

Aus dem Deutschen Schwindel- und Gleichgewichtszentrum  
Interdisziplinäres Zentrum der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: Prof. Dr. Dr. h.c. Thomas Brandt, FRCP

# **Implementierung der Akzelerometrie in der neurologischen Frührehabilitation**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Judith Marie Hennigs, geb. Schaffrath  
aus  
München  
2020

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Klaus Jahn

Mitberichterstatter: PD Dr. Dieter Kutz

Mitbetreuung durch die  
promovierte Mitarbeiterin: Dr. med. Katrin Rauen, FEBN

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard HICKEL

Tag der mündlichen Prüfung: 05.02.2020

*Niemand weiß, was er kann, bevor er's versucht.*

Publilius Syrus

aus: Die Sprüche / Publilius Syrus. Ed. Hermann Beckby



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Neurologische Frührehabilitation .....	1
1.1.1	Sozioökonomische Bedeutung und Definition .....	1
1.1.2	Assessments in der neurologischen Frührehabilitation .....	2
1.1.3	Therapie und Mobilisation.....	3
1.2	Akzelerometrie in der Neurologie.....	4
1.3	Fragestellung .....	5
<b>2</b>	<b>Patienten und Methodik .....</b>	<b>6</b>
2.1	Studiendesign .....	6
2.2	Patienten.....	6
2.2.1	Ein- und Ausschlusskriterien .....	6
2.2.2	Patientenbezogene Daten .....	6
2.2.3	Nicht-einwilligungsfähige Patienten .....	7
2.3	Akzelerometrie .....	7
2.3.1	Pilotreihe.....	7
2.3.2	Anpassung der Akzelerometrie an die Anwendung bei immobilen Patienten.....	8
2.3.3	Datenerhebung .....	9
2.4	Statistische Datenanalyse.....	9
2.4.1	Graphische Darstellung der Daten .....	9
2.4.2	Gruppenvergleich .....	10
2.4.3	„Missing data“ .....	11
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>12</b>
3.1	Studieneinschluss .....	12
3.2	Patientenbezogene Daten .....	13
3.2.1	Altersstruktur und Geschlecht.....	13
3.2.2	Hauptdiagnosen.....	13
3.2.3	Nebendiagnosen und Versorgungsparameter .....	14
3.3	Exemplarische Einzelfallanalyse.....	17
3.4	Implementierung der Akzelerometrie in der neurologischen Frührehabilitation .....	19
3.4.1	Charakteristik der Datenaufzeichnung über 24 Stunden .....	19
3.4.2	Anzahl der Lagewechsel über 24 Stunden .....	19
3.4.3	Liegedauer in einer Körperposition über 24 Stunden .....	20
3.4.4	Limitationen des Beinsensors .....	21
3.4.5	Akzelerometrie mit Oberkörpersensor in der neurologischen Frührehabilitation .....	22

<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>25</b>
4.1	Diskussion der Methode .....	25
4.1.1	Patienten.....	25
4.1.2	Anpassung der Akzelerometrie an die Anwendung bei immobilen Patienten.....	26
4.1.3	Graphische Datenanalyse und manuelle Auswertung der Lagewechsel.....	26
4.2	Diskussion der Ergebnisse .....	27
4.2.1	Patienten.....	27
4.2.2	Implementierung der Akzelerometrie in der neurologischen Frührehabilitation...	28
4.2.3	Limitationen der Pilotstudie.....	30
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>38</b>
8.1	Hinweis .....	38
8.2	Aufklärungsbogen .....	39
8.3	Assessmentbogen .....	44
8.4	activPal Set-up.....	48
8.5	Einverständniserklärung für die Veröffentlichung von Fotoaufnahmen .....	49
<b>9</b>	<b>Danksagung</b> .....	<b>50</b>

# 1 Einleitung

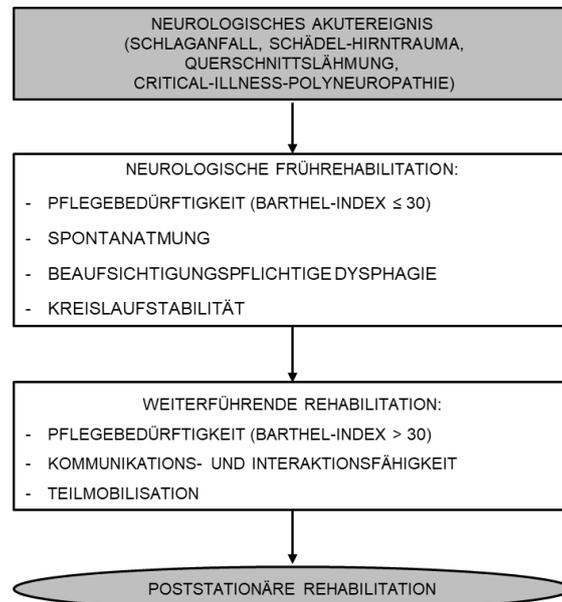
## 1.1 Neurologische Frührehabilitation

### 1.1.1 Sozioökonomische Bedeutung und Definition

In Deutschland werden jährlich etwa 330.000 Menschen überwiegend mit Hirnschädigung nach Schädel-Hirntrauma, aber auch mit Schlaganfällen, entzündlichen Hirnerkrankungen und Hirntumoren in Krankenhäusern behandelt. Die Überlebensrate von Patienten nach schwersten neurologischen Akutereignissen besserte sich durch Optimierung der Rettungsmedizin und intensivmedizinischen Versorgung (Schorl et Liebold, 2012; Stier-Jamer et al., 2002; Kock et Fuhrmann, 1992). Die Anzahl der Patienten, welche einen Schlaganfall überleben, stieg von 1990 bis 2015 um zwei Drittel kontinuierlich an (Feigin et al., 2015). Außerdem wird der Anteil der Generation 65+ an der Gesamtbevölkerung bis 2050 voraussichtlich um 10 % steigen (Statistisches Bundesamt, 2015). Aufgrund der älter werdenden Bevölkerung mit konsekutiver Zunahme neurologischer Diagnosen sowie der höheren Überlebensrate von Patienten mit neurologischen Akutereignissen, wird der Bedarf an neurologischer Frührehabilitation in Deutschland weiter steigen.

Neurologische Frührehabilitation nach schweren neurologischen Schädigungen ist durch Verlust der funktionellen Unabhängigkeit gekennzeichnet und wird üblicherweise mit einem Barthel-Index unter 30 Punkten objektiviert. Die Patienten zeigen schwere motorische, sensorische und kognitive Defizite. Die Hauptdiagnosen in der neurologischen Frührehabilitation sind der ischämische oder hämorrhagische Schlaganfall, das Schädel-Hirntrauma, die Critical-Illness-Polyneuropathie, das Querschnittssyndrom und das Guillain-Barré-Syndrom (Leistner et al., 2005; Schönle et Stemmer, 2000). Die Frührehabilitation ist definiert als die „Rehabilitation noch während der Akutbehandlung nach Behebung der unmittelbaren Lebensbedrohung und Stabilisierung der vegetativen Funktionen mit wiederbelastbaren Herz-Kreislauf-Funktionen“ (Mayer, 1993; BAR, 1999). Es ist bekannt, dass regelmäßige Umlagerung und frühzeitige, passive Mobilisation von Patienten nach schwerer Hirnschädigung, den Gesundheitszustand verbessern, Komplikationen verringern und spätere Pflegebedürftigkeit vermeiden kann (Schönle et Stemmer, 2000; Formisano et al., 2017). Durch die neurologische Frührehabilitation sollen Früh- und Spätkomplikationen verhindert werden, um Langzeitfolgen durch motorische und/oder kognitive Beeinträchtigungen zu minimieren (Formisano et al., 2017; Mayer, 1993).

Der Behandlungsalgorithmus von der Akutversorgung zur weiterführenden und abschließenden poststationären Rehabilitation ist in Deutschland standardisiert (Abbildung 1) (Stucki et al., 2002; Schönle et Stemmer, 2000).



**Abbildung 1: Aufnahmekriterien und Behandlungsalgorithmus vom neurologischen Akutereignis zur poststationären Rehabilitation (Stucki et al., 2002; Schönle et Stemmer, 2000)**

Die stetige Weiterentwicklung des Gesundheitssystems mit Ausweitung der neurologischen Frührehabilitation steigert die Chancen der Patienten auf Selbstständigkeit in den Aktivitäten des täglichen Lebens, eine berufliche Wiedereingliederung und finanzielle Unabhängigkeit (Leistner et al., 2005; Stier-Jamer et al., 2002). Langfristig reduzieren sich hierdurch die medizinischen und gesellschaftlichen Folgekosten, die durch die einhergehende Erwerbsminderung und Pflege der Patienten verursacht werden. Bisher fehlen jedoch zuverlässige Methoden, um den Verlauf motorischer Funktionen nach der neurologischen Frührehabilitation quantitativ und qualitativ nachzuweisen.

### 1.1.2 Assessments in der neurologischen Frührehabilitation

In der neurologischen Frührehabilitation werden die interdisziplinären Rehabilitationsziele wöchentlich individuell definiert und entsprechende Pflege-, Behandlungs- und Mobilisationspläne erstellt. Durchschnittlich erhält ein Patient 25 Therapieeinheiten (je 45 Minuten) pro Woche (Rollnik et al., 2018). Der Grad der Pflegebedürftigkeit in den

Aktivitäten des täglichen Lebens wird in der neurologischen Frührehabilitation mit dem Barthel-Index (BI) (Mahoney et Barthel, 1965, siehe Anhang Assessmentbogen 8.3) dokumentiert. Der Grad der Behinderung wird mit der modifizierten Rankin Skala (mRS) (Rankin, 1957, siehe Anhang Assessmentbogen 8.3) erfasst, welche ursprünglich bei Patienten nach Schlaganfall etabliert wurde und in der Frührehabilitation in der Regel sowohl als Assessment bei Aufnahme, als auch bei Entlassung aus der Rehabilitation verwendet wird. Ein BI unter 30 Punkten und erforderlicher stationärer Handlungsbedarf sind typische Kriterien der neurologischen Frührehabilitation. Dies entspricht einem immobilen Patienten mit einer mRS von 4 bzw. 5, der auf pflegerische Unterstützung in allen Aktivitäten des täglichen Lebens angewiesen ist.

### 1.1.3 Therapie und Mobilisation

Die Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation (BAR) beschreibt eine Verweildauer in der neurologischen Frührehabilitation von bis zu 6 Monaten, wobei die Rehabilitation beendet wird, wenn „über mindestens 8 Wochen kein funktioneller Zugewinn feststellbar ist“ (BAR, 1999; Nelles, 2004). Die durchschnittliche Verweildauer wird vor allem von der Diagnose der Patienten bestimmt: Patienten nach Schädel-Hirntrauma, mit Polyneuropathie oder Guillain-Barré-Syndrom werden durchschnittlich eine Woche länger (49,5 Tage) neurologisch rehabilitiert als Patienten mit Querschnittssyndrom oder nach ischämischem oder hämorrhagischem Schlaganfall (42,5 Tage) (Rollnik et Janosch, 2010). In Krankenhäusern und Rehabilitationseinrichtungen wird die Häufigkeit der Lagewechsel und der passiven Mobilisierungen neurologischer Frührehabilitationspatienten vom Pflegepersonal in den Patientenakten dokumentiert. Die Lagewechsel und Mobilisierungen nach Entlassung in eine Pflegeeinrichtung oder nach Hause werden in der Regel nicht überprüft. Ungefähr ein Drittel der Patienten der Neurorehabilitation werden aufgrund von Sekundärkomplikationen wie Infektionen, Verschlechterung der neurologischen Schädigung oder diversen anderen Gründen rehospitalisiert (Dossa et al., 2011; Fisher et al., 2013). Bisher ist nicht bekannt, ob häufige Lagewechsel und passive Mobilisierungen der Patienten nach Entlassung zu einer Verringerung der Rehospitalisierungsrate führen. Es ist aber bekannt, dass frühzeitige Mobilisation neurologischer Frührehabilitationspatienten Sekundärkomplikationen wie Kontrakturen, Dekubitus, Atemwegsinfektionen und Thrombosen vorbeugt und die Chancen auf eine mögliche Regeneration der neurologischen Schädigung erhöht (Mattlage et al., 2015; Nelles, 2004). Die Nutzung der Akzelerometrie zur Erfassung von Mobilitätscharakteristika immobiler neurologischer Frührehabilitationspatienten, wie sie bereits bei mobilen Patienten angewendet werden kann, könnte ein geeignetes, automatisiertes und

digitales Messinstrument darstellen, um Mobilitätscharakteristika immobiler Patienten systematisch, valide und ressourcensparend zu erfassen. Auf Basis dieser Daten könnte schließlich eine Überwachung bzw. Anpassung der Mobilisierung, zum Beispiel auch nach der Entlassung der Patienten, mit dem Ziel einer besseren Rehabilitation erfolgen.

## **1.2 Akzelerometrie in der Neurologie**

Physische Aktivität und frühe Mobilisation haben eine nachgewiesene positive Wirkung auf den Genesungsprozess in der neurologischen Rehabilitation (Pedersen et Saltin, 2006). Momentan wird die Mobilität neurologischer Frührehabilitationspatienten nicht ausreichend quantifiziert, um einen nachhaltigen Benefit der neurologischen Frührehabilitation auf den Genesungsprozess der Patienten nachweisen zu können. Die Akzelerometrie könnte ein valides und effizientes Messinstrument für Mobilitätscharakteristika neurologischer Frührehabilitationspatienten darstellen. Die Akzelerometrie hat sich als nicht-invasives Verfahren international etabliert und erfasst in Echtzeit die dreidimensionale Beschleunigung des Körpers (Thiel et al., 2016; Uswatte et al., 2005; Müller et al., 2010). Akzelerometer sind kleine, leichte und tragbare Beschleunigungssensoren, die bisher unter Verwendung eines standardisierten Algorithmus Liegen, Sitzen, Stehen und Gehen bei mobilen Menschen detektieren. Sie analysieren auch spezifische Gangarten älterer Menschen und können durch Vorhersage einer posturalen Instabilität als Sturzprophylaxe im klinischen, rehabilitativen und pflegerischen Bereich eingesetzt werden (Culhane et al., 2005). In einem systematischen Review wurden acht Studien zur Akzelerometrie von Oberkörperbewegungen nach einem Schlaganfall eingeschlossen und analysiert (Noorkoiv et al., 2014). Diese bestätigten die Akzelerometrie als geeignetes Messverfahren, um Bewegungen der paretischen und der gesunden Extremität zu detektieren und zu vergleichen. Drei der acht Studien untersuchten zusätzlich die Rentabilität einer Rehabilitation, indem sie die Daten der akzelerometrischen Ableitung an der Hüfte mit den klinischen Testergebnissen korrelierten. Die klinischen Testergebnisse zeigen motorische und funktionelle Verbesserungen während die Beschleunigungsdaten sich nicht geändert hatten. Es bedarf weiterer Studien, um den Effekt der Rehabilitation auf den Genesungsprozess eines Patienten zu quantifizieren (Thrane et al., 2011; Van der Pas et al., 2011; Rand et Eng, 2012).

