



Doctoral Thesis

Kinematic and Kinetic Assessments of Upper Limb Function in Patients with Neurological Injury

Author(s):

Popp, Werner L.P.

Publication Date:

2017

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000188610> →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 24001

Kinematic and Kinetic Assessments of Upper Limb Function in Patients with Neurological Injury

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

WERNER LOUIS PAUL POPP

MSc ETH HMS, ETH Zurich

born on 01.10.1982

citizen of Bischofszell (TG), Steinach (SG) and France

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Roger Gassert (examiner)

Prof. Dr. Armin Curt (co-examiner)

Prof. Dr. Christina M. Spengler Walder (co-examiner)

Dr. Michelle Starkey (co-examiner)

2017

Abstract

Standard clinical assessments such as the Fugl-Meyer Assessment or the Graded and Redefined Assessment of Strength, Sensibility and Prehension (GRASSP) are often used as diagnostic tools in clinical routine of stroke and spinal cord injury (SCI) therapy. Even though clinicians can benefit from using them to assess levels of impairment, such clinical assessments have a number of major drawbacks and can therefore only be used in a limited way in research. In order to track functional recovery, level of sensorimotor impairment, degree of compensation, and levels of activity, objective and sensitive assessment tools are needed. In addition to good clinimetric properties, such as high reliability and validity, these assessment tools furthermore should allow for continuous long-term monitoring of physical activity not only during rehabilitation but also outside of the therapy.

Such objective and sensitive assessment tools would allow researchers and clinicians to evaluate the effect of different interventions as well as help gain new insights in biomechanics and neuroscience. Improvements in robotic and sensor technology have created new opportunities for the design of assessment methods beyond what is possible with standardized clinical assessments. The aim of this thesis was to develop objective kinematic and kinetic assessments of the upper-limb function for individuals with a neurological injury. Two assessment tools were developed.

The first assessment tool quantifies the capacity of the upper-limb with kinematic and kinetic measures provided by a robotic system under laboratory settings. A first study was conducted to minimize confounds originating from poor ergonomic design, which in turn could negatively affect muscle activation patterns. Following this step, we used robotic systems with these ameliorated ergonomics to explore the neuronal control of finger and wrist muscles, as a better understanding would help the design of more efficient therapy approaches. We conducted two studies where we investigated the interdependence of wrist and digit control under static condition in healthy subjects and stroke patients with moderate hand impairment. In these experiments, subjects were asked to generate maximum precision grip force at different wrist angles under two wrist stabilization conditions (self- and externally stabilized). The results of these studies showed that both groups were able to benefit from the external wrist stabilization, and that both groups seem to have an optimal but different wrist posture for

vi

generating maximum precision grip force (healthy: 22° of extension, stroke: 3° of extension). Furthermore, strong muscle synergies were found in the healthy group independent of wrist posture or wrist stabilization. Surprisingly, the same muscle synergies were also present in the stroke survivor group, although not as prominent. Stroke survivors additionally showed a strong muscle synergy of their intrinsic hand muscles, which was not found in the healthy group. Together with the relatively high intrinsic muscle activation, this suggests that stroke survivors rely more on the intrinsic muscles for generating force in a precision grip than neurologically intact people. In summary, the robotic systems used can be utilized as an objective kinematic and kinetic assessment tool of wrist and hand function and are a powerful tool to investigate motor control and motor learning, joint properties or proprioception.

The second assessment tool developed within this thesis is a tool for SCI research and can be applied both in daily clinical routine and in the home environment. Its novelty lies in the fact that it is able to continuously and objectively monitor upper-limb activity not only during, but also outside of therapy sessions. This assessment method is based on data provided by wearable inertial measurement units (IMU) and dedicated algorithms, and provides information about general amount and intensity of upper limb activity in the context of different activities of daily living. The first algorithm provides precise and reliable continuous measures of wheel kinematics and type of wheelchair propulsion. The second algorithm provides continuous measures of energy expenditure in wheelchair-bound individuals. These algorithms build a basis for an evaluation framework for upper-limb activity of wheelchair-bound individuals with SCI. The data to develop and evaluate them was collected in two studies. In total, 51 wheelchair-bound subjects with a spinal cord injury at the chronic stage were equipped with wearable sensors. This assessment framework has already been used in two multi-center studies investigating the correlation between sensor metrics and clinical assessment scores, and investigating the change of upper-limb activity during the initial rehabilitation following SCI.

