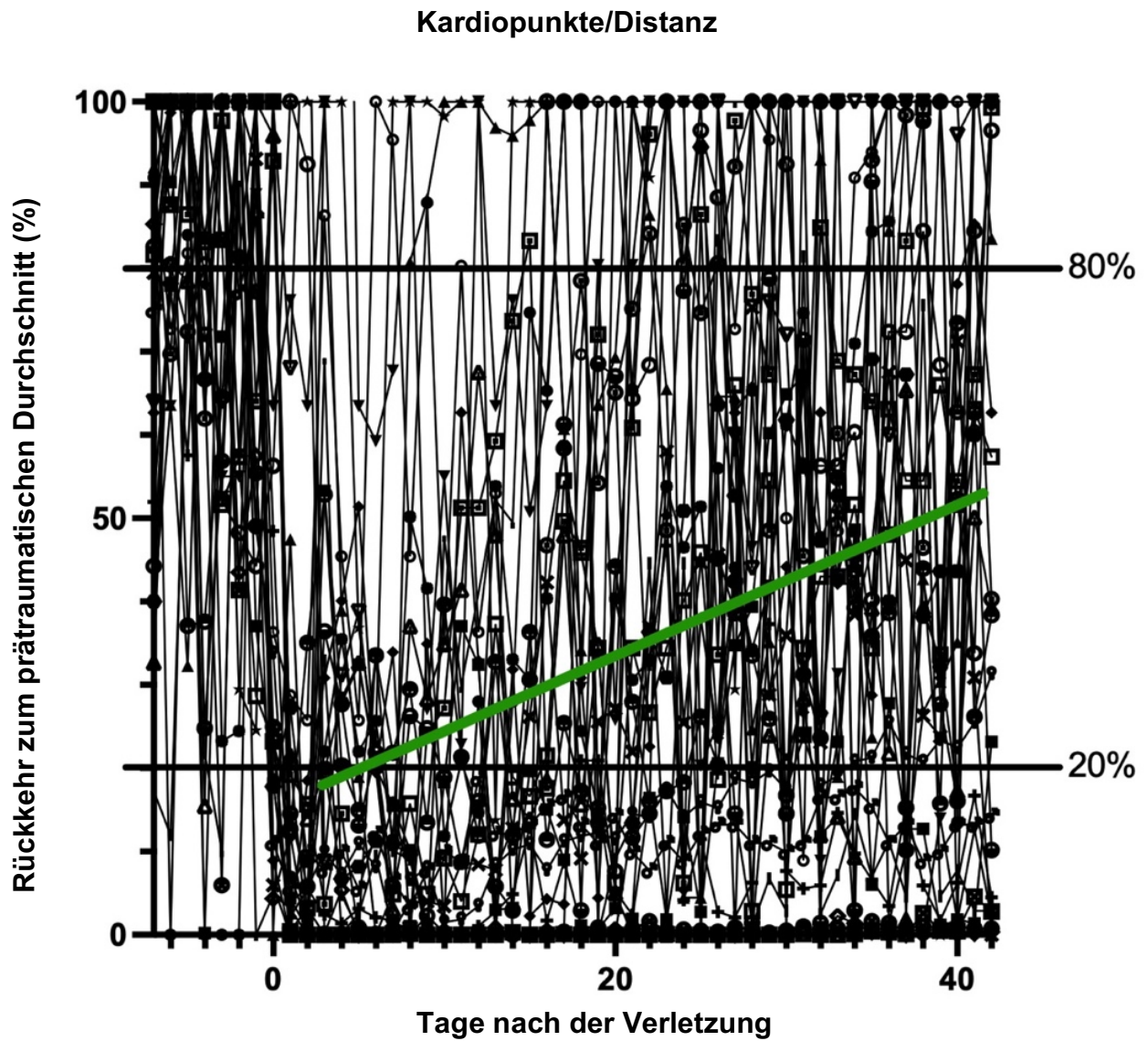


Abbildung 5: Genesung der Patienten anhand der täglich zurückgelegten Distanz oder der Kardiopunkte vor und nach dem erfolgten Trauma über den Zeitraum von 6 Wochen (Braun et al., 2023).

Bei beiden Abbildungen sind auf den X-Achsen die Tage nach der Verletzung dargestellt. Diese ist durch den Tag 0 gekennzeichnet. Die Y-Achsen stellen den auf den Zeitraum vor der Verletzung normalisierten Parameter dar. Die untere und die obere horizontale schwarze Linie markieren die 20%- und 80%-Grenze in Bezug auf die prätraumatische Aktivität der Patienten. Der Trend der Patienten die genesen konnten, ist durch die grüne Linie markiert (Braun et al., 2023).

In beiden Abbildungen ist zu erkennen, dass vor der Verletzung die höchste Dichte an erhobenen Werten im Bereich hoher Schrittzahlen, Strecke pro Tag sowie Kardiopunkten liegt. Mit dem Zeitpunkt 0 befindet sie sich zwischen 0 und 20% der Ausgangsaktivität. Im zeitlichen Verlauf verschiebt sich ein Großteil der ermittelten Zahlen in Bereiche höherer Prozentwerte als zuvor. Im gesamten Studienzeitraum zeigten sich vereinzelte Werte unterhalb der 20 sowie oberhalb der 80% des prätraumatischen Durchschnittes.

Anhand der Patientendaten und der Graphen ließen sich drei verschiedene Patientengruppen erkennen. Die Patienten, die im Beobachtungszeitraum einen kontinuierlichen Anstieg ihrer Schrittzahlen sowie der zurückgelegten Strecke oder Kardiopunkte verzeichneten, und zwei Gruppen, bei denen sich die Zahlen gruppenintern auf einem ähnlichen prozentualen Niveau der prätraumatischen Aktivität bewegten. Die Einen zeigten innerhalb der ersten Tage einen Anstieg und blieben anschließend auf einer ähnlichen Höhe, während die Anderen ohne eine große Zunahme der Zahlen durchgehend bei niedrigeren Prozentwerten stagnierten.

6. Diskussion

Mit der WEAR-IT-Studie wurde versucht, zu zeigen, dass die rein posttraumatische Nachverfolgung von Patienten mittels Wearable-Daten praktikabel ist und sich eine Aktivitätssteigerung in diesem Intervall beobachten lässt. Außerdem wurde angestrebt, mit dem neuen Konzept des „Bring Your Own Device“ anhand von durch patienteneigene Geräte erhobenen retrospektiven Daten, die Rehabilitation und die Gesundung der Probanden durch den prä- und posttraumatischen Aktivitätsvergleich nachzuvollziehen. Es stellte sich heraus, dass man den Prozess gut anhand der erhobenen Parameter verfolgen kann. Neben den Teilnehmern, die im Zeitraum der Datenerfassung ihre Aktivität wiederherstellen konnten, war es möglich, noch zwei weitere Verläufe zu beobachten. Zum einen Patienten, die keine Genesung erfuhren, und zum anderen Probanden, die bereits nach kurzer Zeit die gleiche Aktivität wie vor dem Trauma aufwiesen (Braun et al., 2023).

6.1. Diskussion des Patientenkollektivs

Das Kollektiv setzte sich zusammen aus traumatologischen Patienten der BG Klinik Tübingen und der Abteilung Traumatologie der University of California San Francisco. Es wurde keine Einteilung bezüglich der Verletzungsentität vorgenommen. Mit einer Altersspanne von 21-67 Jahren konnte ein Patientenkollektiv von n=48 Teilnehmern die Studie abschließen. Bei zu Beginn 14 weiblichen und 47 männlichen in die Studie eingeschlossenen Patienten kam es zu 13 Drop-outs. Auf eine Gruppierung anhand der jeweiligen Diagnose wurde mit Hinblick auf die angestrebte Größe des Kollektivs verzichtet (Braun et al., 2023).

Das Studienziel bestand in der Prüfung der Verwertbarkeit von Daten aus im Patientenalltag weit verbreiteten Wearables zur Analyse von

Aktivitätsparametern im Allgemeinen und in der Beurteilung des Heilungs- bzw. Rehabilitationsverlaufes nach stattgehabtem Trauma. Im Speziellen interessierte der Nutzen des Vergleichs mit vor dem Trauma erhobenen Daten durch patienteneigene Geräte. Aufgrund dieses Studiendesigns als Machbarkeitsstudie spielte die Inhomogenität des Klientels bezüglich des Verletzungsmusters eher eine untergeordnete Rolle.