### **1.3 Fragestellung**

In der neurologischen Frührehabilitation ist die frühzeitige Mobilisierung immobiler, schwerstverletzter, neurologisch geschädigter Patienten für den Genesungsprozess und für das Langzeitergebnis entscheidend. Sowohl bei der stationären als auch bei der ambulanten Behandlung sind optimale Mobilisierungsfrequenzen nicht ausreichend bekannt. Daher ist es Ziel der vorliegenden Pilotstudie, zu untersuchen, ob Akzelerometer ein valides Messinstrument sind, um Veränderungen der Körperhaltung immobiler Patienten zu erfassen und dieses Verfahren in der poststationären Rehabilitation zu implementieren. Folgende Fragestellungen werden untersucht:

1. Sind Akzelerometer geeignet, um Mobilitätscharakteristika neurologischer Frührehabilitationspatienten aufzuzeichnen?
2. Können Lagewechsel immobiler Patienten durch Akzelerometrie mit kombinierter Ableitung vom Oberkörper und Bein detektiert werden?

## **2 Patienten und Methodik**

### **2.1 Studiendesign**

In dieser explorativen Beobachtungsstudie wurden Mobilitätscharakteristika bei 30 immobilen Patienten der neurologischen Frührehabilitation der Schön Klinik Bad Aibling mit einem Barthel-Index  $\leq 30$  untersucht. Die Patientenposition und Lagewechsel wurden akzelerometrisch über 24 Stunden aufgezeichnet. Für die Studie liegt ein Ethikvotum der Ludwig-Maximilians-Universität München (Projektnummer 485-15) vor. Die Patientenaufklärung bzw. die Aufklärung der jeweiligen gesetzlichen Betreuer (siehe Anhang Aufklärungsbogen 8.2) erfolgte 24 Stunden vor Durchführung der Studie.

### **2.2 Patienten**

#### **2.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien**

Folgende Ein- und Ausschlusskriterien wurden für die Studienteilnahme definiert:

Einschlusskriterien:

- Patienten der neurologischen Frührehabilitation
- Barthel-Index  $\leq 30$
- Alter  $\geq 18$  Jahre
- schriftliches Einverständnis durch den Patienten bzw. bei nicht einwilligungsfähigen Patienten durch den gesetzlichen Betreuer / Bevollmächtigten

Ausschlusskriterien:

- Pflasterallergie
- lokale dermatologische Erkrankung wie z. B. Psoriasis
- Sprachbarriere
- stationäre Aufnahme vor weniger als 7 Tagen
- geplante Entlassung innerhalb der nächsten 5 Tage
- fehlendes Einverständnis

#### **2.2.2 Patientenbezogene Daten**

Zur Erfassung der patientenbezogenen Daten sowie zur Detektion möglicher Komplikationen, während einer längeren Datenerfassung über 7 bzw. 14 Tage, wurde ein Assessmentbogen (siehe Anhang Assessmentbogen 8.3) erstellt und implementiert. Folgende personenbezogene Daten wurden erfasst: Alter, Geschlecht, prästationäre

Versorgungssituation, Hauptdiagnose mit Ereignisdatum und Ätiologie, Nebendiagnosen sowie Allergien. Zur Beurteilung der Immobilität und Pflegebedürftigkeit wurden der Barthel-Index (Mahoney et Barthel, 1965, siehe Anhang Assessmentbogen 8.3) und die modifizierte Rankin-Skala (Rankin, 1957, siehe Anhang Assessmentbogen 8.3) dokumentiert. Weitere Basischarakteristika wie der gesetzliche Betreuungsstatus, ein Unfallereignis als Auslöser der neurologischen Schädigung und mobilitätseinschränkende Komorbiditäten wie demenzielles Syndrom, kardiale, metabolische, renale und psychiatrische Diagnosen wurden protokolliert. Das neurologische Syndrom inkl. klinischer Parameter im Zusammenhang mit der Hauptdiagnose wie Aphasie, Tracheostoma, Dysphagie, Sondenernährung (PEG-Sonde, nasogastrale Sonde), Tetra- oder Hemiparese, Harn- und Stuhlinkontinenz und die Notwendigkeit von Fixierungsmaßnahmen wurden erfasst. Außerdem wurden Komplikationen der neurologischen Frührehabilitation wie Atemwegsinfektion, Lungenembolie, Dekubitus, Harnwegsinfektion und Thrombose dokumentiert. Der tagesaktuelle individuelle Therapieplan mit Physio-, Ergo-, Sprach- und Schlucktherapie sowie der Lagerungsplan wurde für jeden Patienten erfasst.

### 2.2.3 Nicht-einwilligungsfähige Patienten

Bei nicht-einwilligungsfähigen Patienten wurde die Einverständniserklärung durch den gesetzlichen Vertreter bzw. des Bevollmächtigten schriftlich eingeholt.

## 2.3 Akzelerometrie

Zur automatischen Erfassung der Mobilitätscharakteristika immobiler neurologischer Frührehabilitationspatienten wurden pro Patient zwei triaxiale Akzelerometer (activPal 3™) verwendet. Die Standardanwendung dieser Akzelerometer ist die Erfassung körperlicher Aktivitäten mobiler Menschen wie Liegen, Sitzen, Stehen und Gehen durch Bestimmung der Körperorientierung in der Transversalebene (x - Achse), Longitudinalebene (y - Achse und Sagittalebene (z - Achse). Zur Detektion von Mobilitätscharakteristika immobiler Patienten (Rückenlage, Linksseitenlage, Rechtsseitenlage, Oberkörperhochlage) wurde die bereits etablierte Befestigungsposition des Sensors am Bein verwendet und zusätzlich die Position des Sensors am Rumpf implementiert. Die ActivPal-Sensoren haben eine digitale Auflösung von 8 Bit, eine Speicherkapazität von 16 MB und erfassen lineare Beschleunigungen bei 20 Hz mit einer Empfindlichkeit von  $\pm 2$  g (activPal 3™).

### 2.3.1 Pilotreihe

Vor Beginn der Messung an der Patientenkohorte fand eine Pilotreihe an drei gesunden

Probanden zur Überprüfung der Funktionalität der Akzelerometer statt. Die Probanden nahmen für jeweils 2,5 Minuten folgende Positionen ein: Rückenlage, Linksseitenlage, Rechtsseitenlage, Oberkörperhochlage, Stand und Gehen. Alle Akzelerometer funktionierten ohne Einschränkung und wurden im Folgenden zur Erfassung der Lagewechsel eingesetzt.

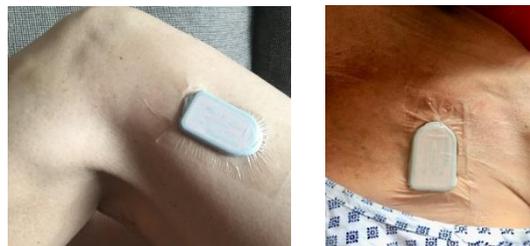
### 2.3.2 Anpassung der Akzelerometrie an die Anwendung bei immobilen Patienten

#### 2.3.2.1 Standardposition am lateralen Oberschenkel

Zur Detektion von Mobilitätscharakteristika neurologischer Frührehabilitationspatienten wurde ein Akzelerometer 5 cm proximal des lateralen Kniegelenkspaltes (Abbildung 2) gemäß Herstelleranleitung (Anhang activPal™ 3 SetUp 8.4) befestigt. Dafür wurde jedes Akzelerometer in einem Fingerling mit Pflaster („Tegaderm“, Firma 3M, Deutschland) am Körper aufgeklebt. Die aktuelle Lageposition des Patienten vor Aufzeichnung definierte, ob das rechte oder linke Bein zur Befestigung des Sensors verwendet wurde. Das Bein, welches ohne Umlagerung des Patienten erreichbar war, wurde ausgewählt. Nach Beendigung der Datenaufzeichnung über 24 Stunden wurde der Sensor vom Körper der Patienten entfernt.

#### 2.3.2.2 Implementierung der Akzelerometrie mit Position am Rumpf

Das zweite Akzelerometer wurde am Rumpf in der Medioclavicularlinie (Abbildung 2) des Patienten gemäß Herstelleranleitung befestigt. Die aktuelle Lageposition des Patienten vor Aufzeichnung definierte die Auswahl der Körperseite zur Befestigung des Sensors. Die Rumpfseite, welche ohne Umlagerung des Patienten erreichbar war, wurde ausgewählt. Nach Beendigung der Datenaufzeichnung über 24 Stunden wurde der Sensor vom Körper der Patienten entfernt.



**Abbildung 2: Befestigungspositionen der Akzelerometer**

*Links:* Befestigungsposition des Sensors 5 cm proximal des lateralen Kniegelenkspaltes. *Rechts:* Befestigungsposition des Sensors in der Medioclavicularlinie am Rumpf.

### 2.3.3 Datenerhebung

Gemäß der Herstelleranleitung (activPal™ 3 SetUp Anhang 8.4) wurden die Sensoren mit der zugehörigen Software programmiert und für jeweils 10 Sekunden in der x-, y- und z-Achsenrichtung kalibriert. Nach Beendigung der 24 - stündigen Datenaufzeichnung wurden die Rohdaten der Akzelerometer über die zugehörigen USB-Docking Station und Software des Herstellers (activPal 3™, PAL-Technologies, Schottland) ausgelesen.

## 2.4 Statistische Datenanalyse

### 2.4.1 Graphische Darstellung der Daten

Die Rohdaten wurden gemäß der bereits etablierten Methodik der Arbeitsgruppe am deutschen Schwindel- und Gleichgewichtszentrum der Ludwig-Maximilians-Universität München ausgelesen. Die dreiachsigen Spannungssignale wurden in gravitative Einheiten umgewandelt, indem das Signal mit 0,015625 g multipliziert wurde. Außerdem wurden die Spannungssignale zentriert, um einen Mittelwert von Null zu erhalten. Das vorliegende Beschleunigungssignal (RA) wurde durch eine 3-Punkt-Mittelwertbildung in jeder Achse geglättet. Die Gravitationskomponente (GA, „Gravitational Acceleration“) des Signals wurde mittels eines Tiefpass-IIR-Filters dritter Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 0,25 Hz extrahiert. Anschließend wurden die Gravitationskomponenten (GA) von dem Beschleunigungssignal (RA, „Raw Acceleration“) subtrahiert, um die durch Bewegung verursachte Beschleunigung (BA, „Body Acceleration“) zu berechnen (BA = RA – GA). Um körperliche Aktivität von Ruhe zu unterscheiden wird der Signalgrößenvektor bzw. „Signal Magnitude Area (SMA)“, der mit zunehmender Bewegung größer wird, mit der Software MATLAB R2012b (The MathWorks, Inc. Natick, Massachusetts, USA) wie folgt berechnet:

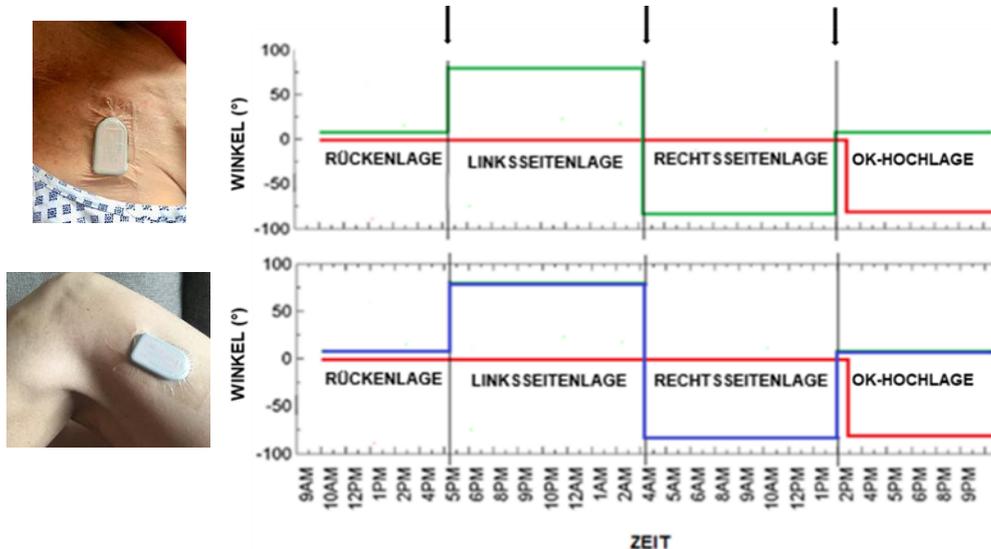
$$SMA = \frac{1}{t} (|x(t)|dt + \int_0^t |y(t)|dt + \int_0^t |z(t)|dt) \text{ (Karantonis et al., 2006)}$$

Die Achsenwerte x(t), y(t) und z(t) erfassen die Beschleunigung des menschlichen Körpers entsprechend der Körperebenen: die x - Achse entspricht der Transversalebene (Abbildung 3, grüner Graph), die y - Achse beschreibt die Longitudinalebene (Abbildung 3, roter Graph) und die z - Achse entspricht der Sagittalebene (Abbildung 3, blauer Graph) (Karantonis et al., 2006).

Bei der Auswertung des Oberkörpersensors sind der grüne Graph (x - Achse) und der rote Graph (y - Achse) für die Unterscheidung der Mobilitätscharakteristika immobiler Patienten (Rückenlage, Linksseitenlage, Rechtsseitenlage und Oberkörperhochlage) entscheidend

(Rauen et. al., 2018). Liegt der Patient auf dem Rücken nähern sich grüner und roter Graph  $0^\circ$  an. Wird der Patient nach links gedreht, nähert sich der grüne Graph  $+90^\circ$ , wird er nach rechts gedreht nähert der grüne Graph sich  $-90^\circ$ . Bei beiden Bewegungen bleibt der rote Graph annähernd  $0^\circ$ . Befindet sich der Oberkörper des Patienten in Hochlage, nähert sich der rote Graph  $-90^\circ$ , während der grüne Graph bei  $0^\circ$  bleibt (Abbildung 3).

Bei der Auswertung des Beinsensors sind hingegen der blaue (z - Achse) und der rote (y - Achse) Graph entscheidend. Liegt der Patient auf dem Rücken, nähern sich der blaue und rote Graph  $0^\circ$ . Wird der Patient nach links gedreht, nähert sich der blaue Graph  $+90^\circ$ , wird er nach rechts gedreht, nähert sich der blaue Graph  $-90^\circ$ . Bei beiden Bewegungen bleibt der rote Graph annähernd  $0^\circ$ . Befindet sich der Oberkörper des Patienten in Hochlage, nähert sich der rote Graph  $-90^\circ$ , während der blaue Graph bei  $0^\circ$  bleibt (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Schematische Darstellung der zu erwartenden Winkelwerte in den einzelnen Körperpositionen** Oberkörper- (*oben*) und Beinsensor (*unten*) sowie schematische Darstellung der Winkelgrade zur Detektion der Lagewechsel und verschiedenen Liegepositionen. Winkelgrade zwischen  $-90^\circ$  und  $+90^\circ$  werden zur Bestimmung der Lage verwendet.