The two novel assessment methods, which resulted from this work, can be used to explore sensorimotor control and the mechanisms underlying sensorimotor impairments. Furthermore, our long-term activity monitoring tool can provide multiple novel insights: Firstly, it can help characterize changes in physical

activity during the course of rehabilitation in general. Secondly, it can elucidate changes in physical activity resulting from one intervention compared to another. Finally, by tracking activity outside of the intervention, it may uncover differences in baseline activity of participants which is believed to be a common confound in otherwise randomized-controlled trials. In summary, both assessment methods provide information beyond what is possible with current standard clinical assessments.

Zusammenfassung

Gängige klinische Assessments, wie zum Beispiel das Fugl-Meyer Assessment oder das GRASSP Assessment (Graded and Redefined Assessment of Strength, Sensibility and Prehension) werden im klinischen Alltag oft im Rahmen der Diagnose und Therapie von Schlaganfall und Rückenmarksverletzung verwendet. Obwohl diese Assessments für Kliniker ein nützliches Werkzeug zur Beurteilung von körperlichen Beeinträchtigungen darstellen, können sie nur begrenzt in der Forschung eingesetzt werden, da sie eine Vielzahl von Limitationen aufweisen. Um das Level der funktionellen Genesung, das Level der sensomotorischen Beeinträchtigung, den Grad der Kompensation und das allgemeine Aktivitätsniveau messen zu können, braucht es sensitive und objektive Assessments. Zusätzlich zu guten Gütekriterien wie Reliabilität und Validität, müssen diese Assessments die physische Aktivität auch kontinuierlich über eine längere Zeitspanne messen können, innerhalb wie auch ausserhalb der Therapiezeiten.

Solche objektiven und sensitiven Assessments könnten von Forschern und Klinikern benutzt werden, um sowohl den Effekt von verschiedenen Interventionen zu untersuchen, als auch um neue Einsichten in die Biomechanik und Neurowissenschaften zu gewinnen. Der technologische Fortschritt hat neue Möglichkeiten für das Entwickeln von Assessmentmethoden eröffnet, welche jenseits der Möglichkeiten von existierenden klinischen Assessments liegen. Das Ziel dieser Dissertation war es, neue objektive kinematische und kinetische Assessmentmethoden für die Evaluation der Funktion der oberen Extremitäten in neurologischen Patienten zu entwickeln. Um dies zu erreichen, wurden zwei separate Methoden entwickelt.

Die erste, im Rahmen dieser Arbeit, entwickelte Assessmentmethode quantifiziert die Kapazität der oberen Extremitäten mit Hilfe von kinematischen und kinetischen Messungen durch den Einsatz eines Roboters. Eine erste Studie wurde durchgeführt, um den Effekt von Störfaktoren, beispielsweise auf die Muskelaktivierung, zu minimieren, welche aus einem nicht optimalen ergonomischen Roboterdesign hervorgerufen werden kann. Anschliessend haben wir Roboter mit ergonomischen Verbesserungen verwendet, um die neuronale Kontrolle der Finger- und Handgelenkmuskulatur zu erforschen, da ein tieferes Verständnis dieser helfen könnte, bessere Therapiemethoden zu entwickeln. Dazu haben wir