Bereits in der vorhandenen Literatur wird beschrieben, dass das Alter ein Parameter mit großem Einfluss auf die Art der Nutzung und die Verfügbarkeit von Wearables ist (Andone et al., 2016, Braun et al., 2023, Moore et al., 2021). Dies lässt sich anhand unserer Studienergebnisse bestätigen. Besonders fiel der Altersunterschied zwischen den durch die UCSF eingeschlossenen Teilnehmern ($38,6 \pm 15,2$ Jahre) und den ausgeschlossenen Probanden ($54 \pm 22,3$ Jahre) auf (Braun et al., 2023). Insgesamt wächst die Zahl traumatologischer Patienten höheren Alters (Lee et al., 2022). Dies stellte in Anbetracht der daraus resultierenden bevorzugten Nutzung des Smartphones als Gerät der Kommunikation eine Herausforderung bezüglich der Rekrutierung neuer Studienteilnehmer dar (Andone et al., 2016, Braun et al., 2023). Aufgrund nicht vorhandener präoperativer Daten konnten viele Patienten nicht in die Studie eingeschlossen werden, da sie keinen Vergleich ihrer prä- und postoperativen Mobilität ermöglichten. Dies stellt einen Grund für die eher geringe, für unsere Zwecke aber vollkommen ausreichende, Anzahl an Studienteilnehmern dar. Das Problem, welches das Alter der Patienten für die Messstrategie des „BYOD“ darstellt, könnte zukünftig jedoch an Bedeutung verlieren. Es wurden Tendenzen beobachtet, dass die Nutzung von technischen Geräten im gesundheitlichen Bereich bei der älteren Bevölkerungsgruppe zunimmt (Onyeaka et al., 2021, Braun et al., 2023). Solange es sich jedoch nur um Tendenzen handelt, sollte „BYOD“ eher Anwendung in einem jüngeren Patientenkollektiv finden (Braun et al., 2023).

Die Verteilung der Geschlechter unserer Studienteilnehmer ist weniger der Effekt einer verminderten Nutzung von Wearables als der altersbezogenen

Geschlechterverteilung von Patienten in der Traumatologie allgemein. Gerade im Bereich einer Altersspanne, wie sie in dieser Studie vorliegt, überwiegen männliche Patienten (Sethuraman et al., 2014). Diese Tendenz lässt sich auch altersunabhängig feststellen (Gomez et al., 2012).

6.2. Kooperationsprojekt

Diese Studie wurde als Kooperationsprojekt mit der Abteilung Traumatologie der University of California San Francisco (UCSF) durchgeführt. Diese Kooperation bringt Einschränkungen dieser Arbeit mit sich. Da aus Amerika keine Daten von vor der Verletzung zur Verfügung standen bieten diese Zahlen keine Basis, um die Durchführbarkeit speziell des BYOD-Designs zu belegen. Ein Heilungsverlauf ohne Vergleich zur Vergangenheit kann nicht nachvollzogen werden. Zusätzlich bestanden unterschiedliche Aufnahmekriterien und auch die Methodik war unterschiedlich (Braun et al., 2023). Allerdings wurde auch an der UCSF die Aktivität anhand der Schrittzahl beurteilt. Der Einschluss der in Amerika in die Studie aufgenommenen Probanden und deren Kombination mit den Daten aus Tübingen diente rein dem Zwecke der Demonstration. Es sollte gezeigt werden, dass anhand der durch Wearables ermittelten Schrittzahlen der Patienten eine Steigerung ihrer Aktivität im Verlauf nach ihrer Verletzung beobachtet werden kann. Es stellte einen eigenen ersten Teil der Arbeit dar. Dieser demonstriert, dass sich Wearables zur Aktivitätsaufzeichnung von Patienten eignen und bildet damit die Grundlage für das neue Konzept des BYOD ab. Aus diesem Grund spielen die Unterschiede der beiden Studienzentren nur eine untergeordnete Rolle, da die angestrebte Demonstration erreicht werden konnte. Die Bedeutung der unterschiedlichen Wearables wird im folgenden Kapitel diskutiert.

6.3. Verwendete Wearables

Über die Art der verwendeten Wearables der Probanden der UCSF ist nur bekannt, dass den Teilnehmern Smartphones ausgehändigt wurden. Genauere Informationen waren allerdings auch nicht von Bedeutung, da im ersten Teil der Studie nur die individuelle Aktivitätssteigerung beobachtet wurde und kein Vergleich untereinander stattfand. Jedoch bezieht sich aufgrund der fehlenden Informationen die folgende Diskussion über die verwendeten Wearables mit ihren Vor- und Nachteilen lediglich auf die Probanden der BG Klinik in Tübingen.

Die an der BG Klinik Tübingen in die Studie eingeschlossenen Patienten verwendeten alle (n=30) ein Smartphone, 30% (n=9) von ihnen in Kombination mit einer Smartwatch (Braun et al., 2023). Diese Verteilung bestätigt auch die Tendenz, dass 2017 die Smartwatches 34,4% des Wearables-Marktes einnahmen (Jitesh Ubrani, 2019). Die genutzten Geräte unterschieden sich somit teilweise in ihrer Art der Technik und der Aufzeichnung sowie in den Herstellern und der Marke. Diese Unterschiede führen zu einer verringerten Vergleichbarkeit der Ergebnisse der einzelnen Patienten untereinander (Braun et al., 2023), da beispielsweise Handgelenkstechnologien zur Aufzeichnung von Schritten weniger genau als Smartphones sind (Zhai et al., 2020). Hinzukommt, dass die Nutzung von Gehstützen die Ergebnisse beeinflussen kann (Marmor et al., 2022) und nicht alle Teilnehmer auf diese angewiesen waren und nutzten. Ebenso führt das unregelmäßige Tragen der Geräte zu ungenaueren Aufzeichnungen (Marmor et al., 2022) und geringerer Vergleichbarkeit zwischen den Teilnehmern, wenn diese ihre Wearables unterschiedlich konsequent anwendeten. All diese Einschränkungen, die die Nutzung verschiedener Wearables und Marken auf unterschiedliche Art und Weise mit sich bringt, sind in unserer Studie zu vernachlässigen.

Das Hauptaugenmerk unserer Studie lag einerseits im posttraumatisch/-operativen Tracking desselben Patienten und andererseits auf dem Vergleich

seiner Aktivität vor und nach stattgehabter Verletzung (Braun et al., 2023). Die Patienten wurden angewiesen, ihre Technik auf gleiche Weise wie bereits vor der Studie zu verwenden und nicht zwischen verschiedenen Geräten zu wechseln. Ein Vergleich der Teilnehmer untereinander wurde nicht vorgenommen. Aus diesen Gründen spielte es keine Rolle, welche Wearables von den Patienten angewendet wurden, da ein Vergleich innerhalb des Teilnehmers dennoch gewährleistet war (Braun et al., 2023). Außerdem wird mit der Entwicklung zentralisierter Apps zur Datenerfassung der Vergleich der absoluten Werte verschiedener Betriebssysteme in Zukunft vereinfacht (Chromik et al., 2022), wodurch dieses Problem zusätzlich an Wert verlieren könnte.

6.4. Erhobene Parameter

In dieser Studie wurde sich auf die Erhebung der täglichen Schrittzahl sowie zurückgelegten Kilometer und der Kardiopoints der Teilnehmer beschränkt. Mit Hinblick auf die Möglichkeiten, die Wearables heute bieten, wie über Photoplethysmographie Vitalparameter zu erheben (Glasin et al., 2019) oder über die integrierten Sensoren den Schlaf zu beurteilen (Boe et al., 2019, Mendonça et al., 2018), gibt es durchaus noch viele mögliche zu erhebende Größen.