**schwarzer Pfeil:** Lagewechsel, **grün:** Transversalachse, **rot:** Longitudinalachse, **blau:** Sagittalachse

#### 2.4.2 Gruppenvergleich

Die statistische Analyse wurde mit der GraphPad-Software Prism 7.03 (GraphPad Software Inc., La Jolla, CA / USA) durchgeführt. Die Daten wurden mit dem D'Agostino-Pearson Test ("Omnibus K2") auf Normalverteilung getestet. Die Varianz für parameterfreie Daten (Datenaufzeichnung mit Oberkörpersensor, Beinsensor, manuell) wurde

mit dem Kruskal-Wallis-Test berechnet. Parametrische Daten (Anzahl der Lagewechsel) wurden mit der univariaten Varianzanalyse ANOVA erklärt. Eine Signifikanz wurde bei  $p < 0,05$  angenommen.

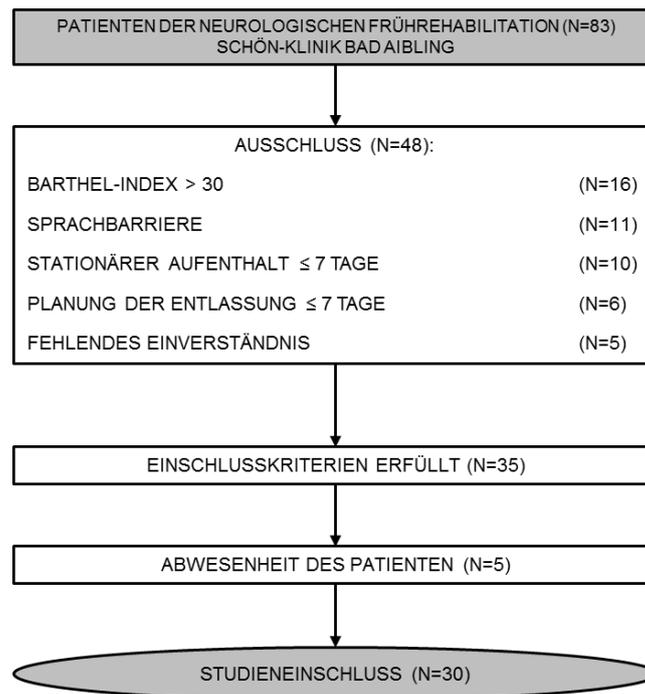
#### 2.4.3 „Missing data“

Bei unvollständiger Datenmatrix wurde gemäß dem gängigen Imputationsverfahren die letzte erfasste Lageposition bis zum nächsten gültigen Datenpunkt verwendet (Schnell, 1985; Anderson et al., 1986).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Studieneinschluss

30 Patienten der neurologischen Frührehabilitation der Schön Klinik Bad Aibling wurden am Stichtag 28.12.2015 in die Studie eingeschlossen (Abbildung 4).



**Abbildung 4: Rekrutierung der 30 Studienteilnehmer**

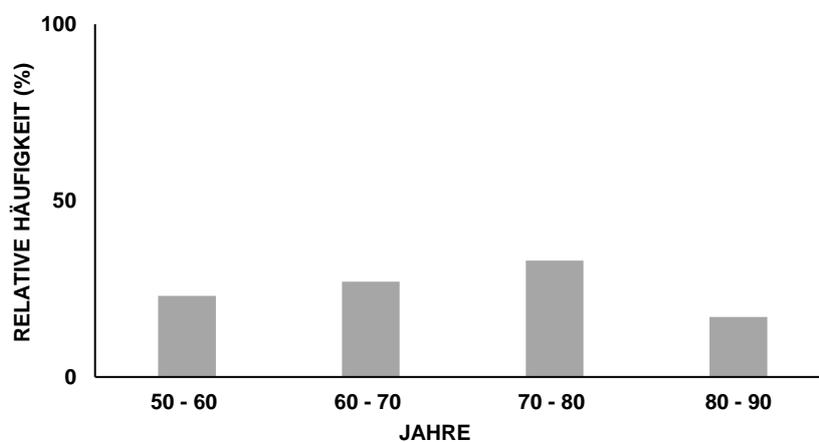
48 von 83 neurologischen Frührehabilitationspatienten wurden hauptsächlich aufgrund eines Barthel-Index  $\geq 30$ , mangelnder Deutschkenntnisse und einem stationären Aufenthalt von weniger als einer Woche von der Studienteilnahme ausgeschlossen. 5 der 35 Patienten, welche die Einschlusskriterien erfüllten, waren am Stichtag aufgrund therapeutischer Maßnahmen nicht verfügbar.

48 der 83 neurologischen Frührehabilitationspatienten erfüllten die definierten Kriterien zur Studienteilnahme nicht. Die Hauptgründe zum Studienausschluss waren Sprachbarrieren, ein Barthel-Index über 30 Punkten und ein stationärer Aufenthalt von weniger als einer Woche. 6 Patienten, deren Entlassung zeitnah bevorstand, wurden ebenfalls ausgeschlossen. 5 Patienten verweigerten eine Studienteilnahme. Am Stichtag waren 5 der 35 Patienten, welche die Einschlusskriterien erfüllten, aufgrund therapeutischer Maßnahmen außerhalb des Patientenzimmers nicht mehr verfügbar.

## 3.2 Patientenbezogene Daten

### 3.2.1 Altersstruktur und Geschlecht

Es wurden 21 männliche und 9 weibliche Studienteilnehmer rekrutiert. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung war  $68,5 \pm 9,8$  Jahre (MW  $\pm$  SD). Mehr als die Hälfte der Studienteilnehmer (60 %) waren zwischen 60 und 80 Jahren alt, circa ein Viertel (23 %) war 50 bis 60 Jahre alt und etwas weniger als ein Fünftel (17 %) der Teilnehmer war zwischen 80 bis 90 Jahre alt. Die Häufigkeitsverteilung in 10 - Jahresintervallen ist in Abbildung 5 dargestellt.

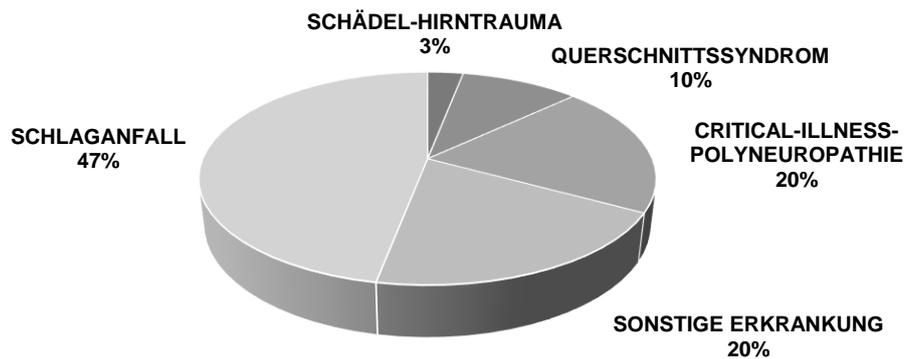


**Abbildung 5: Altersstruktur der Studienkohorte**

Die Mehrheit der Studienteilnehmer war zwischen 60 und 80 Jahren alt; etwas mehr als ein Viertel der Teilnehmer war zwischen 50 und 60 Jahren alt und etwas weniger als ein Fünftel der Teilnehmer war 80 bis 90 Jahren alt.

### 3.2.2 Hauptdiagnosen

47 % der Patienten erhielten eine neurologische Frührehabilitation wegen eines Schlaganfalls. 20 % litten an einer Critical-Illness-Polyneuropathie, 10 % an einem Querschnittssyndrom und 3 % wurden wegen eines Schädel-Hirntraumas neurologisch frührehabilitiert. 20 % der Patienten wurden wegen sonstiger Diagnosen neurologisch frührehabilitiert. Darunter waren: Guillian-Barré-Syndrom, hypoxische Enzephalopathie nach kardiopulmonaler Reanimation, und demenzielles Syndrom. Bei 33 % der Studienteilnehmer war ein Unfallereignis Auslöser der neurologischen Schädigung. Die Häufigkeitsverteilung der Hauptdiagnosen der Studienteilnehmer zeigt Abbildung 6.

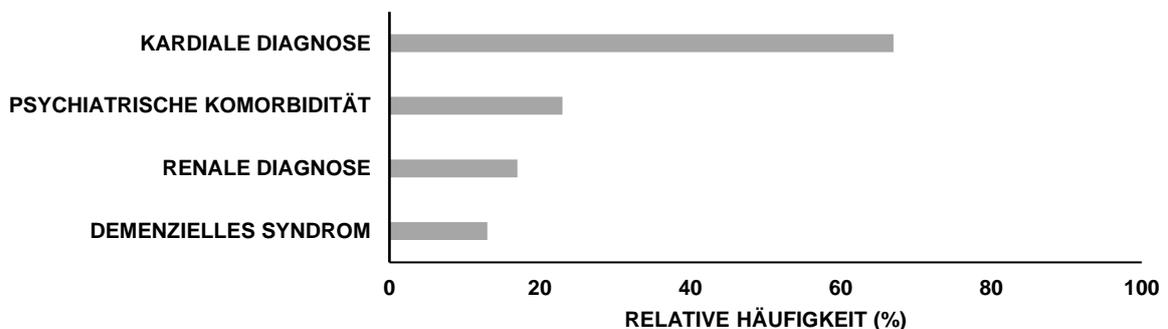


**Abbildung 6: neurologische Hauptdiagnosen der Studienteilnehmer**

Knapp die Hälfte der Studienteilnehmer wurde aufgrund eines Schlaganfalls neurologisch rehabilitiert; jeweils 20 % erkrankten an einer Critical-Illness-Polyneuropathie oder einer sonstigen neurologischen Erkrankung und die restlichen Patienten litten an einem Querschnittssyndrom oder einem Schädel-Hirntrauma

### 3.2.3 Nebendiagnosen und Versorgungsparameter

20 Patienten (67 %) litten neben der neurologischen Schädigung an einer kardialen Diagnose und 5 Patienten (17 %) an einer psychiatrischen Komorbidität. Bei 5 Patienten (17 %) wurde präklinisch eine renale Diagnose und bei 4 Patienten (13 %) das demenzielle Syndrom festgestellt. Die Häufigkeitsverteilung der Nebendiagnosen der Studienteilnehmer zeigt Abbildung 7.

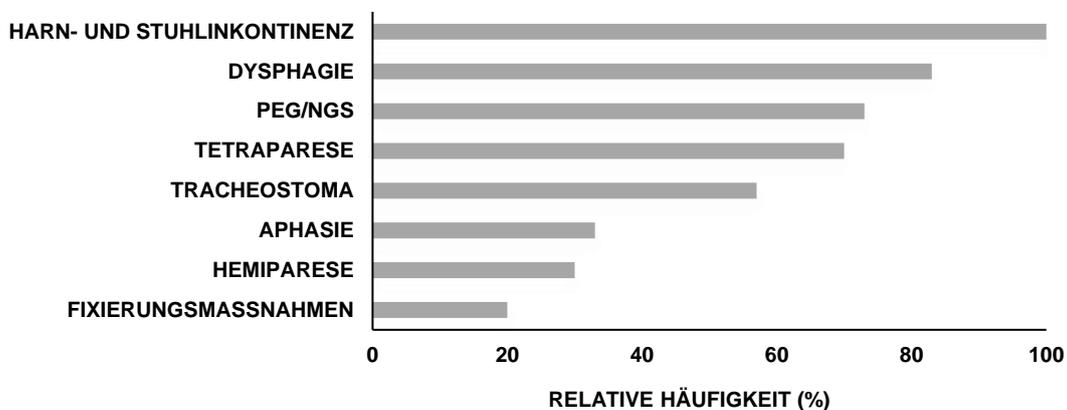


**Abbildung 7: Nebendiagnosen der Studienteilnehmer**

Zwei Drittel der Patienten wurde zusätzlich zur neurologischen Schädigung eine kardiale Erkrankung diagnostiziert, jeweils ein Drittel litten an einer psychiatrischen Komorbidität und einer renalen Diagnose.

Alle 30 Patienten (100 %) waren harn- und stuhlinkontinent. 25 Patienten (87 %) wurden wegen Dysphagie behandelt. 10 Patienten (33 %) hatten ein Tracheostoma. 22 Patienten (73 %) wurden über eine PEG oder eine nasogastrale Sonde ernährt. 20 Patienten (67 %) hatten ein tetraparetisches und 9 Patienten (30 %) ein hemiparetisches Syndrom. 10 Patienten

(33 %) litten an Aphasie. 6 Patienten (20 %) waren zum Zeitpunkt der Untersuchung fixierungspflichtig. Die Häufigkeitsverteilung der Versorgungsparameter ist in Abbildung 8 dargestellt.

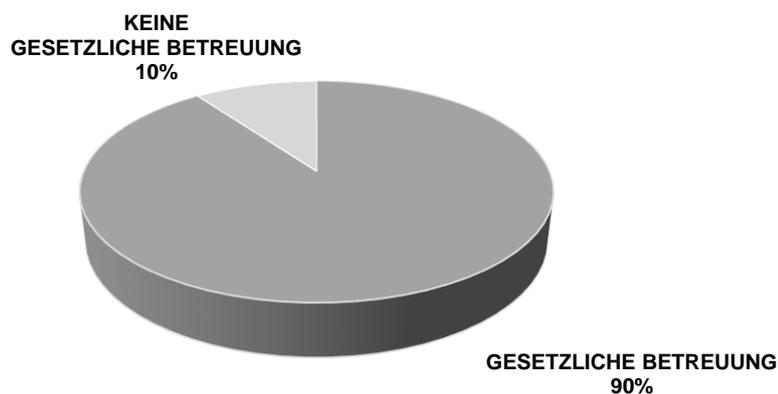


**Abbildung 8: Versorgungsparameter der Studienteilnehmer**

Alle Patienten waren harn- und stuhlinkontinent und fast alle litten an Dysphagie. Zwei Drittel der Patienten wurden mittels PEG oder NGS ernährt und zwei Drittel litten an einer Tetraparese. Mehr als die Hälfte der Studienteilnehmer hatten ein Tracheostoma. Jeweils ein Drittel der Teilnehmer litten an Aphasie oder einer Hemiparese. Fixierungspflichtig war ein Fünftel der Patienten.

### 3.2.3.1 Gesetzliche Betreuung

90 % (n = 27) der Studienteilnehmer waren zum Zeitpunkt der Untersuchung gesetzlich betreut (Abbildung 9).

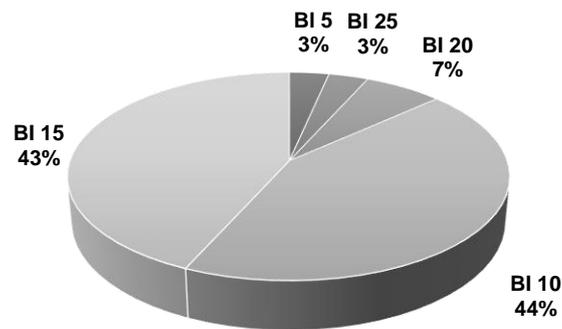


**Abbildung 9: gesetzlicher Betreuungsstatus der Studienteilnehmer**

Fast alle Patienten wurden gesetzlich betreut, konnten aber durch das Einverständnis der Bevollmächtigten und auf Basis des Ethikvotums in die Studie eingeschlossen werden.