zwei Studien durchgeführt, die das Ziel hatten, die gegenseitige Abhängigkeit der muskulären Kontrolle der Finger und des Handgelenks in gesunden Personen sowie in Personen mit einem Schlaganfall, zu untersuchen. In diesen Studien mussten die Teilnehmer ihre Maximalkraft in einem Präzisionsgriff, bei verschiedenen Handgelenkwinkeln und bei zwei Arten der Handgelenksstabilisierung (Eigenstabilisierung und externe Stabilisierung), aufbringen. Die Studie zeigte, dass beide Probandengruppen mehr Kraft mit der externen Stabilisierung aufbringen können und dass beide Gruppen einen optimalen Handgelenkwinkel besitzen (Gesunde: 22° Extension, Schlaganfall: 3° Extension), um die Maximalkraft mit den Fingern erzielen zu können. Des Weiteren wurden starke Muskelsynergien, unabhängig von der Handgelenksstabilisierung, bei der unbeeinträchtigten Probandengruppe gefunden. Überraschenderweise waren diese Synergien auch bei den Probanden mit einem Schlaganfall vorhanden, wenn auch weniger stark ausgeprägt. Zusätzlich zeigte diese Probandengruppe starke Muskelsynergien der intrinsischen Handmuskulatur. Zusammen mit einer erhöhten Aktivität der intrinsischen Muskeln führt dies zum Schluss, dass Personen nach einem Schlaganfall, im Gegensatz zu gesunden Personen, sich stärker auf die intrinsischen Muskeln für die Kraftgenerierung bei den Fingern verlassen müssen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Roboter für objektive kinematische und kinetische Assessments der Hand und der Finger eingesetzt werden können und dass sie ein vielversprechendes Werkzeug für das Erforschen der motorischen Kontrolle, des motorischen Lernens, der Gelenkeigenschaften, sowie der Propriozeption sein können.

Das zweite, im Rahmen dieser Arbeit, entwickelte Assessment ist ein Werkzeug für die Forschung im Bereich der Querschnittslähmung, welches sowohl in der Klinik als auch in der Heimumgebung eingesetzt werden kann. Die Stärke dieses Assessments liegt darin, dass es kontinuierliche und objektive Messungen der Armaktivität liefern kann, sowohl während der Therapie, als auch ausserhalb der Therapie. Dieses Assessment basiert auf Daten von tragbaren Inertialsensoren und liefert mithilfe zweier Algorithmen Informationen über die Menge und die Intensität von Armbewegungen im Kontext verschiedener Alltagsaktivitäten. Der erste Algorithmus liefert präzise und reliabel Messwerte über die Radkinematik eines Rollstuhls und über die Art der Rollstuhlfortbewegung. Der zweite Algorithmus liefert kontinuierliche Messwerte bezüglich des Energieverbrauchs der Person im Rollstuhl. Zusammen bilden diese beiden Algorithmen die Grundlage für eine Evaluierung und Quantifizierung der Aktivität

der oberen Extremitäten von Rollstuhlfahrern mit einer Querschnittslähmung. Die beiden Algorithmen wurden mithilfe von Daten aus zwei Studien entwickelt, in denen insgesamt 51 Rollstuhlfahrer mit mehreren Sensoren ausgestattet wurden. Dieser Ansatz wurde bereits in zwei multizentrischen Studien eingesetzt, die einerseits zum Ziel hatten, Sensormessdaten mit klinischen Assessmentwerten zu korrelieren, andererseits die Veränderung der Armaktivität von Patienten während der Erstrehabilitation zu erfassen.

Die beiden, aus dieser Arbeit resultierenden, neuen Assessmentmethoden können für das Erforschen der sensomotorischen Kontrolle sowie grundlegender Mechanismen von sensomotorischen Einschränkungen verwendet werden. Des Weiteren kann das sensoren-basierte Assessment mehrere neue Einsichten liefern: Erstens kann es grundsätzlich eingesetzt werden, um Veränderungen der Aktivität während der Rehabilitation zu erfassen. Zweitens kann es dazu verwendet werden, den Einfluss verschiedener Interventionen auf die physische Aktivität zu untersuchen. Drittens kann das Assessment dazu benutzt werden, die Grundaktivität eines Patienten zu messen, ein Punkt, der bereits als Störfaktor in randomisierten Interventionsstudien bekannt ist. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass beide Assessmentmethoden zusätzliche Informationen zu den Ergebnissen gängiger klinischer Assessments generieren können.