Durch die Nutzung unterschiedlicher Geräte auf unterschiedliche Art und Weise durch die Probanden vor der Verletzung unterschieden sich dementsprechend auch die erfassten Daten. Somit war es nicht möglich, bei den verschiedenen weiteren Parametern an eine signifikante Menge an Daten zu gelangen. Dies war nur im Falle der Schrittzahl sowie der Strecke und Kardiopoints möglich. Auch der Literatur zu Folge gehört die tägliche Schrittzahl zu den am häufigsten erhobenen Daten durch Wearables im Bereich der Orthopädie und Traumatologie, um die Aktivität der jeweiligen Nutzer zu erfassen (Marmor et al., 2022). Diese, zusammen mit den anderen verwendeten Größen, genügen allerdings, um den Heilungs- und Rehabilitations-Prozess zu beurteilen.

Jedoch bietet die Fragestellung, ob eine genaue Vorhersage des Heilungszeitpunktes durch Beurteilung der Aktivität anhand weiterer Parameter möglich ist, Inhalt für weitere Studien und Nachforschungen. Über eine Machbarkeitsstudie geht sie aber hinaus.

6.5. Diskussion der Methodik

6.5.1. Vorteile der Verwendung von Wearables

Allgemein nimmt die Nutzung von Wearables beständig zu (Jitesh Ubrani, 2019). Bei Wearables handelt es sich häufig um verhältnismäßig preiswerte Geräte, die in ihrer Anwendung nicht kompliziert sind (Liu and Chan, 2016). Das Smartphone als solche Technologie ist weit verbreitet und ermöglicht eine Datenaufzeichnung ohne weitere Anschaffung (Zhai et al., 2020). Die Tatsache, dass alle unsere Studienteilnehmer ein Smartphone zur Aktivitätsaufzeichnung benutzten, stützt diese Aussagen.

In Bezug auf die Komplexität der Anwendung muss allerdings die bereits thematisierte Problematik des Patientenalters wiederholt Erwähnung finden. Es gibt Hinweise darauf, dass mit steigender Einschränkung der Kognition die Durchführbarkeit einer auf Wearable-Daten aufbauenden Studie davon abhängt, dass die Betroffenen die Geräte lediglich tragen und Ergebnisse liefern. Die gezielte Ausführung von Instruktionen kann Probleme darstellen (Chen and Lauderdale, 2019). Die gemachten Erfahrungen im Rahmen der Datenerhebung der vorliegenden Studie stützt diese Annahme. Mit steigendem Patientenalter wurde es vereinzelt schwieriger, die Apps eigenständig zu nutzen, die Daten zu suchen und sie anschließend zu übermitteln. Allerdings sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die bereits erwähnte zunehmende Nutzung technischer Geräte von älteren Bevölkerungsgruppen im gesundheitlichen Bereich zu einer abnehmenden Bedeutung dieser Thematik führen könnte

(Onyeaka et al., 2021, Braun et al., 2023). Aufgrund unseres Altersspektrums traten diese Probleme nur selten auf.

Es zeigte sich eher ein in anderen Arbeiten bereits genannter großer Vorteil. Durch die Verwendung von Apps und Smartphones gestaltete sich die Kommunikation und Digitalisierung der Daten meist komplikationslos (Reid and Egan, 2019).

6.5.2. Vorteile der Wearables gegenüber früheren Methoden

Ein großer Unterschied zwischen den unterschiedlichen Methoden zur Erfassung der Patientenaktivität ist, dass Wearables-Daten im Vergleich zu PROMs, Skalen oder Leistungstests objektiv sind (Grimm and Bolink, 2016). Die Ergebnisse werden beispielsweise nicht durch eine verzerrte Selbstwahrnehmung beeinflusst (Zhai et al., 2020). Besonders durch den Vergleich der Daten vor und nach stattgefundenem Trauma ermöglicht es die BYOD-Methode, objektiv zu beurteilen, ob die Aktivität von vorher wieder erreicht wurde. Auch eine Beschränkung auf bestimmte zurückgelegte Distanzen wie bei ausgewählten früher verwendeten Skalen (Zhai et al., 2020) gab es nicht.

Die Möglichkeit der kontinuierlichen Datenerfassung am Beispiel unserer Studie zeigt, dass Wearables diese in der Literatur angeführte Lücke der PROMs schließen können (Bienstock et al., 2022). Dieser Vorteil der tragbaren Sensoren gegenüber der herkömmlicher Methodik, auf diese Art und Weise besser den Alltag eines Patienten und dessen gesamten Rehabilitationsprozess zu erfassen, wurde durch diese Arbeit aufgezeigt (Feng et al., 2023).

Zusätzlich wurden die früheren Methoden aufgrund ihrer Compliance-Abhängigkeit kritisiert (Marmor et al., 2022). Zu diesem Kritikpunkt gilt es zu sagen, dass auch die Datenerhebung dieser Studie abhängig von der

Compliance der Patienten war. Die Methodik, die Probanden nach der Entlassung aus dem stationären Setting die Daten selbstständig auf Nachfrage übermitteln zu lassen, setzte die Compliance der Teilnehmer voraus und sorgte einige Male für Probleme und Verzögerung. Dies führte dazu, dass die Nachbeobachtungszeiträume unserer Studie in einigen Fällen inhomogen waren. Da sich jedoch auf die ersten 6 Wochen fokussiert wurde, hatte dies keinen Einfluss auf das Ergebnis der Arbeit. In drei Fällen kam es jedoch zum Ausschluss aus der Studie, da auf wiederholte Nachfrage keine Datenübertragung stattfand. Hier besteht erneut Bedarf in zukünftigen Arbeiten, einen Weg zu finden, der ein geringeres Maß an Abhängigkeit schafft und somit zu weniger Drop-outs führt. Dennoch stimmt es, dass die Wearable-Technologie bei vorhandener Nutzer-Compliance die Möglichkeit bietet, ohne größere Zeitverzögerung an die Aktivitätsdaten der Patienten zu gelangen (Marmor et al., 2022).

Es wird angeführt, dass die Aufzeichnung der täglichen Schritte und eine Zielsetzung durch die Teilnehmer der Motivation dienen können (Mansi et al., 2014, Liu and Chan, 2016). Es besteht die Möglichkeit, dass Sensoren, welche am Handgelenk getragen werden, durch ihre Position vermehrt an die Aktivitätsaufzeichnung erinnern. Dies kann zu einer Aktivitätssteigerung führen (Zhai et al., 2020). Die gemachten Erfahrungen während der Datenerhebung dieser Studie können diese Annahme in einzelnen Fällen bestätigen. Laut einer Patientenaussage habe die Teilnahme an dieser Studie ihn motiviert, gesund zu werden. In einem weiteren Fall zeigte die wiederholte Nachfrage nach den Durchschnittswerten anderer Teilnehmer, dass die Aufzeichnung der Aktivität sowie der mögliche Vergleich eine zusätzliche Motivation bietet.

6.5.3. Nachteile der Verwendung von Wearables

In der Literatur wird unter anderem vermehrt die Genauigkeit der Wearable-Technologie kritisiert und diskutiert, durch welche Faktoren diese beeinflusst wird. Nicht bei jeder körperlichen Aktivität ist es möglich, ein solches Gerät zu tragen. Bei manchen wird es zudem als störend empfunden, wodurch es gewohnheitsbedingt nicht getragen wird (Ceroni et al., 2011, Liu and Chan, 2016). Auch führt es zu einer lückenhaften Datenaufzeichnung, wenn die Geräte nicht gewissenhaft mit sich geführt werden (Ceroni et al., 2012). Als entscheidender Faktor für die Genauigkeit der Aktivitätserkennung wird der Trageort des Gerätes genannt, welcher in der Nähe des Körperschwerpunktes liegen sollte (Marmor et al., 2022, Zhai et al., 2020). Zusätzlich kann es bei Handgelenksgeräten zu einer Verfälschung der Daten durch falsch interpretierte Armbewegungen kommen, wodurch die Zahlen höher ausfallen (Hartung et al., 2020).