### 3.2.3.2 Barthel-Index

Der überwiegende Anteil der Studienteilnehmer hatte einen Barthel-Index von 15 Punkten (43 %) oder 10 Punkten (44 %). Jeweils 1 Patient (3 %) hatte einen BI von 5 bzw. 25 Punkten und 2 Patienten (7 %) einen BI von 20 Punkten. Die Häufigkeitsverteilung des BI der Studienteilnehmer ist detailliert in Abbildung 10 dargestellt.

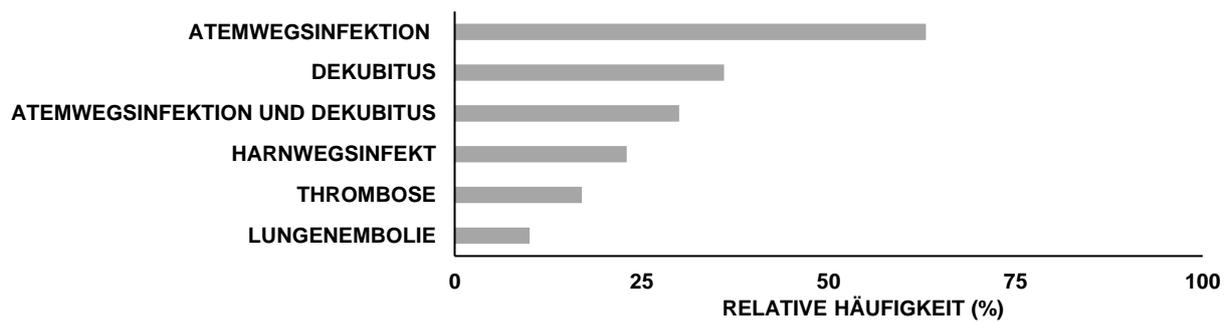


**Abbildung 10: Verteilung des Barthel-Index als definiertes Kriterium der neurologischen Frührehabilitation der Studienteilnehmer**

Fast alle Studienteilnehmer (87 %) hatten einen Barthel-Index von 15 oder 10 Punkten. Die Punktwerte von 5, 25 und 20 verteilen sich auf die restlichen 13 % der Patienten.

### 3.2.3.3 Zur neurologischen Frührehabilitation assoziierte Nebendiagnosen

19 Patienten (63 %) erkrankten während ihres stationären Aufenthaltes in der neurologischen Frührehabilitation an einer Atemwegsinfektion und 11 Patienten (36 %) hatten während ihres Aufenthaltes Dekubiti. 8 Patienten (30 %) litten sowohl an einer Atemwegsinfektion, als auch an Dekubiti. 7 Patienten (23 %) erlitten einen Harnwegsinfekt, 5 Patienten (17 %) bekamen eine Thrombose und 3 Patienten (10 %) eine Lungenembolie. Die Häufigkeitsverteilung der Komplikationen zeigt Abbildung 11.

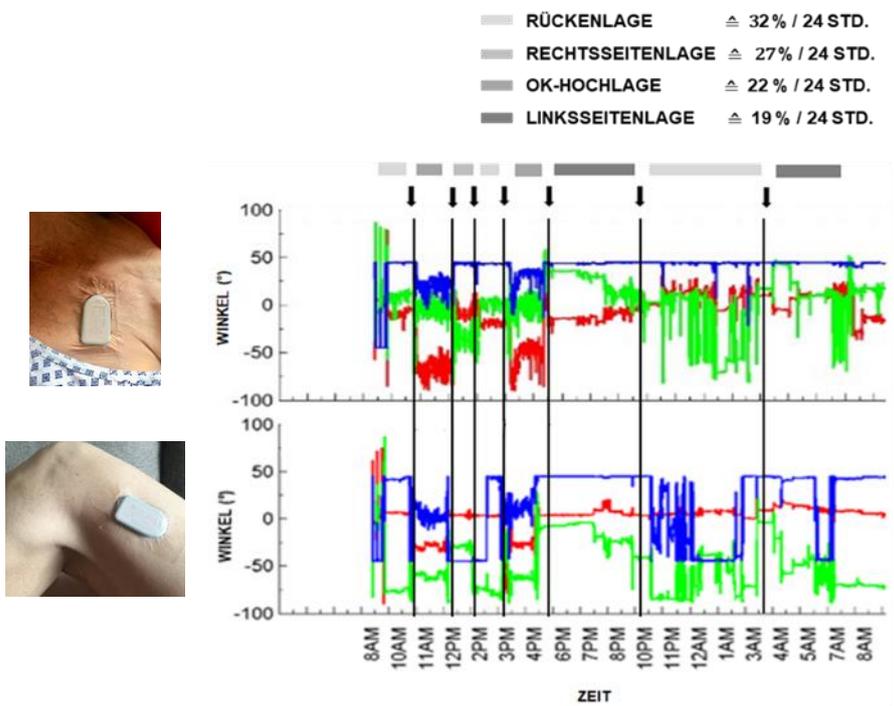


**Abbildung 11: Zur neurologischen Frührehabilitation assoziierte Nebendiagnosen**

Während ihres Aufenthaltes in der neurologischen Frührehabilitation erkrankten knapp zwei Drittel der Patienten an einer Atemwegsinfektion und knapp ein Drittel wies Dekubiti auf; ein weiteres Drittel litt an beiden Komplikationen. Knapp ein Viertel erkrankte an einer Harnwegsinfektion.

### 3.3 Exemplarische Einzelfallanalyse

Ein 51-jährige Patient wurde am 27.11.2015 mit Schlaganfall der rechten Arteria cerebri anterior und media in der Schön Klinik Bad Aibling stationär aufgenommen. Am Tag des Studienbeginns (28.12.2015) wurde er seit 2 Wochen neurologisch frührehabilitiert und wies einen Barthel-Index von 15 Punkten auf. Symptomatisch zeigte er eine Hemiparese links, Dysphagie und ein rechtshemisphärisches Syndrom. Abbildung 12 zeigt die akzelerometrische und graphische Darstellung der 7 Lagewechsel über 24 Stunden. Laut Akzelerometrie lag der Patient ein Drittel der 24 Stunden (32 %), überwiegend nachts für 7,5 Stunden, auf dem Rücken. 6,3 Stunden (27 %) befand sich der Patient in Rechtsseitenlage und 4,3 Stunden (19 %) in Linksseitenlage. 5,2 Stunden (22 %) befand sich der Oberkörper des Patienten in Hochlage.



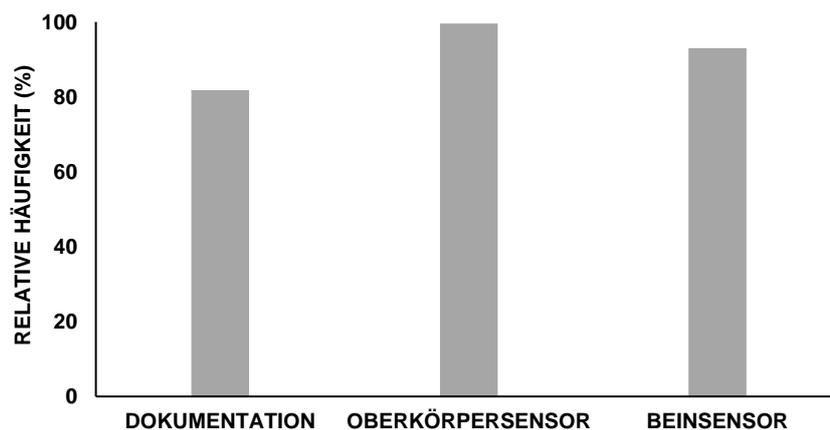
**Abbildung 12: Mobilitätscharakteristika immobiler Patienten, Patientenbeispiel**

Oberkörper- (*oben*) und Beinsensor (*unten*) sowie graphische Darstellung der Winkelgrade zur Detektion der Lagewechsel und verschiedenen Liegepositionen. Winkelgrade zwischen  $-90^{\circ}$  und  $+90^{\circ}$  werden zur Bestimmung der Lage verwendet. Die Häufigkeitsverteilung der Lagepositionen in 24 Stunden sind in Prozent angegeben. **schwarzer Pfeil:** Lagewechsel, **grün:** Transversalachse, **rot:** Longitudinalachse, **blau:** Sagittalachse

### 3.4 Implementierung der Akzelerometrie in der neurologischen Frührehabilitation

#### 3.4.1 Charakteristik der Datenaufzeichnung über 24 Stunden

Der verwendbare Anteil der über 24 Stunden aufgezeichneten Daten zu Körperpositionen und Lagewechseln der Oberkörpersensoren ist signifikant höher (99,5 %) als der verwendbare Anteil der aufgezeichneten Daten der Beinsensoren (92,0 %) und der manuellen Dokumentation (81,8 %) ( $p < 0,0001$ ) (Abbildung 13) (Daten ebenfalls verwendet in: Rauen et. al., 2018). Die Differenz der Verwendbarkeit der Daten der Dokumentation zu 100 % ergibt sich, da nicht kontinuierlich Pflegekräfte im Patientenzimmer anwesend sind, wenn sich beispielsweise partiell mobile Patienten selbständig umlagern oder Patienten während einer Therapieeinheit passiv mobilisiert werden. Um alle Lagewechsel zu berücksichtigen, werden die akzelerometrischen Daten der Oberkörpersensoren bei der weiteren Auswertung als Referenzwerte angesehen.



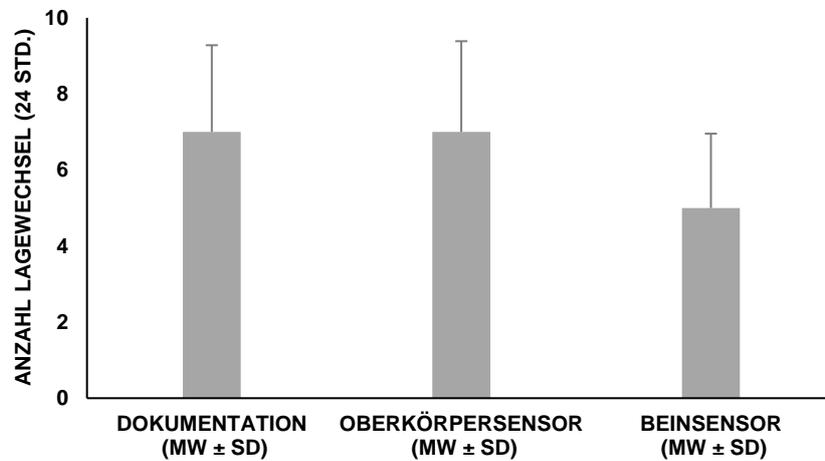
**Abbildung 13: Datenaufzeichnung über 24 Stunden, Akzelerometrie – manuelle Dokumentation**

Der Oberkörpersensor zeichnete zu 99,6 % verwendbare Daten auf und detektierte somit zuverlässig die 4 Körperpositionen: Rückenlage, Linksseitenlage, Rechtsseitenlage und Oberkörperhochlage. Die Beinsensoren zeichneten zu 93,0 % und die manuelle Dokumentation zu 81,8 % verwendbare Daten auf. Die manuelle Dokumentation erfasste wegen der nicht kontinuierlichen Anwesenheit der Pflegekräfte über 24 Stunden bei allen Patienten nur 81,8 % verwendbare Daten.

#### 3.4.2 Anzahl der Lagewechsel über 24 Stunden

Die Oberkörpersensoren und die manuelle Dokumentation detektierten jeweils  $7 (\pm 2)$  Lagewechsel über einen Zeitraum von 24 Stunden. Die Beinsensoren detektierten nur  $5 (\pm 2)$

Lagewechsel und waren damit signifikant schlechter geeignet als die Oberkörpersensoren und die manuelle Dokumentation ( $p = 0,0004$ ) (Abbildung 14).

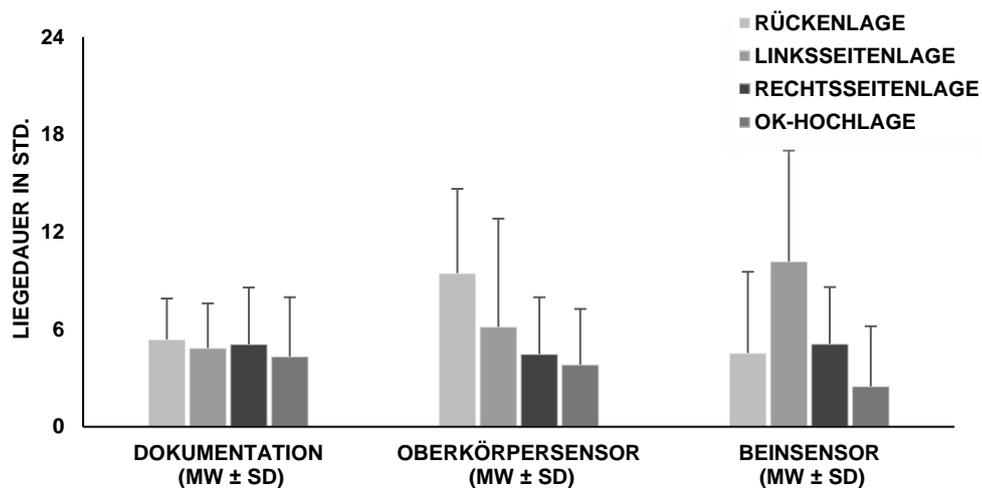


**Abbildung 14: Mittelwert und Standardabweichung der Anzahl der Lagewechsel über 24 Stunden**

Die Oberkörpersensoren und die manuelle Dokumentation erfassten beide  $7 \pm 2$  Lagewechsel in 24 Stunden. Die Beinsensoren nur  $5 \pm 2$  Lagewechsel in 24 Stunden.

### 3.4.3 Liegedauer in einer Körperposition über 24 Stunden

Bei der Liegedauer der Patienten mit Oberkörperhochlage stimmen die Akzelerometrie mittels Oberkörpersensoren (3,82 Std.) und die manuelle Dokumentation (4,33 Std.) am besten überein. Die Akzelerometrie mittels Beinsensoren (5,10 Std.) und die manuelle Dokumentation (5,08 Std.) stimmen bei der Detektion der Rechtsseitenlage am besten überein. Die Beinsensoren dokumentierten mit 10 von 24 Stunden auffällig oft die Linksseitenlage. Abbildung 18 zeigt die Liegedauer pro Körperposition über 24 Stunden im Vergleich Akzelerometrie zu manueller Dokumentation (Abbildung 18).

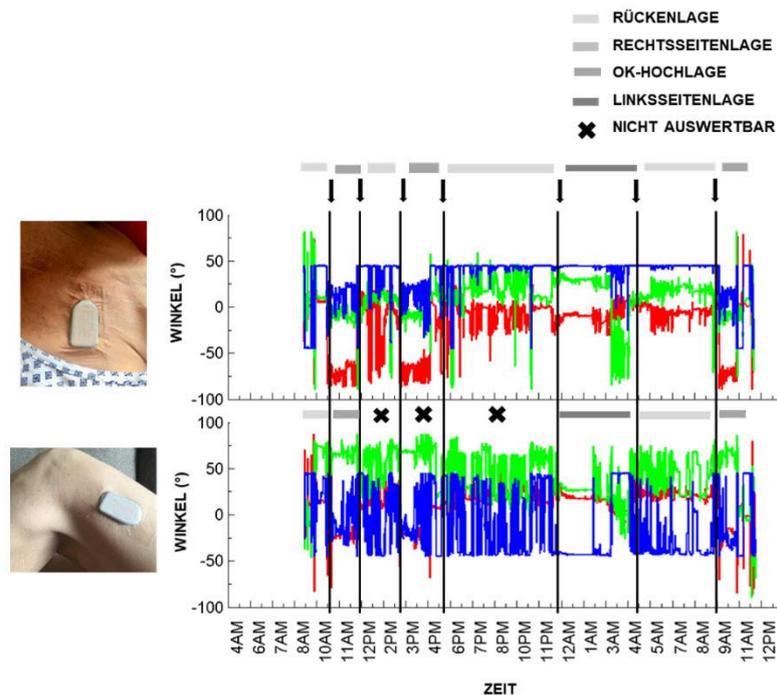


**Abbildung 18: Liegedauer in einer Körperposition über 24 Stunden, Akzelerometrie - manuelle Dokumentation**

Ein Vergleich der Akzelerometrie mit der Dokumentation ergibt die beste Übereinstimmung bei den Oberkörpersensoren mit der Dokumentation für die Oberkörper-Hochlage. Die Beinsensoren und die Dokumentation stimmen bei der Detektion der Rechtsseitenlage am besten überein

#### 3.4.4 Limitationen des Beinsensors

Die quantitative akzelerometrische Analyse der Sensoren zeigte bei den Beinsensoren mehr Störartefakte bei Lagewechseln als bei den Oberkörpersensoren. Dadurch waren die Graphen der Beinsensoren teilweise nicht auswertbar (Abbildung 19).



**Abbildung 19: Mobilitätscharakteristika immobilisierter Patienten am Beispiel Patient 7**

Oberkörper- (*oben*) und Beinsensor (*unten*) sowie graphische Darstellung der Winkelgrade zur Detektion der Lagewechsel und verschiedenen Liegepositionen. Winkelgrade zwischen  $-90^{\circ}$  und  $+90^{\circ}$  werden zur Bestimmung der Lage verwendet.

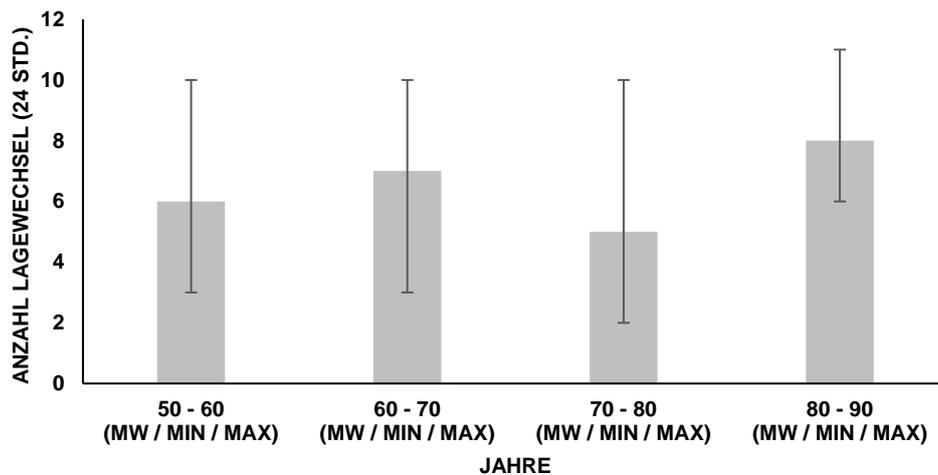
**schwarzer Pfeil:** Lagewechsel **blau:** Sagittalachse, **rot:** Longitudinalachse, **grün:** Transversalachse

### 3.4.5 Akzelerometrie mit Oberkörpersensor in der neurologischen Frührehabilitation

Wegen der genannten Störartefakte in den Daten der Beinsensoren wird der Fokus im Folgenden auf die Auswertung der Daten der Oberkörpersensoren gelegt.

#### 3.4.5.1 Lagewechsel nach Altersstruktur über 24 Stunden

Die älteste Patientengruppe (80 – 90 Jahre) wurde durchschnittlich 8-mal und somit am häufigsten über einen Zeitraum von 24 Stunden umgelagert. Die Patientengruppe zwischen 70 und 80 Jahren wurde 5-mal, die Patientengruppe zwischen 60 und 70 Jahren wurde 7-mal und die Patientengruppe zwischen 50 und 60 Jahren 6-mal umgelagert (Abbildung 16). Aus den Minimal- und Maximalwerten für die einzelnen Patientengruppe sind große Unterschiede für die verschiedenen Patienten bei der Anzahl von Umlagerungen pro Patient ersichtlich.

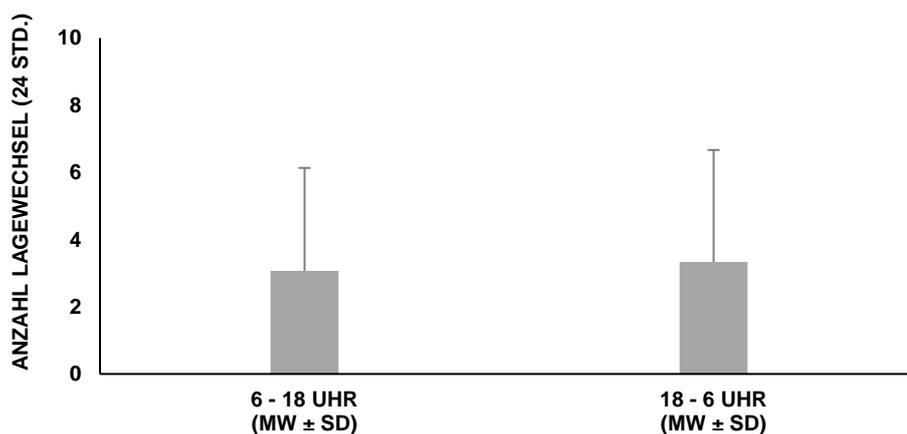


**Abbildung 16: Mittelwert und Range der Anzahl der Lagewechsel über 24 Stunden nach Altersstruktur, Oberkörpersensor**

Am häufigsten wurde die älteste Patientengruppe (80 - 90 Jahre) und am seltensten die zweitälteste Patientengruppe (70 - 80 Jahre) umgelagert.

### 3.4.5.2 Lagewechsel im Tag-Nacht-Rhythmus über 24 Stunden

Die Anzahl der Lagewechsel waren über 24 Stunden regelmäßig verteilt. Die Patienten wurden jeweils 3 - mal tagsüber ( $3 \pm 2$ ) und 3 - mal nächtlich ( $3 \pm 2$ ) umgelagert (Abbildung 15).

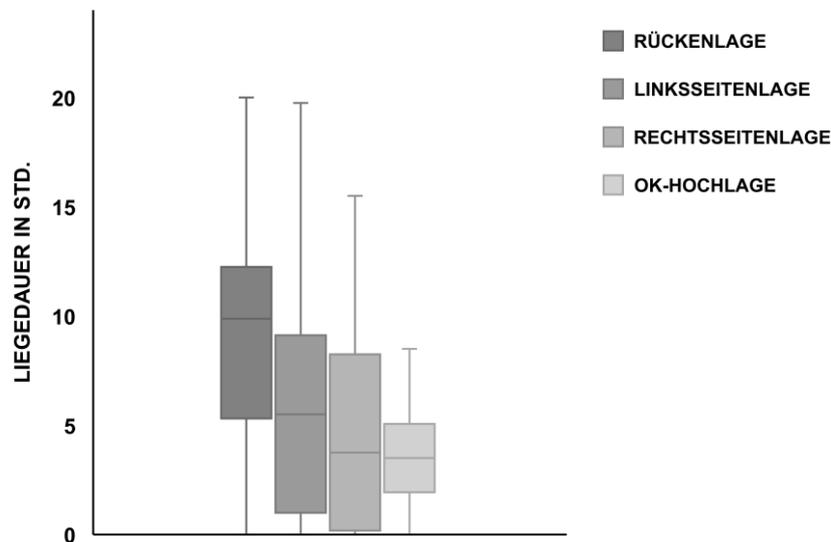


**Abbildung 15: Mittelwert und Standardabweichung der Anzahl der Lagewechsel über 24 Stunden im Tag-Nacht-Rhythmus, Oberkörpersensor**

Ein Vergleich der aufgezeichneten Lagewechsel der Oberkörpersensoren ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen Tag und Nacht.

### 3.4.5.3 Liegedauer pro Körperposition über 24 Stunden

Eine Auswertung der Oberkörpersensoren hinsichtlich der durchschnittlichen Liegedauer der Patienten in einer Körperposition ergab Werte von 0 bis 19,75 Stunden. Im Durchschnitt verbrachten die Patienten 41,7 % (10 Stunden) des Tages in Rückenlage; in Linksseitenlage 25,0 % (6 Stunden), in Rechtsseitenlage und mit Oberkörperhochlage jeweils 16,7 % (4 Stunden) (Abbildung 17). Ein ausgeglichenes Verhältnis der Lagepositionen mit 10 Lagewechseln zeigte sich bei einem Patienten. 90 % der Patienten verbrachten ohne Unterbrechung mehr als 4 Stunden in derselben Körperposition. Ein Patient lag nie auf der rechten Seite und drei Patienten wurden aufgrund ihres schlechten Gesundheitszustandes zum Messzeitpunkt nicht in Oberkörperhochlage mobilisiert.



**Abbildung 17: Medianwerte und Streuung der Liegedauer pro Körperposition über 24 Stunden, Oberkörpersensor**

10 Stunden (41,7 %) der aufgezeichneten 24 Stunden verbrachten die Patienten in Rückenlage, gefolgt von der Linksseitenlage mit 7 Stunden (25,0 %). Die geringste Zeit verbrachten sie in Rechtsseitenlage und in Oberkörper-Hochlage mit jeweils 4 Stunden (16,7 %).

### 3.4.5.4 „Missing data“

Lediglich 0,5 % ( $n = 7,2$ ) der Gesamtstunden ( $n = 1440$ ) wurden von den Oberkörpersensoren nicht akzelerometrisch aufgezeichnet. Gründe hierfür waren die frühzeitige Entlassung einer Patientin und das unruhebedingte Dislozieren des Sensors vom Bein eines Patienten.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Diskussion der Methode**

#### **4.1.1 Patienten**

In die vorliegende explorative Pilotstudie zur Implementierung der Akzelerometrie als Messinstrument zur Erfassung von Mobilitätscharakteristika immobiler, neurologischer Frührehabilitationspatienten wurden 30 von 83 Patienten der Schön Klinik Bad Aibling gemäß den definierten Ein- und Ausschlusskriterien aufgenommen. Hauptgrund für einen Studienausschluss war ein Barthel-Index über 30 Punkten, da diese Patienten nicht unter das Kriterium für eine neurologische Frührehabilitation fallen. Ebenfalls wurden Patienten mit mangelhaften Deutschkenntnissen ausgeschlossen, um Kommunikationsfehler, die zu falschen Daten führen können, zu vermeiden. Daneben wurden Patienten mit einer Hospitalisierungszeit von weniger als einer Woche von der Studienteilnahme ausgeschlossen, weil nicht sichergestellt werden konnte, dass der Rehabilitationsprozess angefangen und vergleichbar war. Patienten, deren Entlassung bevorstand, wurden ebenfalls ausgeschlossen, da dies zu Messunterbrechungen hätte führen können. Beim Definieren der Ein- und Ausschlusskriterien wurde darauf geachtet, diese nicht auf Patientenkohorten mit bestimmten neurologischen Diagnosen oder Symptomen zu beschränken. Vielmehr wurde überprüft, ob die Akzelerometrie auf alle immobilen, neurologischen Frührehabilitationspatienten anwendbar ist. Eine Analyse der Datenbank „Pubmed“ mit den meshterms: „early rehabilitation“ und „accelerometry“ lieferte primär Studien mit Patienten nach einem Schlaganfall (Mattlage et al., 2015, Thrane et al., 2011, Van der Pas et al., 2011). In weiteren Studien könnte daher die Patientenkohorte nach der neurologischen Hauptdiagnose Schlaganfall ausgewählt werden, um einen Vergleich mit existierenden Studien zu ermöglichen. Außerdem kann so eine bessere Bewertung eines positiven Effektes der Nutzung von Akzelerometern bei bestimmten neurologischen Hauptdiagnosen erfolgen.

Um in Folgestudien langfristig Aussagen bezüglich der Rehospitalisierung immobiler, neurologischer Frührehabilitationspatienten nach Entlassung in eine weiterführende Rehabilitation oder in das häusliche Umfeld bzw. in eine Pflegeeinrichtung treffen zu können, wurden grundlegende patientenbezogene Daten wie zum Beispiel die neurologische Hauptdiagnose mit Ereignisdatum und Ätiologie, Nebendiagnosen und Versorgungsparameter, neurologische Assessments und der gesetzlicher Betreuungsstatus erfasst. Für die Vorhersage einer Rehospitalisierung innerhalb von 30 Tagen ist die Mobilität innerhalb der ersten Woche nach Entlassung aus dem Krankenhaus möglicherweise ein

geeigneter Biomarker (Fisher et al, 2013). Wie die physische Aktivität nach Entlassung zum Genesungsprozess der Patienten beiträgt und eine Rehospitalisierung verhindert, wurde noch nicht ausreichend untersucht (Loprinzi et al.,2018; Dossa et al.,2011; Fisher et al., 2013). Die akzelerometrische Erfassung von Mobilitätscharakteristika immobiler Patienten kann beim Nachweis helfen, ob die neurologische Frührehabilitation einen nachhaltigen Benefit für die Patienten hinsichtlich Funktionalität und verminderter Komplikations- und Rehospitalisierungsrate aufweist.

#### 4.1.2 Anpassung der Akzelerometrie an die Anwendung bei immobilen Patienten

Seit den 1950er Jahren werden Akzelerometer zur quantitativen, qualitativen und evaluativen Erfassung von Aktivität und Mobilität mobiler, gehfähiger Menschen verwendet und überwiegend an den Extremitäten und der Hüfte getragen, um die Mobilität in der Vertikalen zu erfassen (Culhane et al., 2005; Foerster et Fahrenberg, 2000; Mathie et al., 2004). Eine Studie untersuchte bereits Armbewegungen von Schlaganfallpatienten 30 Tage nach Entlassung und bestätigte die Akzelerometrie als geeignetes Messinstrument für Aktivität an paretischen Körperteilen (Thrane et al., 2011). Entscheidend für die Auswahl der Befestigungsposition ist das Körperteil, dessen Bewegung untersucht werden soll (Foerster et Fahrenberg, 2000). Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde für die vorliegende, explorative Pilotstudie ein Akzelerometer am Oberkörper der neurologischen Frührehabilitationspatienten befestigt, da bei Lagewechsel und Mobilisation durch das Klinikpersonal überwiegend der Oberkörper der Patienten bewegt wird. Zusätzlich wurde die bei mobilen Menschen bereits etablierte Befestigungsposition lateral des Kniegelenkspaltes gewählt, um einen Vergleich beider Sensorpositionen durchführen zu können. Die verwendeten Akzelerometer sind handlich (35 mm x 53 mm x 7 mm) und leicht (15 g), wodurch sie weder den Klinikalltag der Patienten, noch den des Klinikpersonals beeinträchtigen.