Zunächst kann hier angeführt werden, dass die Aufzeichnung des Gehens und der Aktivitäten des alltäglichen Lebens einer Studie zufolge, welche die Messgenauigkeit verschiedener Geräte bei verschiedenen Tätigkeiten verglich, das geringste Risiko in Bezug auf Messfehler darstellt (Hartung et al., 2020). All diese Punkte sind für die sogenannte DD-Strategie, bei der dem Patienten durch den Behandler ein Gerät ausgehändigt wird und anhand der gelieferten Daten der anschließende Zeitraum und die Aktivität prospektiv bewertet werden sollen (Braun et al., 2023) durchaus relevant und eine Berücksichtigung dieser ist notwendig. In diesem Fall besteht nicht die Möglichkeit eines prä-/posttraumatischen Vergleiches und für eine Bewertung stehen nur die absoluten Zahlen als Maß für die Aktivität und deren Steigerung zur Verfügung. Grundsätzlich treffen diese Störfaktoren auf den ersten Teil unserer Studie, bei dem lediglich der posttraumatische Zeitraum beleuchtet wurde, zu. Da uns in diesem Abschnitt aber nur die Eignung von Wearable-Daten zum Tracking der Patienten und deren Demonstration anhand der Darstellung einer Tendenz der

individuellen Aktivitätssteigerung interessierte und keine absoluten Zahlen, sind diese Einschränkungen hier zu vernachlässigen.

An dieser Stelle ist es außerdem nochmals wichtig, zu betonen, dass gerade die BYOD-Strategie, die im zweiten Teil der Arbeit untersucht wurde, für genau solche Fehler nicht anfällig ist und damit einen großen Vorteil bietet. Die Beurteilung fußt auf dem Aktivitätsvergleich vor und nach der Verletzung. Daher ist es nicht essenziell, welche Faktoren Einfluss nehmen, da sie dies bereits in der zurückliegenden Aufzeichnung ihrer Aktivität in vergleichbarem Ausmaß getan haben sollten (Braun et al., 2023). Die angeführten Kritikpunkte spielen erst dann eine Rolle, wenn die Teilnehmer ihr Verhalten und ihre Aufzeichnung im Studienzeitraum ändern und damit prä- und posttraumatisch unterschiedliche Störfaktoren Einfluss nehmen.

Die Gefahr, dass es zu Datenlücken kommt, da die Patienten vergessen, ihre Geräte bei sich zu haben (Ceroni et al., 2012), ist wesentlich geringer, da es sich um patienteneigene Geräte handelt, an welche sie bereits gewöhnt sind (Braun et al., 2023). Dennoch kam es auch bei dem vorliegenden Studienkonzept aus verschiedenen Gründen zu vereinzelt Datenlücken. Zurückzuführen ist dies beispielsweise auf die gewählte Methodik der Datenübertragung, wodurch teilweise Tage nicht übermittelt wurden oder durch eine begrenzte Anzeigedauer in der „Health“-App von Apple nicht mehr zu Verfügung standen. In anderen Fällen wurden die Devices möglicherweise aufgrund der verletzungsbedingten Ausnahmesituation an einzelnen Tagen nicht getragen. Betrachtet man allerdings die gelieferten Ergebnisse, erbrachten die Datenlücken keinerlei Nachteile für die Auswertung unserer Machbarkeitsstudie.

6.6. Diskussion der Ergebnisse

6.6.1. Ergebnisse nach der Verletzung

In dem ersten Abschnitt der Ergebnisse wurden die erhobenen Daten der UCSF und der BG Klinik Tübingen zusammengetragen. Es wurde nur die posttraumatische Zeit ausgewertet, um die Eignung von Wearable-Daten für die Aktivitätsaufzeichnung zu überprüfen und zu beobachten, ob sich eine Steigerung der Aktivität ermitteln lässt. 2 und 6 Wochen, sowie 3 Monate nach stattgehabter Verletzung wurden die durchschnittlichen täglichen Schrittzahlen der Teilnehmer ermittelt und in Boxplots aufgetragen (Braun et al., 2023).

Schon in der Diskussion zuvor wurde thematisiert, dass diese Ergebnisse fehleranfälliger sind als die folgenden. Zusätzlich zu der unterschiedlichen Methodik der UCSF und der BG Klinik in Tübingen wurden unterschiedliche Wearables verwendet und nur der Zeitraum nach der Verletzung erfasst (Braun et al., 2023). Dies bringt mit sich, dass die erlangten Daten, aufgrund des fehlenden Vergleichs zu vortraumatischen Aufzeichnungen mit den gleichen theoretischen Fehlern, für jene Ungenauigkeiten anfällig sind wie sie unter 5.5.3 bereits ausführlich aufgeführt wurden. Diese Ungenauigkeiten nahmen jedoch keinen Einfluss auf die Ergebnisse dieses Studienabschnitts. Um die Eignung von Wearable-Daten zu überprüfen und eine schrittweise Steigerung von individueller Aktivität aufzuzeichnen, die sich nicht an absoluten Zahlen orientiert, hatten diese Einschränkungen keine Relevanz.

Es ließ sich eine klare Tendenz erkennen, die eine deutliche Aktivitätssteigerung der Probanden vor allem in den ersten 6 Wochen zeigt. Der Median in diesem Zeitraum ist bei nur minimal größer werdendem Interquartilsabstand deutlich gestiegen. Dies bedeutet, dass die meisten Patienten ihre Schrittzahl deutlich steigerten, da sie durch den errechneten Median nicht anfällig gegenüber Ausreißern war und die geringe Zunahme des Interquartilsabstandes eine geringe Streuung anzeigt. Im Vergleich dazu bleibt der Median nach 3 Monaten

ungefähr auf einer Höhe mit dem nach 6 Wochen, während der Interquartilsabstand deutlich größer wird. Dies spiegelt den unterschiedlichen Verlauf der Reha der verschiedenen Patienten wider.

Die Streuung der Schrittzahl wird größer, da sich nach 3 Monaten einige Teilnehmer bereits erholt haben und andere nicht. Der nur minimal größer werdende Median zeigt, dass allgemein die Zunahme der Schrittzahl zwischen 6 Wochen und 3 Monaten nach einer Verletzung geringer ist als zu Beginn.

Der Verlauf der 90. Perzentile bestätigt diese Annahme zusätzlich. Ihr deutlicher Anstieg zwischen 2 und 6 Wochen zeigt hier die größte Zunahme der durchschnittlichen täglichen Schrittzahl nach der Verletzung an. Im Zeitraum zwischen 6 Wochen und 3 Monaten war hier nur eine minimale Steigerung zu beobachten. Hierfür kann es verschiedene Gründe geben. Eine Erklärung wäre, dass bei einem Teil der Probanden die Gesundung bereits in den ersten 6 Wochen abgeschlossen ist und daraufhin keine Steigerung mehr stattfindet. Bei einem anderen Teil wären eine Stagnation im Heilungsprozess oder möglicherweise eine Abnahme der Mobilität als Ursache anzunehmen, während andere ihre Schrittzahl weiter steigern. Auch in diesem Fall würde der Median ungefähr gleichbleiben. Dieser unterschiedliche Verlauf würde zusätzlich die zunehmende Streuung erklären. Diese Mutmaßungen lassen sich anhand der Daten nach einer Verletzung nicht bestätigen oder widerlegen.

Jedoch zeigen diese Ergebnisse die Notwendigkeit einer neuen Strategie, die durch den Vergleich dieser Zahlen zu ihrer Aktivität zuvor, den Verlauf der Rehabilitation und die Rückkehr zur Ausgangsaktivität darstellt und so die obigen Spekulationen bekräftigen kann. An genau dieser Stelle setzt BYOD an.

Trotz der Ungewissheit in der Interpretation dieser Ergebnisse und ihrer Anfälligkeit gegenüber Fehlern liefern die ermittelten Daten entscheidende Erkenntnisse. Sie zeigen, dass die durch Wearables ermittelte durchschnittliche tägliche Schrittzahl ein geeigneter Parameter ist, um die Aktivität von Patienten

zu beurteilen und sich Wearables auf diese Weise sehr gut zum Tracking von Patienten eignen. Außerdem wird sichtbar, dass sich anhand dieser Daten klare Tendenzen ableiten lassen und besonders die ersten 6 Wochen nach einer Verletzung entscheidend sind. Dort findet zumindest in Bezug auf unsere Patienten der größte Fortschritt statt. Diese Aspekte sind grundlegend für die Interpretation der Ergebnisse der BYOD-Studie.

6.6.2. Prä- und postoperativer Vergleich (BYOD-Studie)

In diesem Teil der Ergebnisse wurden nur die Daten der Tübinger Patienten verwendet und das Konzept der neuen Messtrategie BYOD fand seine Anwendung. Es wurde geprüft, ob anhand des Vergleiches der Aktivitätsdaten der Probanden vor (normales Aktivitätsniveau) und nach einer Verletzung der Heilungsprozess der Patienten nachverfolgt und beurteilt werden kann.