#### 4.1.3 Graphische Datenanalyse und manuelle Auswertung der Lagewechsel

Die Akzelerometriedaten wurden durch einen etablierten Algorithmus (Karatonis et al., 2006; activPal 3™, PAL-Technologies, Schottland) ausgewertet. Die Lagewechsel und Körperpositionen der immobilen Patienten (Rückenlage, Linksseitenlage, Rechtsseitenlage, Oberkörperhochlage) müssen bisher manuell entsprechend der dualen graphischen Darstellung der Oberkörper- und Beinsensordaten analysiert und interpretiert werden. Jeder Lagewechsel muss auf den Graphen markiert und die entsprechenden Zeitfenster für die Lagepositionen tabellarisch dokumentiert werden. Bei der Umlagerung von immobilen

Patienten werden Kissen zur Stabilisierung und Druckentlastung verwendet. Daher liegt ein Patient nie im 90° Winkel auf einer Seite, sondern in einem Winkel zwischen 30-45°. Dies stellte eine zusätzliche Herausforderung bei der Datenauswertung dar. Um die Akzelerometrie als Messinstrument grundsätzlicher Mobilitätscharakteristika immobiler Menschen zu etablieren, ist daher eine automatisierte, digitale Auswertung der Daten zwingend erforderlich. Um die nötige Datenbasis für eine zuverlässige automatisierte Auswertung der Daten zu schaffen, sollten weitere Studien mit einer längeren Aufzeichnungsdauer und einer größeren Patientenkohorte durchgeführt werden. Die automatisierte Auswertung der Daten stellt außerdem eine zwingende Grundvoraussetzung dar, die Akzelerometrie in größerem Umfang bzw. auch postklinisch einzusetzen.

## **4.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **4.2.1 Patienten**

Zwei Drittel der Studienkohorte mit 30 Patienten der neurologischen Frührehabilitation waren männlich. Das durchschnittliche Alter betrug 68,5 Jahre. Die Analyse der Datenbank Pubmed mit den „mesh terms“: „gender“, „age“ und „early rehabilitation“ lieferte keine Ergebnisse zur statistischen Geschlechts- und Altersstruktur in der neurologischen Frührehabilitation, sodass zunächst davon ausgegangen werden kann, dass die Patientenkohorte dieser Studie keine relevanten Gruppen für eine derartige Untersuchung ausschließt. 90 % der Patienten waren nicht einwilligungsfähig. Diese Patientengruppe konnte in das Pilotprojekt aufgenommen werden, da die Ethikkommission keine Bedenken für diese reine Beobachtungsstudie ohne relevante Risiken hatte.

Knapp die Hälfte der Studienteilnehmer litt an einem ischämischen oder hämorrhagischen Schlaganfall. Der Schlaganfall ist die dominierende Hauptdiagnose in Frührehabilitationseinrichtungen in Deutschland und in der Schön Klinik Bad Aibling werden jährlich durchschnittlich 56 % Schlaganfallpatienten neurologisch rehabilitiert (Stier-Jamer, 2002; Schön Klinik Bad Aibling, 2016). Der Zusammenhang von Inaktivität und Therapieerfolg bei Schlaganfallpatienten wurde bereits durch Einsatz der Akzelerometrie untersucht (Mattlage et al., 2015). Es wurde festgestellt, dass sich die Schlaganfallpatienten durchschnittlich nur 1,5 Stunden am Tag passiv oder aktiv bewegten und dadurch ein höheres Risiko hatten, an Sekundärkomplikationen zu erkranken. Die Aktivität und Mobilität dieser Patienten muss daher gesteigert werden, um eine langfristige Verbesserung der krankheitsbedingten Einschränkungen zu erreichen und eine Rehospitalisierung zu vermeiden (Mattlage et al., 2015). Daher ist es gerechtfertigt und wichtig, dass Patienten mit der

Hauptdiagnose Schlaganfall den Großteil der Patientenkohorte dieser Studie bilden, um den Einsatz der automatisierten Erfassung von Lagewechseln mittels Akzelerometern für diese Patienten zu untersuchen.

Daneben ist bisher noch nicht ausreichend erforscht, in welchem quantitativen und qualitativen Ausmaß Mobilität und Aktivität während der neurologischen Frührehabilitation und in der postklinischen Phase den bestmöglichen Genesungserfolg für die Patienten versprechen. Ebenfalls gibt es keine Daten, ob definierte Mobilitätscharakteristika die Komplikations- und Rehospitalisierungsrate senken können. Die Analyse der Datenbank Pubmed mit den „mesh terms“: „functional outcome“ und „early rehabilitation“ ergab Publikationen aus der Orthopädie. Eine Studie untersuchte die Entwicklung von Rückenschmerzen 2 Jahre nach Diagnosestellung bei Senioren über 65 Jahren mit etablierten Bewertungsskalen (Jarvik et al., 2018). Es wurde lediglich festgestellt, dass individuelle Patientenparameter wie Alter, Gewicht und Nebendiagnosen eine größere Rolle als medizinische Interventionen hinsichtlich des Genesungserfolges spielten. Eine weitere Studie verglich die Rehospitalisierungsrate von 262 Patienten nach einer Wirbelsäulenoperation mit und ohne anschließendem Rehabilitationsaufenthalt (Cook et al., 2018). Die rehabilitationsbedürftigen Patienten wiesen eine höhere Wahrscheinlichkeit zur Rehospitalisierung auf, als die Patienten ohne Rehabilitationsaufenthalt. Daraus lässt sich kein negativer Zusammenhang zwischen erfolgter Rehabilitation und Rehospitalisierung schließen, da die rehabilitationsbedürftigen Patienten älter waren, mehr Sekundärkomplikationen wie Atemwegsinfektionen, Thrombosen und Dekubiti und einen längeren Krankenhausaufenthalt aufwiesen (Cook et al., 2018).

Auch mehr als die Hälfte der Kohorte dieser Studie entwickelten während des Aufenthaltes in der neurologischen Frührehabilitation eine leichte, akute Atemwegsinfektion, ein Drittel der Patienten einen Dekubitus Grad 1 und 2 und ein Viertel der Patienten erkrankten an beiden Komplikationen. Die wichtigste Maßnahme zur Vorbeugung von genannten innerklinischen Komplikationen ist Mobilisation (Nelles, 2014), was die Wichtigkeit unterstreicht, Patienten mit Sekundärkomplikationen in die Patientenkohorte aufzunehmen. Inwieweit sich diese Sekundärkomplikationen verringern lassen, könnte durch die Implementierung der Akzelerometrie mit anschließender Auswertung der erfassten Daten ermittelt werden.

#### 4.2.2 Implementierung der Akzelerometrie in der neurologischen Frührehabilitation

Die vorliegende explorative Pilotstudie zeigt, dass eine akzelerometrische Ableitung vom Oberkörper immobilier, neurologischer Frührehabilitationspatienten deren Mobilisationscharakteristika valide und zuverlässig detektieren kann. Die Oberkörpersensoren

zeichneten zu 99,5 % auswertbare Daten auf und dokumentierten analog zur manuellen Dokumentation in 24 Stunden durchschnittlich alle 3,4 Stunden einen Lagewechsel, was die grundsätzliche Eignung der Akzelerometrie zur Erfassung dieser Daten bestätigt.

Die Beinsensoren zeichneten nur zu 92 % auswertbare Daten und alle 4,8 Stunden einen Lagewechsel auf. 8 % der Messdaten der Beinsensoren konnten wegen Störartefakten bei der graphischen Darstellung durch unkontrollierte Bewegungen der Extremitäten immobilierender Patienten nicht manuell ausgewertet werden. Eine automatisierte, digitale Software zur Datenauswertung könnte das Problem der Störartefakte beheben, sodass Beinsensoren auch eingesetzt werden könnten, wenn eine Anbringung des Sensors am Oberkörper, z.B. wegen Verletzungen, nicht möglich ist.

Immobilisierte Patienten sollten zur Vorbeugung von Sekundärkomplikationen wie Dekubiti, Thrombosen oder Pneumonien routinemäßig alle 2 - 3 Stunden abwechselnd in eine der 4 Körperpositionen (Rückenlage, Linksseitenlage, Rechtsseitenlage und Oberkörperhochlagerung im Bett oder Rollstuhl) gelagert werden (Davis, 2002). Die in dieser Studie anhand der Auswertung des Oberkörpersensors ermittelte durchschnittliche Liegedauer der Patienten pro Körperposition ergibt Werte mit breiten Streuungen. 90 % der Patienten verbrachten zeitweise mehr als 4 Stunden in derselben Körperposition. Bei 4 Patienten wurden nur 3 Lagewechsel in 24 Stunden protokolliert und ein Patient davon lag 19,75 Stunden von 24 Stunden auf dem Rücken. Nur ein männlicher, 51-jähriger Schlaganfallpatient mit einem Barthel-Index von 15 Punkten zeigte mit 10 Lagewechseln ein ausgeglichenes Verhältnis der Körperpositionen in 24 Stunden und erkrankte zudem an keiner Sekundärkomplikation, was einen Indikator für die Wichtigkeit der Mobilisierung darstellt.

Ein Drittel der Studienkohorte entwickelte während ihres Rehabilitationsaufenthaltes einen oder mehrere Dekubiti Grad 1 oder 2. Es ist davon auszugehen, dass durch quantitative, akzelerometrische Messung der körperlichen Aktivität auch beispielsweise das Dekubitusrisiko eingeschätzt werden kann (Powers et al., 2004). Ein Drittel der untersuchten Studienkohorte litt an einer Aphasie. Es ist bekannt, dass das motorische System und das Sprachzentrum eng miteinander verbunden sind und sich gegenseitig positiv beeinflussen (Pulvermüller, 2005). 30 % aller Schlaganfallpatienten weisen eine Aphasie auf und würden durch eine suffiziente Mobilisation profitieren (Meinzer et al., 2011; Pulvermüller, 2005). Die akzelerometrische Erfassung der Mobilitätscharakteristika wäre ein mögliches Assessment, um den Einfluss der Mobilität auf die Aphasie in zukünftigen Studien zu untersuchen.

Bisher werden die Mobilisierungsfrequenzen von immobilen Patienten manuell oder digital durch das Pflegepersonal dokumentiert (Volmar et al, 2005). Eine automatische, akzelerometrische Aufzeichnung der Mobilisationscharakteristika immobiler Patienten könnte diese aufwändige Methode ablösen und den Pflegealltag erheblich erleichtern und einen Beitrag zur Verminderung von Sekundärkomplikationen leisten. Das Pflegepersonal würde beispielsweise mit Signalgebung über die Notwendigkeit der Umlagerung eines Patienten informiert werden und könnte dementsprechend handeln.

Innerhalb des Klinikalltags erscheint ein Einsatz von Akzelerometern praktikabel und realisierbar. Langfristig gesehen ist eine Überprüfung der Mobilisation nach Entlassung in die weiterführende Rehabilitation oder in das häusliche Umfeld bzw. in eine Pflegeeinrichtung maßgebend für den Therapieerfolg. Folgestudien müssten nachweisen, ob sich ein Einsatz der Sensoren im postklinischen Alltag realisieren lässt. Die Zunahme der Pflegebedürftigkeit der Bevölkerung einerseits und der Pflegefachkräftemangel andererseits erfordert zusätzlich langfristige Lösungen. Japan gilt hierbei als Vorreiter in der Robotertechnik (Wax, 2015). Ein Pflegeroboter, der imstande ist die akzelerometrische Aufzeichnung am Patienten auszuwerten und dementsprechend zu reagieren, ist eine denkbare Weiterentwicklung.

#### 4.2.3 Limitationen der Pilotstudie

Um die Mobilisierung immobiler Patienten besser mit den Akzelerometriedaten vergleichen zu können, könnte anstatt der manuellen Pflegedokumentation eine videogestützte Aufnahme der Patienten erwogen werden. Dies würde die Entwicklung von automatisierten Auswertesystemen unterstützen, da die entsprechenden Körperpositionen genau abgeglichen werden können und ebenfalls untersucht werden kann, welcher Zusammenhang zwischen Körperbewegungen und Störartefakten besteht. Da es sich bei dieser Studie um eine Pilotstudie zur Implementierung der Akzelerometrie in der neurologischen Frührehabilitation handelt, wurde zunächst nur eine niedrige Fallzahl und eine kurze Datenaufzeichnung gewählt. Als Voraussetzung für eine postklinische Feldstudie sollte in Folgestudien eine höhere Fallzahl und eine Akzelerometrieaufzeichnung für mindestens 7 Tage erfolgen, um ebenfalls nicht-tägliche Therapieeinheiten, Untersuchungen etc. erfassen zu können. In postklinischen Studien sollten Messzeitpunkte von 4 Wochen und 6 Monaten nach Entlassung gewählt werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In Deutschland werden jährlich etwa 330.000 Menschen mit unfallbedingten Schädelhirnverletzungen, Schlaganfällen, entzündlichen Hirnerkrankungen und Hirntumoren in Krankenhäusern behandelt. Die neurologische Frührehabilitation gewinnt aufgrund der steigenden Lebenserwartung und der verbesserten Leistungsfähigkeit des Gesundheitssystems immer mehr an Bedeutung. Mobilität und Aktivität sind bedeutende Faktoren beim langfristigen Genesungserfolg neurologischer Erkrankungen und der Verhinderung von Sekundärkomplikationen.

Akzelerometer sind kleine Beschleunigungssensoren, die menschliche Körperbewegungen erfassen können. Diese werden bisher bei mobilen Menschen verwendet, um zwischen Sitzen, Gehen, Stehen und Liegen zu unterscheiden. Ziel der vorliegenden Pilotstudie war es, Mobilitätscharakteristika immobiler Patienten durch Akzelerometer aufzuzeichnen und die Akzelerometrie als Messinstrument in der neurologischen Frührehabilitation zu implementieren. Hierzu wurden zwei Akzelerometer pro Patient jeweils für 24 Stunden am Oberkörper und am Bein befestigt, um die Körperpositionen aufzuzeichnen und Lagewechsel zu detektieren. Die Position des Oberkörpersensors in der Medioclavicularlinie detektiert zuverlässig die vier Körperpositionen immobiler neurologischer Frührehabilitationspatienten: Rückenlage, Rechtsseitenlage, Linksseitenlage und Oberkörperhochlage. Der zusätzliche Beinsensor ergibt keinen zusätzlichen Benefit, da das Messsignal Störartefakte aufweist und die Genauigkeit daher unter der des Oberkörpersensors liegt. Es kann anhand der Daten gezeigt werden, dass es eine breite Streuung der Liegedauer pro Körperposition zwischen den einzelnen Patienten gibt.

Die Dokumentation der notwendigen, routinemäßigen Umlagerung immobiler neurologischer Frührehabilitationspatienten erfolgt bislang manuell. Eine automatisierte Datenaufzeichnung der Körperpositionen der Patienten durch Akzelerometer in Kombination mit einer softwarebasierten Datenauswertung in Echtzeit könnte beispielsweise bei einem notwendigen Lagewechsel ein Signal an das zuständige Pflegepersonal senden, um eine regelmäßige Umlagerung zu gewährleisten und das Pflegepersonal zu unterstützen. Daneben kann die Dokumentation der Lagewechsel ebenfalls automatisch erfolgen und so das Pflegepersonal entlasten. Denkbar ist auch ein Pflegeroboter, der imstande ist, akzelerometrische Daten auszuwerten und autonom zu reagieren. Dadurch kann eine effektivere Überwachung der regelmäßigen Umlagerung und Mobilisation neurologischer Frührehabilitationspatienten gewährleistet werden und das Klinikpersonal auch körperlich entlastet werden.

Für den langfristigen Therapieerfolg nach Entlassung aus der neurologischen Frührehabilitation ist die konsequente Weiterführung der Mobilisation nach Entlassung in der weiterführenden Rehabilitation oder im häuslichen Umfeld bzw. in der Pflegeeinrichtung entscheidend. Folgestudien müssten nachweisen, ob die hier implementierte Akzelerometrie bei neurologischen Frührehabilitationspatienten über einen Zeitraum von 7 bis 14 Tagen und beispielsweise 4, 12 und 24 Wochen nach Entlassung realisierbar ist.

Eine automatisierte Aufzeichnung der Mobilitätscharakteristika neurologischer Frührehabilitationspatienten, wie sie die Akzelerometrie einfach und kosteneffizient bietet, könnte zukünftig eine effektive Methode zur Quantifizierung der Rehabilitationsergebnisse während und nach Abschluss der neurologischen Frührehabilitation darstellen und helfen, Sekundärkomplikationen während des Klinikaufenthaltes und darüber hinaus zu verringern.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Anderson,A.B., Basilevsky,A., Hum,D.J. Missing data: a review of the literature. Handbook of survey research, 415-493. 1983.
2. Bundesagentur für Rehabilitation (BAR), Empfehlungen zur Neurologischen Rehabilitation von Patienten mit schweren Hirnschädigungen in den Phasen B und C., 16. 1999
3. Cook,C., Coronado,R.A., Bettger,J.P., Graham,J.E. The association of discharge destination with 30-day rehospitalization rates among older adults receiving lumbar spinal fusion surgery, Musculoskelet Sci Pract 34, 77-82. 2018.
4. Culhane,K.M., O'Connor,M., Lyons,D., Lyons,G.M. Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults. Age Ageing 34 (6), 556-560. 2005.
5. Davis,P.M., Hemiplegie – Ein umfassendes Behandlungskonzept für Patienten nach Schlaganfall und anderen Hirnschädigungen. Springer, 132-141. 2002.
6. Dossa,A., Glickman,M.E., Berlowitz,D., Association between mental health conditions and rehospitalisation, mortality and functional outcomes in patients with stroke following inpatient rehabilitation. BMC Health Serv Res 11, 311, 2011.
7. Feigin,V.L., Krishnamurthi,R.V., Parmar,P., Norrving,B., Mensah,G.A., Bennett, D.A. Update on the Global Burden of Ischemic and Hemorrhagic Stroke in 1990-2013. The GBD 2013 Study. Neuroepidemiology 45 (3), 161-76. 2015.
8. Fisher,S.R., Kuo,Y.F., Sharma,G., Raji,M.A., Kumar,A., Goodwin,J.S., Ostir,G.V., Ottenbacher K.J. Mobility after hospital discharge as a marker for 30-day readmission. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 68 (7), 805–810. 2013.
9. Foerster,F., Fahrenberg,J. Motion pattern and posture: correctly assessed by calibrated accelerometers. Behav Res Methods Instrum Comput 32 (3), 450-7. 2000.
10. Formisano,R., Azicnuda,E., Sefid,M.K., Zampolini,M., Scarponi,F., Avesani,R., Early rehabilitation: benefits in patients with severe acquired brain injury. Neurol Sci 38, 181–184. 2017
11. Jarvik,J.G. Gold,L.S., Tan,K., Friedly,J.L., Nedeljkovic,S.S., Comstock,B.A., Deyo,R.A., Turner,J.A., Bresnahan,B.W., Rundell,S.D., James,K.T., Nerenz, D.R., Avins,A.L., Bauer,Z., Kessler,L., Heagerty,P.J. Long-term outcomes of a large, prospective observational cohort of older adults with back pain. Spine J 18 (1), 2018.
12. Karantonis,D.M., Narayanan,M.R., Mathie,M., Lovell,N.H., Celler,B.G. Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. IEEE Trans Inf Technol Biomed 10 (1), 156-67. 2006.
13. Kock,C., Fuhrmann,R. early neurologic rehabilitation - an urgent requirement. Rehab 31 (4), 217-219. 1992.

14. Leistner,K., Stier-Jarmer,M., Berleth,B., Braun,J., Koenig,E., Liman,W. Frührehabilitation im Krankenhaus – Definition und Indikation. Rehabil 44 (3), 165-175. 2005.
15. Loprinzi,P.D., Addoh,O. Accelerometer-Determined Physical Activity and All-Cause Mortality in a National Prospective Cohort Study of Adults Post-Acute Stroke. Am J Health Promot 32, 24-27. 2018.
16. Mahoney,F.I., Barthel,D.W. Functional evaluation: the Barthel Index. Md State Med J 14, 61-65. 1965.
17. Mathie,M.J., Coster,A.C., Lovell,N.H., Celler,B.G. Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. Physiol Meas 25 (2), 1-20. 2004.
18. Mattlage,A.E., Redlin,S.A., Rippee,M.A., Abraham,M.G., Rymer,M.M., Billinger, S.A. Use of accelerometers to examine sedentary time on an acute stroke unit. J Neurol Phys Ther. 39 (3), 166-171. 2015.
19. Mayer,K. Brain injury and brain disease. Need and importance of early rehabilitation. Versicherungsmed 45 (4), 135-137. 1993.
20. Meinzer,M., Breitenstein,C., Westerhoff,U., Sommer,J., Rösser,N., Rodriguez,A.D., Harnish,S., Knecht,S., Flöel,A. Motor cortex preactivation by standing facilitates word retrieval in aphasia. Neurorehab and Neural Repair 25 (2), 178–187. 2011.
21. Müller,C., Winter,C., Rosenbaum,D. Aktuelle objektive Messverfahren zur Erfassung körperlicher Aktivität im Vergleich zu subjektiven Erhebungsmethoden, Dtsche Z Sportmed 61 (1), 11-18. 2010.
22. Nelles,G. Neurologische Rehabilitation, Thieme, 59-64. 2004.
23. Noorköiv,M., Rodgers,H., Price,C.I. Accelerometer measurement of upper extremity movement after stroke: a systematic review of clinical studies. J Neuroeng Rehabil 144 (11), 2014.
24. Pedersen,B.K., Saltin,B. Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. Scand J Med Sci Sports 16 (1), 3-63. 2006
25. Powers,G.C., Zentner,T., Nelson,F., Bergstrom,N. Validation of the mobility subscale of the Braden Scale for predicting pressure sore risk. Nurs Res 53 (5), 340-346. 2004.
26. Pulvermüller,F. Brain mechanism linking language and action. Nat Rev Neurosci 6, 576-592. 2005.
27. Rand,D., Eng,J.J. Disparity between functional recovery and daily use of the upper and lower extremities during subacute stroke rehabilitation. Neurorehab and Neural Repair 26 (1), 76-84. 2016.
28. Rankin,J. Cerebral vascular accidents in patients over the age of 60. II. Prognosis. Scott Med J. 2 (5), 200–215. 1957.

29. Rauen,K., Schaffrath,J., Pradhan,C., Schniepp,R., Jahn,K. Accelerometric Trunk Sensors to Detect Changes of Body Positions in Immobile Patients. *Sensors* 18 (10), 1-11, 2018
30. Rollnik,J.D., Janosch,U. Verweildauerentwicklung in der neurologischen Frührehabilitation. *Dtsch Arztebl International* 107 (16), 286-292. 2010.
31. Rollnik,J.D., Adolphsen,J., Bauer,J., Bertram,M., Brocke,J., Dohmen,C., Donauer,E., Hartwich,M., Heidler,M.D., Hüge,V., Klarmann,S., Lorenzl,S., Lück,M., Mertl-Rötzer,M, Mokrusch,T., Nowak,D.A., Platz,T., Riechmann,L., Schlachetzki,F., von Helden,A., Wallesch,C.W., Zergiebel,D., Pohl,M. Prolongiertes Weaning in der neurologisch-neurochirurgischen Frührehabilitation. *DGNER*, 2018
32. Schnell,R. Zur Effizienz einiger Missing-Data-Techniken: Ergebnisse einer Computer-Simulation. *ZUMA Nachrichten* 9 (17), 50-74. 1985.
33. Schorl,M., Liebold,D. Neurologisch-neurochirurgische Frührehabilitation in Deutschland – Aktuelle Situation, Probleme und Lösungsmöglichkeiten aus medizinischer und juristischer Sicht. *Aktuelle Neurologie* 39, 1–11. 2012.
34. Schön Klinik Bad Aibling, neurologische Frührehabilitation. unter: <http://www.schoen-kliniken.de/ptp/kkh/aib/fruehreha/leistungen/> (aufgerufen 05.03.2018) 2016.
35. Schönle,W.P., Stemmer,B. Neurologische Rehabilitation in den Phasen B, C, D und E., 115-117. 2000.
36. Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Die Generation 65+ in Deutschland, 41. 2015.
37. Stier-Jarmer,M., Koenig,E., Stucki,G. Strukturen der neurologischen Frührehabilitation (Phase B) in Deutschland. *Phys Med Rehab Kuror* 12 (05), 260-271. 2002.
38. Stucki,G., Stier-Jarmer,M., Berleth,B., Gadomski,M. Indikationsübergreifende Frührehabilitation. *Phys Med Rehab Kuror* 12 (03), 146-156. 2002.
39. Thiel,C., Gabrys,L., Vogt,L. Registrierung körperlicher Aktivität mit tragbaren Akzelerometern. *Dtsch Z Sportmed* 67 (2), 2016.
40. Thrane,G., Emaus,N., Askim,T., Anke,A. Arm use in patients with subacute stroke monitored by accelerometry; Association with motor impairment and influence on self-dependence. *J Rehabil Med* 43 (4), 299-304. 2011.
41. Uswatte,G., Foo,W.L., Olmstead,H., Lopez,K., Holand,A., Simms,L.B. Ambulatory monitoring of arm movement using accelerometry: an objective measure of upper-extremity rehabilitation in persons with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 86 (7), 1498-1501. 2005
42. Van der Pas,S.C., Verbunt,J.A., Breukelaar,D.E., van Woerden,R., Seelen,H.A., Assessment of arm activity using triaxial accelerometry in patients with stroke. *Arch Phys Med* 92 (9), 1437 – 1442. 2011.

43. Vollmar,H.C., Isfort,J., Schürer-Maly,C., Ratajczak,K., Koneczny,N. Leitlinie für Betroffene, Angehörige und Pflegende, Vorbeugen und frühzeitiges Erkennen von Wundliegen (=Dekubitusprävention)unter:  
<http://www.patientenleitlinien.de/Dekubitus/Patientenleitlinie-Dekubitus.pdf>  
(aufgerufen 13.03.2018) 2005.
44. Wax,B. Pflege 4.0: Pflegeroboter können Personal entlasten. Mehr als eine Vision?  
unter: [http://www.healthrelations.de/pflegeroboter\\_klinik/](http://www.healthrelations.de/pflegeroboter_klinik/) (aufgerufen 13.03.2018)  
2016.

## 7 Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	analysis of variance
BI	Barthel-Index
mRS	modifizierte Rankin-Skala
MW	Mittelwert
OK	Oberkörper
SD	Standardabweichung
Std.	Stunden

## **8 Anhang**

### **8.1 Hinweis**

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht.

## 8.2 Aufklärungsbogen



Deutsches Schwindel-  
Gleichgewichtszentrum der LMU  
Klinikum Großhadern  
Marchioninstr. 15  
81377 München  
Tel. +49 89/4400-76676, Fax -76671.

und Schön Klinik Bad Aibling  
Kolbermoorer Str. 72  
83043 Bad Aibling  
Tel. +49 8061/903-0

Verantwortlicher Prüfleiter:

Prof. Dr. med. Klaus Jahn, Chefarzt, Schön Klinik Bad Aibling und  
Deutsches Schwindel- und Gleichgewichtszentrum der LMU, München.

Dr. med. Katrin Rauen, FEBN, Schön Klinik Bad Aibling.

### **Patientenaufklärung bzw. Aufklärung des gesetzlichen Vertreters\* und Einverständniserklärung**

\*Patienten, die selbst nicht einwilligungsfähig sind, werden nur nach ausführlicher Aufklärung und Einverständnis ihres gesetzlichen Betreuers bzw. Bevollmächtigten, im folgenden Text als *gesetzlicher Vertreter* bezeichnet, in die Studie eingeschlossen.

#### **Untersuchung der Mobilität und Aktivität neurologischer Frührehabilitationspatienten**

---

Sehr geehrte Patientin,

sehr geehrter Patient,

sehr geehrter gesetzliche Vertreter,

neurologische Erkrankungen sowie die dadurch erforderliche neurologische Frührehabilitation werden auf Grund der demographischen Entwicklung in den nächsten Jahren weiter zunehmen. Um den Rehabilitationserfolg nach der Entlassung zu stabilisieren, Komplikationen zu vermeiden und das funktionelle Ergebnis zu verbessern, ist eine Untersuchung zur Wirksamkeit der erbrachten Leistungen notwendig. Systematische und objektive Untersuchungen der alltäglichen Mobilität von

Frührehabilitationspatienten mit Erfassung von Stürzen und weiteren Komplikationen sind bislang nicht ausreichend durchgeführt worden. Bisher ist daher nicht bekannt, welchen Einfluss Mobilisation und Aktivität während der Frührehabilitation sowie nach Entlassung auf den weiteren Krankheitsverlauf sowie die Teilhabe im Alltag, das funktionelle Ergebnis und die Komplikationsrate der Patienten haben.

Zur Vertiefung unseres Wissens und um nachfolgend gezielte Maßnahmen zur Sturzprävention entwickeln zu können, führen wir deshalb momentan eine Studie durch. Neben der Sturzprävention ist es das Ziel, die Aktivität und Mobilität von neurologischen Patienten während und nach der Frührehabilitation zu erfassen sowie den Einfluss auf Alltagsfunktionen sowie auf die Komplikationsrate zu ermitteln.

Sie bzw. der von Ihnen gesetzlich vertretene Patient werden/wird in Kürze aus unserer neurologischen Frührehabilitation in die weiterführende Rehabilitation, in eine außerklinische Pflegeeinrichtung oder in das häusliche Umfeld mit Pflege- oder Intensivpflegedienst entlassen und sind daher für diese klinische Prüfung geeignet. Im Folgenden möchten wir Sie (Patient bzw. Ihren gesetzlichen Vertreter) über die Durchführung und den Studienablauf informieren.