Es konnten anhand der durchschnittlichen täglichen Schrittzahl, der zurückgelegten Strecke pro Tag sowie der Kardiopunkte drei Gruppen von Probanden identifiziert werden. Während einige Teilnehmer bereits nach einigen Tagen wieder die gewohnte oder sogar eine gesteigerte Aktivität zeigten, kristallisierten sich andere Teilnehmer heraus, bei denen die Zahlen, verglichen mit ihrer prätraumatischen Aktivität, im vorliegenden Studienzeitraum durchgehend auf einem niedrigen prozentualen Niveau war. Hier konnte kein Aktivitätszuwachs beobachtet werden. Die dritte Gruppe bildeten jene, die im Laufe der Studie einen Rehabilitationsprozess durchliefen und zunehmend steigende Werte der Aktivitätsparameter zeigten.

Die Tatsache, dass beide Abbildungen der verschiedenen Parameter ähnlich verlaufen, zeigt, dass sich die Schrittzahlen und die zurückgelegte Strecken wie auch Kardiopunkte in vergleichbarem Maße dazu eignen, die Genesung von Patienten nachzuvollziehen (Braun et al., 2023). Allerdings legen die drei

beschriebenen Gruppen auch einen Kritikpunkt unserer Studie offen. Am ehesten zu erklären sind diese aufgrund der Tatsache, dass keine Spezifizierung auf Verletzungsentitäten stattfand. So absolvierte ein Patient beispielsweise nach erlittener Fraktur an der oberen Extremität möglicherweise bereits einige Tage postoperativ seine gewohnte tägliche Schrittzahl. Auf der anderen Seite schlossen wir Patienten nach komplizierten Beckenfrakturen ein, welche im vorliegenden Zeitraum von 6 Wochen nicht in der Lage waren, das Krankenhaus zu verlassen und dementsprechend nicht zu alter Mobilität zurückkehren oder ihre Aktivität steigern konnten. Dies zeigt, dass es noch weitere Studien benötigt, die sich auf einzelne Verletzungsentitäten beschränken und überprüfen, ob BYOD überhaupt für jede Verletzung geeignet und sinnvoll ist und um gegebenenfalls ein Konzept für diese auszuarbeiten. Ein weiteres Ziel wäre es, in diesem Rahmen in größeren Patientenkollektiven entitätsspezifische Normwerte für Aktivitätsparameter zu ermitteln.

Insgesamt muss aber gesagt werden, dass mit der neuen Messstrategie der Verlauf der Rehabilitation nach einer Verletzung nachvollzogen werden konnte und es möglich war die Rückkehr der genesenen Patienten zu ihrem ursprünglichen Aktivitätsniveau zu beobachten (Braun et al., 2023). Somit wird es durch BYOD möglich sein, auch für bestimmte Verletzungsmuster anhand des Verlaufes der Aktivitätsdaten prognostische Aussagen zu treffen und durch die Beurteilung von Regenerationsmustern im Verlauf auf drohende Komplikationen oder Heilungsstörungen aufmerksam zu werden und das Therapieregime entsprechend anzupassen (Braun et al., 2023).

Nach stattgefundenen Operationen konnte eine patientenspezifischere Beobachtung als bisher demonstriert und die Lücke der diskontinuierlichen Nachverfolgung, wie beispielsweise durch PROMs, geschlossen werden (Marmor et al., 2022, Bienstock et al., 2022).

7. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine Machbarkeitsstudie. Ihr Ziel war es, zu überprüfen, ob sich Wearable-Technologie zur Aktivitätsaufzeichnung und Nachverfolgung von Patientenaktivität allgemein eignet und ob anhand dieser Daten veränderte Aktivität ermittelt werden kann. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde angestrebt, zu prüfen, ob die neue BYOD-Strategie anwendbar und es auf diese Weise möglich ist, den Verlauf der Rehabilitation von Patienten zu beurteilen und ihre Rückkehr zu ihrer durchschnittlichen prätraumatischen Aktivität zu beobachten. Zusätzlich sollte ermittelt werden, welche Wearables durch Patienten bereits verwendet werden.

Zusammen mit der Abteilung Traumatologie der UCSF wurde die Aktivität der in die Studie eingeschlossenen Patienten anhand von durch Wearables ermittelten Daten ausgewertet. Während an der UCSF lediglich die Schrittzahl verwendet und der Zeitraum nach der Verletzung beobachtet wurde, erhoben wir in Tübingen zusätzlichen die täglich zurückgelegte Strecke sowie die Kardiopunkte und verglichen die Aktivität nach der stattgehabten Verletzung mit den Zahlen des Zeitraumes davor (Normalwerte des Aktivitätsniveaus).

In einem ersten Abschnitt der Studie betrachteten wir nur die Schrittzahlen und den posttraumatischen Zeitraum aller inkludierten Patienten - sowohl der UCSF als auch derer aus Tübingen - ohne einen prätraumatischen/-operativen Vergleich vorzunehmen. Die erhobenen Wearable-Daten eigneten sich gut zur Beurteilung der Patientenaktivität und man konnte Tendenzen erkennen, dass besonders in den ersten 6 Wochen nach einer Verletzung mit einer Zunahme der Aktivität zu rechnen ist.

Im zweiten Teil der Arbeit, der nur die Ergebnisse der Tübinger Probanden einschloss, bei denen zusätzlich der bereits erwähnte Vergleich mit der vorherigen durchschnittlichen Aktivität stattfand, zeigten sich drei Erholungstypen der Patienten. Die Patienten, die von Beginn an kaum eine Einschränkung ihres

Aktivitätsausmaßes aufwiesen, sowie die, deren Genesungsprozess anhand der Zunahme des Aktivitätsausmaßes im Beobachtungszeitraum beobachtet werden konnte, und jene, die im Zeitraum der Studie keine Steigerung ihrer Aktivität zeigten (Braun et al., 2023).

Mit dieser Arbeit wurde nicht nur gezeigt, dass es sich um ein hoch relevantes Thema in der Traumatologie handelt (Braun et al., 2022, Ekegren et al., 2018, Marmor et al., 2022), sondern auch, dass diese neue Methodik eine mögliche Lösung für viele bisher bestehende Probleme wie beispielsweise die Genauigkeit (Hartung et al., 2020, Marmor et al., 2022, Zhai et al., 2020), die Einschränkung bei bestimmten Aktivitäten (Ceroni et al., 2011, Liu and Chan, 2016), Objektivität (Grimm and Bolink, 2016) und Kontinuität der Datenerfassung (Feng et al., 2023) bietet. Es wurde gezeigt, dass die BYOD-Strategie anwendbar ist. Das obengenannte Ziel, den Verlauf der Rehabilitation der Patienten aufzuzeichnen und zu beurteilen wurde durch den Vergleich mit der durchschnittlichen Aktivität vor der Verletzung erreicht. Im Fall der Teilnehmer, bei denen dies nicht möglich war, besteht Annahme dazu, dass der Grund weniger in der BYOD-Strategie als in der Methodik liegt, keinerlei Einschränkung bezüglich der Verletzungsentität vorzunehmen (Braun et al., 2023). Somit kristallisierten sich auch Erholungstypen heraus, bei denen dies nicht beobachtet werden konnte.

Bei den Tübinger Probanden wurde auch die Art des genutzten Wearables notiert, wodurch ein Einblick ermöglicht wird, welche Wearables in welcher Häufigkeit beim Nutzer Anwendung finden. Alle Teilnehmer verwendeten eine Smartphone-Technologie, während ca. 30% (n=9) mit einem Handgelenks-Device ein zusätzliches Gerät nutzten (Braun et al., 2023). Dies bestätigte zuvor gezeigte Tendenzen (Jitesh Ubrani, 2019).

Allerdings hat die Studie auch gezeigt, dass das Design einer Machbarkeitsstudie Einschränkungen mit sich bringt. Die Compliance-Abhängigkeit anderer Strategien (Marmor et al., 2022) zeigte sich auch bei dem BYOD-Konzept, was jedoch hauptsächlich auf die Methodik der Datenerhebung zurückzuführen war.

Der Studieneinschluss von Patienten verschiedenster Verletzungsentitäten zeigt Verbesserungsbedarf auf. Die Bedeutung des Alters der Patienten für Wearables wurde bereits in der Literatur erwähnt (Andone et al., 2016) und kann anhand der durch die WEAR-IT Studie gemachten Erfahrungen bestätigt werden (Braun et al., 2023). Mit Hinblick auf die Vielfalt an Daten, die Wearables liefern können (Glasin et al., 2019, Boe et al., 2019), sollte zukünftig ermittelt werden, ob eine genaue Vorhersage des Genesungszeitpunktes und eine noch präzisere Beurteilung der Rehabilitation der Patienten möglich ist. All das zeigt, dass die Durchführbarkeit zwar möglich und der Nutzen von BYOD groß ist, aber durchaus noch weitere Arbeiten notwendig sind.

Ziel zukünftiger Studien sollte es sein, Einschränkungen der vorliegenden Ausarbeitung zu beseitigen (Braun et al., 2023) und ein vollständiges und endgültiges Konzept der BYOD-Strategie zu entwerfen. Mit Hinblick auf das Alter der Nutzer sollte bedacht werden, dass solange es sich bei der zunehmenden Nutzung technischer Geräte im gesundheitlichen Bereich durch älteren Menschen (Onyeaka et al., 2021) nur um eine Tendenz handelt, BYOD eher Anwendung bei einem Kollektiv aus jüngeren Patienten finden sollte (Braun et al., 2023).

8. Literaturverzeichnis

- ANDONE, I., BŁASZKIEWICZ, K., EIBES, M., TRENDAFILOV, B., MONTAG, C. & MARKOWETZ, A. 2016. How age and gender affect smartphone usage. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*. Heidelberg, Germany: Association for Computing Machinery.
- BELTRÁN-CARRILLO, V. J., JIMÉNEZ-LOAISA, A., ALARCÓN-LÓPEZ, M. & ELVIRA, J. L. L. 2019. Validity of the "Samsung Health" application to measure steps: A study with two different samsung smartphones. *J Sports Sci*, 37, 788-794.
- BIENSTOCK, D. M., SHANKAR, D., KIM, J., GAO, M., SRIVASTAVA, K., BRONSON, W. H., CHAUDHARY, S. B., POERAN, J., IATRIDIS, J. C. & HECHT, A. C. 2022. Accelerometry Data Delineate Phases of Recovery and Supplement Patient-Reported Outcome Measures Following Lumbar Laminectomy. *World Neurosurg*, 160, e608-e615.
- BLOCK, V. J., LIZÉE, A., CRABTREE-HARTMAN, E., BEVAN, C. J., GRAVES, J. S., BOVE, R., GREEN, A. J., NOURBAKHS, B., TREMBLAY, M., GOURRAUD, P. A., NG, M. Y., PLETCHER, M. J., OLGIN, J. E., MARCUS, G. M., ALLEN, D. D., CREE, B. A. & GELFAND, J. M. 2017. Continuous daily assessment of multiple sclerosis disability using remote step count monitoring. *J Neurol*, 264, 316-326.
- BOE, A. J., MCGEE KOCH, L. L., O'BRIEN, M. K., SHAWEN, N., ROGERS, J. A., LIEBER, R. L., REID, K. J., ZEE, P. C. & JAYARAMAN, A. 2019. Automating sleep stage classification using wireless, wearable sensors. *npj Digital Medicine*, 2, 131.
- BORT-ROIG, J., GILSON, N. D., PUIG-RIBERA, A., CONTRERAS, R. S. & TROST, S. G. 2014. Measuring and Influencing Physical Activity with Smartphone Technology: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 44, 671-686.
- BRAUN, B. J., GRIMM, B., HANFLIK, A. M., MARMOR, M. T., RICHTER, P. H., SANDS, A. K. & SIVANANTHAN, S. 2020. Finding NEEMO: towards organizing smart digital solutions in orthopaedic trauma surgery. *EFORT Open Rev*, 5, 408-420.
- BRAUN, B. J., GRIMM, B., HANFLIK, A. M., RICHTER, P. H., SIVANANTHAN, S., YARBORO, S. R. & MARMOR, M. T. 2022. Wearable technology in orthopedic trauma surgery – An AO trauma survey and review of current and future applications. *Injury*, 53, 1961-1965.
- BRAUN, B. J., HISTING, T., MENGER, M. M., PLATTE, J., GRIMM, B., HANFLIK, A. M., RICHTER, P. H., SIVANANTHAN, S., YARBORO, S. R., GUEORGUIEV, B., POKHVASHCHEV, D. & MARMOR, M. T. 2023. "Bring Your Own Device"—A New Approach to Wearable Outcome Assessment in Trauma. *Medicina*, 59, 403.
- BRAUN, B. J., VEITH, N. T., ROLLMANN, M., ORTH, M., FRITZ, T., HERATH, S. C., HOLSTEIN, J. H. & POHLEMANN, T. 2017. Weight-bearing recommendations after operative fracture treatment—fact or fiction? *Gait*

- results with and feasibility of a dynamic, continuous pedobarography insole. *International Orthopaedics*, 41, 1507-1512.
- CERONI, D., MARTIN, X., DELHUMEAU, C. & FARPOUR-LAMBERT, N. 2011. Decrease of physical activity level in adolescents with limb fractures: an accelerometry-based activity monitor study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 12, 87.
- CERONI, D., MARTIN, X., LAMAH, L., DELHUMEAU, C., FARPOUR-LAMBERT, N., DE COULON, G. & FERRIÈRE, V. D. 2012. Recovery of physical activity levels in adolescents after lower limb fractures: a longitudinal, accelerometry-based activity monitor study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 13, 131.
- CHANG, Y. T. 2020. Physical Activity and Cognitive Function in Mild Cognitive Impairment. *ASN Neuro*, 12, 1759091419901182.
- CHEN, J. H. & LAUDERDALE, D. S. 2019. Cognitive Function, Consent for Participation, and Compliance With Wearable Device Protocols in Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 74, 269-273.
- CHROMIK, J., KIRSTEN, K., HERDICK, A., KAPPATTANAVAR, A. M. & ARNRICH, B. 2022. SensorHub: Multimodal Sensing in Real-Life Enables Home-Based Studies. *Sensors*, 22, 408.
- CLARK, E. M., NESS, A. R. & TOBIAS, J. H. 2008. Vigorous Physical Activity Increases Fracture Risk in Children Irrespective of Bone Mass: A Prospective Study of the Independent Risk Factors for Fractures in Healthy Children. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23, 1012-1022.
- DÍAZ, S., STEPHENSON, J. B. & LABRADOR, M. A. 2020. Use of Wearable Sensor Technology in Gait, Balance, and Range of Motion Analysis. *Applied Sciences*, 10, 234.
- DUAN, Z. W. & LU, H. 2021. Effect of Mechanical Strain on Cells Involved in Fracture Healing. *Orthop Surg*, 13, 369-375.
- EDWARDS, P. K., EBERT, J. R., MORROW, M. M., GOODWIN, B. M., ACKLAND, T. & WANG, A. 2020. Accelerometry evaluation of shoulder movement and its association with patient-reported and clinical outcomes following reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 29, 2308-2318.
- EKEGREN, C. L., BECK, B., CLIMIE, R. E., OWEN, N., DUNSTAN, D. W. & GABBE, B. J. 2018. Physical Activity and Sedentary Behavior Subsequent to Serious Orthopedic Injury: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 99, 164-177.e6.
- ESPINOSA, H. G., THIEL, D. V., SORELL, M. & ROWLANDS, D. 2020. Can We Trust Inertial and Heart Rate Sensor Data from an APPLE Watch Device? *Proceedings*, 49, 128.
- FEEHAN, L. M., GELDMAN, J., SAYRE, E. C., PARK, C., EZZAT, A. M., YOO, J. Y., HAMILTON, C. B. & LI, L. C. 2018. Accuracy of Fitbit Devices: Systematic Review and Narrative Syntheses of Quantitative Data. *JMIR Mhealth Uhealth*, 6, e10527.
- FENG, Y., LIU, Y., FANG, Y., CHANG, J., DENG, F., LIU, J. & XIONG, Y. 2023. Advances in the application of wearable sensors for gait analysis after total knee arthroplasty: a systematic review. *Arthroplasty*, 5, 49.

- FULLER, D., ANARAKI, J. R., SIMANGO, B., RAYNER, M., DORANI, F., BOZORGI, A., LUAN, H. & A BASSET, F. 2021. Predicting lying, sitting, walking and running using Apple Watch and Fitbit data. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 7, e001004.
- GAUSDEN, E. B., LEVACK, A. E., SIN, D. N., NWACHUKWU, B. U., FABRICANT, P. D., NELLESTEIN, A. M., WELLMAN, D. S. & LORICH, D. G. 2018. Validating the Patient Reported Outcomes Measurement Information System (PROMIS) computerized adaptive tests for upper extremity fracture care. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 27, 1191-1197.
- GLASIN, J., HENRICSON, J., LINDBERG, L.-G. & WILHELMS, D. 2019. Wireless vitals—Proof of concept for wireless patient monitoring in an emergency department setting. *Journal of Biophotonics*, 12, e201800275.
- GOMEZ, D., HAAS, B., DE MESTRAL, C., SHARMA, S., HSIAO, M., ZAGORSKI, B., RUBENFELD, G., RAY, J. & NATHENS, A. B. 2012. Gender-associated differences in access to trauma center care: A population-based analysis. *Surgery*, 152, 179-185.
- GRIMM, B. & BOLINK, S. 2016. Evaluating physical function and activity in the elderly patient using wearable motion sensors. *EFORT Open Reviews*, 1, 112-120.
- HARTUNG, V., SARSHAR, M., KARLE, V., SHAMMAS, L., RASHID, A., ROULLIER, P., EILERS, C., MÄURER, M., FLACHENECKER, P., PFEIFER, K. & TALLNER, A. 2020. Validity of Consumer Activity Monitors and an Algorithm Using Smartphone Data for Measuring Steps during Different Activity Types. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 9314.
- HUHN, S., AXT, M., GUNGA, H. C., MAGGIONI, M. A., MUNGA, S., OBOR, D., SIÉ, A., BOUDO, V., BUNKER, A., SAUERBORN, R., BÄRNIGHAUSEN, T. & BARTEIT, S. 2022. The Impact of Wearable Technologies in Health Research: Scoping Review. *JMIR Mhealth Uhealth*, 10, e34384.
- JITESH UBRANI, R. L. 2019. *IDC Reports Strong Growth in the Worldwide Wearables Market, Led by Holiday Shipments of Smartwatches, Wrist Bands, and Ear-Worn Devices* [Online]. Businesswire.com: idc.com. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20190305005268/en/IDC-Reports-Strong-Growth-in-the-Worldwide-Wearables-Market-Led-by-Holiday-Shipments-of-Smartwatches-Wrist-Bands-and-Ear-Worn-Devices> [Accessed 07.06 2023].
- JITESH UBRANI, R. L. 2023. *Holiday Quarter Woes Contribute to a Full-Year Decline in Shipments of Wearable Devices, According to IDC Tracker* [Online]. idc.com: idc.com. Available: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS50462723> [Accessed 07.06 2023].
- KALABAKOV, S., STANKOSKI, S., KIPRIJANOVSKA, I., ANDOVA, A., REŠČIČ, N., JANKO, V., GJORESKI, M., GAMS, M. & LUŠTREK, M. 2022. What Actually Works for Activity Recognition in Scenarios with Significant Domain Shift: Lessons Learned from the 2019 and 2020 Sussex-Huawei Challenges. *Sensors (Basel)*, 22.

- KELLY, D., CONDELL, J., CURRAN, K. & CAULFIELD, B. 2020. A multimodal smartphone sensor system for behaviour measurement and health status inference. *Information Fusion*, 53, 43-54.
- KEOGH, J. W. L., COX, A., ANDERSON, S., LIEW, B., OLSEN, A., SCHRAM, B. & FURNESS, J. 2019. Reliability and validity of clinically accessible smartphone applications to measure joint range of motion: A systematic review. *PLOS ONE*, 14, e0215806.
- KOCESKA, N., KOMADINA, R., SIMJANOSKA, M., KOTESKA, B., STRAHOVNIK, A., JOŠT, A., MAČEK, R., MADEVSKA-BOGDANOVA, A., TRAJKOVIK, V., TASIČ, J. F. & TRONTELJ, J. 2020. Mobile wireless monitoring system for prehospital emergency care. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 46, 1301-1308.
- LEACH, J. M., MELLONE, S., PALUMBO, P., BANDINELLI, S. & CHIARI, L. 2018. Natural turn measures predict recurrent falls in community-dwelling older adults: a longitudinal cohort study. *Scientific Reports*, 8, 4316.
- LEE, J. S., KHAN, A. D., DORLAC, W. C., DUNN, J., MCINTYRE, R. C., JR., WRIGHT, F. L., PLATNICK, K. B., BROCKMAN, V., VEGA, S. A., COFRAN, J. M., DUERO, C. & SCHROEPPEL, T. J. 2022. The patient's voice matters: The impact of advance directives on elderly trauma patients. *J Trauma Acute Care Surg*, 92, 339-346.
- LIANG, J., XIAN, D., LIU, X., FU, J., ZHANG, X., TANG, B. & LEI, J. 2018. Usability Study of Mainstream Wearable Fitness Devices: Feature Analysis and System Usability Scale Evaluation. *JMIR mHealth and uHealth*, 6, e11066.
- LIU, C. T. & CHAN, C. T. 2016. Exercise Performance Measurement with Smartphone Embedded Sensor for Well-Being Management. *Int J Environ Res Public Health*, 13.
- MANSI, S., MILOSAVLJEVIC, S., BAXTER, G. D., TUMILTY, S. & HENDRICK, P. 2014. A systematic review of studies using pedometers as an intervention for musculoskeletal diseases. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 15, 231.
- MARMOR, M. T., GRIMM, B., HANFLIK, A. M., RICHTER, P. H., SIVANANTHAN, S., YARBORO, S. R. & BRAUN, B. J. 2022. Use of Wearable Technology to Measure Activity in Orthopaedic Trauma Patients: A Systematic Review. *Indian J Orthop*, 56, 1112-1122.
- MENDONÇA, F., MOSTAFA, S. S., MORGADO-DIAS, F., NAVARRO-MESA, J. L., JULIÁ-SERDÁ, G. & RAVELO-GARCÍA, A. G. 2018. A portable wireless device based on oximetry for sleep apnea detection. *Computing*, 100, 1203-1219.
- MILLER, D. J., SARGENT, C. & ROACH, G. D. 2022. A Validation of Six Wearable Devices for Estimating Sleep, Heart Rate and Heart Rate Variability in Healthy Adults. *Sensors*, 22, 6317.
- MOORE, K., O'SHEA, E., KENNY, L., BARTON, J., TEDESCO, S., SICA, M., CROWE, C., ALAMÄKI, A., CONDELL, J., NORDSTRÖM, A. & TIMMONS, S. 2021. Older Adults' Experiences With Using Wearable Devices: Qualitative Systematic Review and Meta-synthesis. *JMIR Mhealth Uhealth*, 9, e23832.

- MOY, M. L., TEYLAN, M., WESTON, N. A., GAGNON, D. R. & GARSHICK, E. 2013. Daily step count predicts acute exacerbations in a US cohort with COPD. *PLoS One*, 8, e60400.
- NISSEN, M., SLIM, S., JÄGER, K., FLAUCHER, M., HUEBNER, H., DANZBERGER, N., FASCHING, P. A., BECKMANN, M. W., GRADL, S. & ESKOFIER, B. M. 2022. Heart Rate Measurement Accuracy of Fitbit Charge 4 and Samsung Galaxy Watch Active2: Device Evaluation Study. *JMIR Form Res*, 6, e33635.
- O'HARA, N. N., RICHARDS, J. T., OVERMANN, A., SLOBOGEAN, G. P. & KLAZINGA, N. S. 2020. Is PROMIS the new standard for patient-reported outcomes measures in orthopaedic trauma research? *Injury*, 51, S43-S50.
- ONYEAKA, H. K., ROMERO, P., HEALY, B. C. & CELANO, C. M. 2021. Age Differences in the Use of Health Information Technology Among Adults in the United States: An Analysis of the Health Information National Trends Survey. *Journal of Aging and Health*, 33, 147-154.
- PICHONNAZ, C., DUC, C., GLEESON, N., ANCEY, C., JACCARD, H., LÉCUREUX, E., FARRON, A., JOLLES, B. M. & AMINIAN, K. 2015. Measurement properties of the smartphone-based B-B Score in current shoulder pathologies. *Sensors (Basel)*, 15, 26801-17.
- RAJA, J. M., ELSAKR, C., ROMAN, S., CAVE, B., POUR-GHAZ, I., NANDA, A., MATURANA, M. & KHOUZAM, R. N. 2019. Apple Watch, Wearables, and Heart Rhythm: where do we stand? *Annals of Translational Medicine*, 7, 417.
- REID, S. & EGAN, B. 2019. The validity and reliability of DrGoniometer, a smartphone application, for measuring forearm supination. *Journal of Hand Therapy*, 32, 110-117.
- REYNOLDS, R. C., SMITH, V. M. & MACNIVEN, R. 2022. Comparison of free-living physical activity data obtained from a Fitbit Zip, the Apple iPhone Health app and a modified Bouchard Activity Record. *Health Promotion Journal of Australia*, 33, 51-56.
- ROTHROCK, N. E., KAAT, A. J., VRAHAS, M. S., O'TOOLE, R. V., BUONO, S. K., MORRISON, S. & GERSHON, R. C. 2019. Validation of PROMIS Physical Function Instruments in Patients With an Orthopaedic Trauma to a Lower Extremity. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 33, 377-383.
- RUDER, M. C., ZAUDEL, R., DIEFENBACH, B. J. & BEY, M. J. 2022. Quantifying shoulder activity after rotator cuff repair: Technique and preliminary results. *Journal of Orthopaedic Research*, 40, 917-924.
- SETHURAMAN, K. N., MARCOLINI, E. G., MCCUNN, M., HANSOTI, B., VACA, F. E. & NAPOLITANO, L. M. 2014. Gender-specific Issues in Traumatic Injury and Resuscitation: Consensus-based Recommendations for Future Research. *Academic Emergency Medicine*, 21, 1386-1394.
- STØVE, M. P., PALSSON, T. S. & HIRATA, R. P. 2018. Smartphone-based accelerometry is a valid tool for measuring dynamic changes in knee extension range of motion. *The Knee*, 25, 66-72.
- VICIANA, J., CASADO-ROBLES, C., GUIJARRO-ROMERO, S. & MAYORGA-VEGA, D. 2022. Are Wrist-Worn Activity Trackers and Mobile Applications Valid for Assessing Physical Activity in High School Students? Wearfit Study. *J Sports Sci Med*, 21, 356-375.

- VOGEL, C., GRIMM, B., MARMOR, M. T., SIVANANTHAN, S., RICHTER, P. H., YARBORO, S., HANFLIK, A. M., HISTING, T. & BRAUN, B. J. 2024. Wearable Sensors in Other Medical Domains with Application Potential for Orthopedic Trauma Surgery-A Narrative Review. *J Clin Med*, 13.
- WITHYCOMBE, J. S., MCFATRICH, M., HINDS, P. S., BENNETT, A., LIN, L., MAURER, S. H., LUCAS, N. R., MANN, C. M., CASTELLINO, S. M., BAKER, J. N. & REEVE, B. B. 2022. Can Steps per Day Reflect Symptoms in Children and Adolescents Undergoing Cancer Treatment? *Cancer Nurs*, 45, 345-353.
- ZHAI, Y., NASSERI, N., PÖTTGEN, J., GEZHELBASH, E., HEESSEN, C. & STELLMANN, J.-P. 2020. Smartphone Accelerometry: A Smart and Reliable Measurement of Real-Life Physical Activity in Multiple Sclerosis and Healthy Individuals. *Frontiers in Neurology*, 11.
- ZHANG, M., SAEED, R., SAEED, S., STANKOVSKI, S. & XIAOSHUAN, Z. 2020. Wearable Technology and Applications: A Systematic Review. 5-16.

9. Anhang

9.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tübinger Dokumentationsblatt des Wearable, der App und der Parameter23

Abbildung 2: Übersicht der Patienten, die in der BG und an der UCSF gescreent, in die Studie aufgenommen und schließlich zur Analyse zur Verfügung standen. Zusätzlich die Anzahl der Patienten die an der BG und der UCSF nicht in die Studie eingeschlossen wurden mit der entsprechenden Begründung (Braun et al., 2023)32

Abbildung 3: Die durchschnittliche tägliche Schrittzahl aller Patienten in den ersten 2 und 6 Wochen sowie 3 Monate nach stattgehabter Verletzung. Während die X-Achse die Zeitpunkte darstellt, sind auf der Y-Achse die durchschnittlichen Schrittzahlen aufgetragen. Die Boxen markieren die 1. und die 3. Quartile mit dem entsprechenden Median, die Whisker zeigen die 10. und die 90. Perzentile. Die Punkte stellen vereinzelte, abweichende Ergebnisse dar (Braun et al., 2023).35

Abbildung 4: Genesung der Patienten anhand der täglichen Schrittzahl vor und nach dem erfolgten Trauma über den Zeitraum von 6 Wochen (Braun et al., 2023).37

Abbildung 5: Genesung der Patienten anhand der täglich zurückgelegten Distanz oder der Kardiopunkte vor und nach dem erfolgten Trauma über den Zeitraum von 6 Wochen (Braun et al., 2023).38

9.2. Erklärung zum Eigenanteil und Veröffentlichung

Die Arbeit wurde in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie unter Betreuung von Prof. (apl.) Dr. med. MBA Benedikt Braun durchgeführt. Ein Teil der Daten wurde an Frakturklinik der University of California, San Francisco erhoben.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Prof. (apl.) Dr. med. MBA Benedikt Braun, Bernd Grimm, Andrew M Hanflik, Peter H. Richter, Boyko Gueorguiev, Sureshan Sivananthan, Seth R. Yarboro, Meir T. Marmor, Tina Histing.

Die Datenerhebung und -erfassung der in Tübingen an der Studie teilgenommenen Patienten sowie deren statistische Auswertung wurden durch mich durchgeführt.

Ich, Julian Platte, versichere, das Manuskript „WEAR-IT Studie - Einsatz persönlicher Wearables zur objektiven, Eigenständigen Aktivitätsbestimmung während der Rehabilitation nach Verletzungen In der Traumatologie“ selbständig und ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden im Journal „Medicina“, 59 (2), 403, am 19. Februar 2023 veröffentlicht. Die Publikation trägt den Titel „ „Bring Your Own Device“- A New Approach to Wearable Outcome Assessment in Trauma“. Die DOI Nummer lautet 10.3390. Folgende Autoren haben an diesem Projekt mitgewirkt: Benedikt J. Braun, Tina Histing, Maximilian M. Menger, Julian Platte, Bernd Grimm, Andrew M Hanflik, Peter H. Richter, Sureshan Sivananthan, Seth R. Yarboro, Boyko Gueorguiev, Dmitry Pokhvashchev, Meir T. Marmor (Braun et al., 2023).

Mein eigener Anteil bei dieser Vorabpublikation belief sich auf die Datenerhebung und Methodik sowie die formale Analyse und Untersuchung der Daten. Zusätzlich war ich an der Überprüfung und Bearbeitung der Fassung beteiligt.

Die Beiträge an der Veröffentlichung waren wie folgt:

Konzeptualisierung: Benedikt J. Braun, Bernd Grimm, Andrew M Hanflik, Peter H. Richter, Boyko Gueorguiev, Sureshan Sivananthan, Seth R. Yarboro, Meir T. Marmor, Tina Histing

Methodik: Benedikt J. Braun, Meir T. Marmor, Maximilian M. Menger, Julian Platte, Dmitry Pokhvashchev

Formale Analyse: Benedikt J. Braun, Meir T. Marmor, Maximilian M. Menger, Julian Platte, Dmitry Pokhvashchev

Untersuchung: Maximilian M. Menger, Julian Platte, Dmitry Pokhvashchev

Schreiben: Benedikt J. Braun, Meir T. Marmor

Tübingen, den 26.03.2025