#### Verwendete Methoden:

##### 1. Diverse Fragebögen bzw. Tests zu

- Sturz-Ereignissen und damit verbundenen Folgen sowie Sturz-Bedenken,
- Modified Ranking Scale (mRS)
- Barthelindex
- Kognitive Funktionsfähigkeit mit Prüfung der Orientierung und Aufmerksamkeit (TAP),
- Sprache (BOSU, BIAS)
- Schluckstörung/ Trachealkanüle
- Gesundheits-bezogene Lebensqualität (EQ5-D)

##### 2. Erfassung von Komplikationen:

- Sturz (siehe auch unter 1.)
- Pneumonie
- Kontrakturen
- Dekubitus (Braden Scale)
- Thrombose
- Erneuter Klinikaufenthalt
- Tod

### 3. Messung der Mobilität und Aktivität mittels Beschleunigungsmesser (Akzelerometer)

Alle Untersuchungen sind völlig nebenwirkungsfrei, insbesondere werden keine Medikamente verabreicht, und es besteht keinerlei Strahlenbelastung.

#### Ablauf der Studie:

Nach Einschluss in die Untersuchung werden wir Ihnen bzw. dem von Ihnen gesetzlich vertretenen Patienten mittels einer Klebefolie einen Miniatursensor (Akzelerometer) am Körper anbringen. Dieser zeichnet Bewegungen des Körpers auf und speichert die Daten auf einer SD-Karte. Eine Strahlenbelastung besteht nicht. Der Patient wird gebeten, den Sensor 24 Stunden pro Tag am Körper zu lassen. Nach Ablauf von 10 Tagen senden Sie (Patient bzw. Ihr gesetzlicher Vertreter) bitte das Gerät an uns zurück. Jeweils 4 Wochen und 6 Monate nach der Entlassung sind Folgemessungen geplant. Wir bzw. unsere Studienmitarbeiter werden Sie bzw. Ihren gesetzlichen Vertreter erneut telefonisch an die Messung erinnern und Ihnen rechtzeitig die erforderlichen Materialien (SD-Chip, Klebefolie, Fingerling, Anleitung, Telefonnummer für Rückfragen) bringen oder zu senden. Zusätzlich werden die o.g. Fragebögen/Untersuchungen nach jedem Messabschnitt bei Ihnen zu Hause oder in der Pflegeeinrichtung durch uns/ unsere Mitarbeiter durchgeführt. Darüber hinaus möchten wir Sie bzw. Ihren gesetzlichen Vertreter bitten, nach der Entlassung 6 Monate den Ihnen ausgehändigten Sturzkalender zu führen, indem Sie bitte jedes Sturz-Ereignis notieren.

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Es entstehen Ihnen bzw. dem durch Sie gesetzlich vertretenen Patienten durch eine Nicht-Teilnahme an der Studie keine Nachteile in der weiteren Behandlung. Ferner können Sie bzw. darf der von Ihnen gesetzlich vertretene Patient jederzeit von der Studienteilnahme zurücktreten.

Sie bzw. der von Ihnen gesetzlich vertretene Patient dürfen/darf an der Studie nicht teilnehmen, wenn Sie bzw. der von Ihnen gesetzlich vertretene Patient an folgenden Erkrankungen leiden:

- a) Psoriasis oder andere schwere und ausgedehnte Hauterkrankung
- b) Pflasterallergie

**Bei dieser Studie werden die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz eingehalten. Es werden persönliche Daten und Befunde über Sie erhoben, gespeichert und in verschlüsselter Form (pseudonymisiert) weiter verwendet, d.h. weder der Patientennamen, die Initialen oder das exakte Geburtsdatum erscheinen im Verschlüsselungscode. Diese Verschlüsselung wird auch für die Fragebögen vor der Auswertung verwendet. Dazu wird jedem Patienten bei Eintritt in die Studie zufällig eine dreistellige Ziffer zugeordnet, die zur Identifikation für Unterlagen, Befunde und Untersuchungen genutzt wird. Im Falle des Widerrufs Ihrer Einwilligung bzw. der**



Ich bzw. mein durch mich gesetzlich vertretene Patient kann jederzeit von der Studienteilnahme zurücktreten und habe/ hat dadurch keine Konsequenzen bezüglich meiner Weiterbehandlung zu befürchten. Meine Fragen wurden ausreichend und vollständig beantwortet.

-----  
**Ort, Datum**

-----  
**Unterschrift (Patient/in)**

-----  
**Ort, Datum**

-----  
**Unterschrift  
(gesetzlicher Vertreter\*)**

-----  
**Ort, Datum**

-----  
**Unterschrift (Untersucher)**

**Bei Rückfragen:** Bitten wir um Kontaktaufnahme zu den o.g. Studienleitern.

### 8.3 Assessmentbogen



Schön Klinik Bad Aibling  
Kolbermoorer Str. 72  
83043 Bad Aibling  
Tel. +49 8061/903-0

## Assessmentbogen: Mobilitätscharakteristika in der neurologischen Frührehabilitation

Patientenetikett
------------------

Datum: \_\_\_\_\_

Alter: \_\_\_\_\_

Geschlecht: \_\_\_\_\_

prästationäre Versorgungssituation: \_\_\_\_\_

Betreuungsstatus: \_\_\_\_\_

**Hauptdiagnose, Ereignisdatum und Ätiologie:**

---

---

---

**Allergien:**

---

**Nebendiagnosen:**

---

---

---

**Neurologische Frührehabilitation seit:**

---

**geplantes Entlassdatum:**

---

**Barthel-Index:**

<b>1. Gehen bzw. selbstständiges Fahren mit dem Rollstuhl</b>	
selbständig	<input type="checkbox"/> 15
mit Hilfe	<input type="checkbox"/> 10
mit Rollstuhl selbständig	<input type="checkbox"/> 5
völlig unselbständig oder mit Hilfe eines Rollstuhls	<input type="checkbox"/> 0
<b>2. Treppen auf- bzw. absteigen</b>	
selbstständig	<input type="checkbox"/> 10
mit Unterstützung	<input type="checkbox"/> 5
völlig unselbständig	<input type="checkbox"/> 0
<b>3. Bett- bzw. Stuhltransfer</b>	
selbstständig bzw. gehfähig	<input type="checkbox"/> 15
mit geringer Unterstützung	<input type="checkbox"/> 10
mit erheblicher Unterstützung	<input type="checkbox"/> 5
nicht möglich	<input type="checkbox"/> 0
<b>4. Essen und Trinken</b>	
selbstständig	<input type="checkbox"/> 10
mit Unterstützung	<input type="checkbox"/> 5
nicht möglich	<input type="checkbox"/> 0
<b>5. Körperpflege</b>	
selbstständig	<input type="checkbox"/> 5
mit Unterstützung oder unselbständig	<input type="checkbox"/> 0
<b>6. An- und Ausziehen</b>	
Selbstständig	<input type="checkbox"/> 10
mit Unterstützung	<input type="checkbox"/> 5
nicht möglich	<input type="checkbox"/> 0
<b>7. Baden/ Duschen</b>	
selbstständig	<input type="checkbox"/> 5
mit Unterstützung oder unselbständig	<input type="checkbox"/> 0
<b>8. Benutzung der Toilette</b>	
selbstständig	<input type="checkbox"/> 10
mit Unterstützung	<input type="checkbox"/> 5
völlig unselbständig	<input type="checkbox"/> 0
<b>9. Harnkontrolle</b>	
normal	<input type="checkbox"/> 10
gelegentlich gestört	<input type="checkbox"/> 5
nicht möglich	<input type="checkbox"/> 0
<b>10. Stuhlkontrolle</b>	
normal	<input type="checkbox"/> 10
gelegentlich gestört	<input type="checkbox"/> 5
nicht möglich	<input type="checkbox"/> 0
<b>Summe Barthel-Index</b>	

**modifizierte Rankin-Skala:**

<b>Punkte</b>	<b>Beschreibung</b>
0	Keine Symptome
1	Trotz Symptomatik keine signifikante Behinderung. Patienten sind fähig alle Pflichten und Tätigkeiten des Alltags auszuführen
2	Geringe Behinderung. Patienten können nicht mehr alle Tätigkeiten ausführen, sind aber in ihrer Lebensführung unabhängig
3	Leichte Behinderung. Patienten benötigen Hilfe; können aber noch ohne Hilfe laufen
4	Schwere Behinderung. Patienten können ohne Hilfe weder laufen noch den eigenen Alltag bewältigen
5	Sehr schwere Behinderung. Patienten sind bettlägerig, inkontinent und benötigen Hilfe bei allen Alltagsverrichtungen
6	Tod

**Harninkontinenz:**                     ja    nein

**Stuhlinkontinenz:**                 ja    nein

**Aphasie:**                             ja    nein

**Dysphagie:**                         ja    nein

**Hemiparese:**                         ja    nein

**Tetraparese:**                         ja    nein

**Tracheostoma:**                     ja    nein

**PEG-Sonde:**                         ja    nein

**NSG-Sonde:**                         ja    nein

**Fixierungsmaßnahmen:**         ja    nein

**Isolationspflicht:**                 ja    nein

**Dekubitus:**                          ja    nein

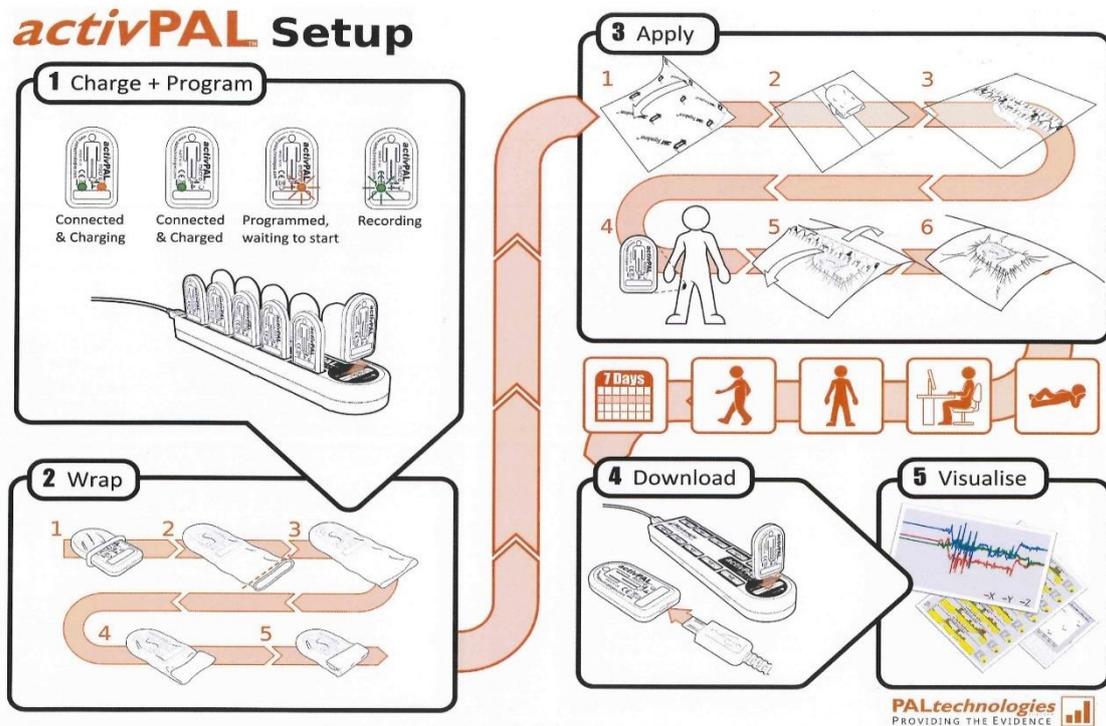
**Pneumonie**                          ja    nein

**Atemwegsinfektion:**             ja    nein

**Harnwegsinfektion:**             ja    nein

**Thrombose:**                         ja    nein

## 8.4 activPAL Set-up



## 8.5 Einverständniserklärung für die Veröffentlichung von Fotoaufnahmen



Deutsches Schwindel-  
Gleichgewichtszentrum der LMU  
Klinikum Großhadern  
Marchioninstr. 15  
81377 München  
Tel. +49 89/4400-76676, Fax -76671.

und Schön Klinik Bad Aibling  
Kolbermoorer Str. 72  
83043 Bad Aibling  
Tel. +49 8061/903-0

### Einverständniserklärung für die Anfertigung und Veröffentlichung von Fotoaufnahmen

am: 30.8.2018

durch: Judith Marie Schaffrath

Zweck: Verwendung als Illustration bei der Dissertation „Implementierung der Akzelerometrie in de neurologischen Frührehabilitation“ und bei themenbezogenen Publikationen

#### **Hiermit erkläre ich,**

Name: Rosa Schaffrath

geboren am: 18.10.1953,

mich damit einverstanden, dass die oben bezeichneten Foto-bzw. Videoaufnahmen von mir angefertigt, zum genannten Zweck eingesetzt und auf wie aufgeführt veröffentlicht werden.

Aus der Zustimmung zur Veröffentlichung leite ich keine Rechte (z. B. Entgelt) ab. Diese Einverständniserklärung ist gegenüber dem Veranlasser jederzeit mit Wirkung für die Zukunft widerrufbar. Im Falle des Widerrufs werden die Aufnahmen von der jeweiligen Plattform entfernt. Waren die Aufnahmen im Internet verfügbar, erfolgt die Entfernung soweit sie den Verfügungsmöglichkeiten des Veranlassers unterliegt.

Geretsried, 30.08.2018

Unterschrift: *Rosa Schaffrath*

## 9 Danksagung

Mein ganz herzlicher Dank für das Gelingen dieser Arbeit gilt:

**Prof. Dr. med Klaus Jahn**

für die Überlassung des Themas, die exzellente wissenschaftliche Betreuung und die hervorragende Unterstützung

**Dr. med Katrin Rauen, FEBN**

für die außergewöhnlich gute Betreuung bei meiner Doktorarbeit

**Cauchy Pradhan**

für die Unterstützung bei der Datenauswertung nach etabliertem Algorithmus der Arbeitsgruppe

**Dr. Alexander Crispin**

**und der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. med Klaus Jahn**

für die Unterstützung bei statistischen Fragen

**Jörg Kreuzberger**

für die exzellente Hilfe bei statistischen Fragen

**Lea Sophie Kreuzberger**

für die Unterstützung bei der graphischen Darstellung und die orthographische Korrektur

**Marco Hennigs**

für die Hilfe beim Layout und die immer liebevolle und geduldige Unterstützung

**meinen Eltern**

für die ständige Motivation



LUDWIG-  
MAXIMILIANS-  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN

Promotionsbüro  
Medizinische Fakultät



## Eidesstattliche Versicherung

# Hennigs (geb. Schaffrath), Judith Marie

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

**Implementierung der Akzelerometrie in der neurologischen Frührehabilitation**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Wolfratshausen, 06.02.2020

Ort, Datum

*Judith Marie Hennigs*

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand