

Diss.-No. ETH 21153

Increasing Engagement during Robot-Aided Motor Rehabilitation using Augmented Feedback Exercises

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
LUKAS ZIMMERLI
Dipl. Natw. ETH, ETH Zurich

February 23, 1983

Oftringen, Aargau, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Robert Riener
Prof. Dr. Roger Gassert
Dr. Lars Lünenburger

2013

Abstract

Motor functions are essential for socio-ecological participation. Impairments, resulting from spinal cord injuries, stroke or other cerebrovascular diseases, influence a persons' independence and, thus, require restoration, through rehabilitation.

Due to the demanding implications of conventional therapy approaches, robotic interventions have become increasingly accepted. However, despite all their advantages, robotic assistance can reduce patient engagement during training. The primary cause for this effect can be attributed to the passive guidance that the robot provides, preserving desired movement kinematics and reducing actual movement errors. The absence of errors eventually leads to a reduction of effort, which can influence the overall effectiveness of the therapy.

Patient engagement can be defined as a construct that is driven by motivation and executed through active, effortful participation during therapy. It is a multidimensional construct that contains cognitive, physical and emotional components. Cognitive engagement may be influenced by a person's cognitive abilities in relation to task specific characteristics, like for example, the level of difficulty. Physical engagement may be influenced by physiological impairments. The emotional component of engagement mostly depends on the psychological state of the patient, being influenced by, for example, preferences, expectations or satisfaction.

In order to increase patient engagement, modern therapy approaches deploy "game-like" augmented feedback exercises, making use of virtual reality technology, to create multi-sensory, virtual therapy scenarios. Most exercises, however, are not properly verified regarding their effectiveness. In addition, although some studies did propose design characteristics that augmented feedback exercises should inherit to optimally

enhance engagement, these propositions are mainly based on the evaluation of questionnaires and, thus, their actual effectiveness to increase engagement during therapy has not been verified.

Hence, the overall aim of this thesis was to assess the effect that augmented feedback exercises have on motivation and investigate what characteristics they need to include, to increase active participation, that is, patient engagement, during robot-aided motor rehabilitation.

Since there are no explicit guidelines of how augmented feedback exercises have to be designed, I postulated that they should be able to adapt their level of difficulty to the capabilities of the patient. Further, augmented feedback exercises should provide explicit task goals, making therapy benefits apparent, provide frequent performance feedback and allow adjustable visual stimuli. Finally, they should show functionally meaningful reactions to the motor performance of the patient and allow the possibility to accomplish competitive training. The effects of these design characteristics on patient engagement, were then assessed in both upper- and lower-extremity robotic devices.

In general, results showed an increase in engagement of patients during therapy using augmented feedback exercises. This was not only reported by patients, but also perceived by their therapists. Patients were motivated to train using augmented feedback exercises and wanted to use them again in subsequent therapy sessions.

Results further showed that it is difficult to manually adjust the task difficulty of an augmented feedback exercise to the capabilities of the patient. Although patients showed an increase of effort with increasing task difficulty, they perceived their performance as getting worse, which eventually led to increased levels of frustration. In order to prevent the possibility of disengagement, augmented feedback exercises should, thus, be able to autonomously adapt their level of difficulty to the capabilities of patients. I was able to successfully validate such a mechanism, that, thanks to its simplicity, can be easily incorporated into a large number of existing and novel upper-extremity, two-dimensional, pointing exercises.

Finally, I was able to show that augmented feedback exercises have to provide functionally meaningful reactions to the motor performance of the patients, in order to

increase active participation. Providing explicit task goals, frequent performance feedback or competitive situations did not have any significant effects on engagement. The effects of different visual stimuli on patient engagement were not assessed in the current thesis and, thus, should be the subject to further investigations.

In conclusion, deliberating on the multidimensional construct of patient engagement, I argue that cognitive engagement can be increased by incorporating mechanisms into augmented feedback exercises that autonomously adapt their level of difficulty to the capabilities of the patient. In addition, the amount of physical engagement patients exhibit during therapy can be increased by augmented feedback exercises that provide functionally meaningful reactions to the motor performance. While the emotional component of engagement was not directly assessed within the current studies, patients did show differing preferences and expectations towards the developed augmented feedback exercises. These were not only related to the visual setup of the virtual environments, but also to the overall tasks themselves. Hence, while results did not show significant effects regarding task goals, performance feedback or competitive situations, these could potentially have an influence on an individual patient's level of emotional engagement.

At last, I encourage further investigations on the effects that different design characteristics have on engagement during robot-aided motor rehabilitation. Different aspects will be highlighted and discussed in the outlook section of this thesis.

Zusammenfassung

Um aktiv am Geschehen unseres sozialen Umfeldes teilnehmen zu können, spielen motorische Funktionen eine wichtige Rolle. Diese können jedoch auf Grund von Rückenmarksverletzungen, Schlaganfällen oder anderen cerebro-vaskulären Schäden stark beeinträchtigt werden. Die Neurologische Rehabilitation kann in solchen Fällen zu signifikanten Verbesserungen der Motorischen Fähigkeiten führen und dadurch die Eigenständigkeit und die Integration von betroffenen Personen in die Gesellschaft erleichtern.

Konventionelle Therapie-Ansätze können für den Patienten und Therapeuten körperlich sehr anstrengend und anspruchsvoll sein. Deswegen werden in der motorischen Rehabilitation vermehrt robotische Systeme eingesetzt. Trotz den Vorteilen welche solche Systeme bieten, können sie jedoch zu einer Reduktion des Patienten-Engagement führen. Die Hauptursache für diesen Effekt kann der passiven Führung welches das robotische System liefert zugeschrieben werden. Dieses hält die gewünschte, kinematische Bewegung des Patienten aufrecht und führt dabei zu einer Reduktion der wahrnehmbaren Bewegungsfehler. Das Ausbleiben dieser Fehler kann letztendlich zu einer Reduktion der Anstrengung des Patienten führen und somit die Effektivität der Therapie reduzieren.

Patienten-Engagement ist ein multidimensionales Konstrukt welches durch die Motivation angetrieben wird, und zur aktiven Teilnahme während der Therapie führt. Es beinhaltet sowohl kognitive, physische als auch emotionale Bestandteile. Kognitives Engagement kann durch die vorhandenen kognitiven Fähigkeiten eines Patienten in Bezug auf die Eigenschaften einer Aufgabe, wie zum Beispiel deren Schwierigkeitsgrades, beeinflusst werden. Allfällige physiologische Störungen wirken sich vor allem

auf den physischen Bestandteil von Engagement aus. Der psychische Zustand des Patienten sowie dessen, Erwartungen, Präferenzen etc. steuern den emotionalen Bestandteil.

Eine Methode, welche vermehrt eingesetzt wird, um das Patienten-Engagement zu steigern, sind "Computerspiel"-ähnliche "Augmented Feedback"-Übungen. Mittels diesen Übungen können anspruchsvolle, aber sichere, virtuelle Therapieziele simuliert und trainiert werden. Die meisten "Augmented Feedback"-Übungen werden jedoch nicht richtig hinsichtlich ihrer Wirksamkeit analysiert. Obwohl einige Studien Eigenschaften vorgeschlagen haben, welche "Augmented Feedback"-Übungen beinhalten sollten, um optimales Engagement zu erzeugen, beruhen diese Vorschläge lediglich auf der Auswertung von Fragebögen. Deren eigentliche Effektivität, Engagement während der Therapie zu erhöhen wurde jedoch noch nicht praktisch verifiziert.

Aus diesem Grund war das Ziel dieser Dissertation, den Einfluss von "Augmented Feedback"-Übungen auf die Motivation der Patienten zu ermitteln, und zu untersuchen, welche Eigenschaften diese beinhalten sollten, um die aktive Teilnahme d.h. das Engagement der Patienten, während der motorischen Rehabilitation, zu steigern.

Da es bis jetzt keine genauen Richtlinien gibt, welche beschreiben, wie "Augmented Feedback"-Übungen entwickelt werden sollten, definierte ich, dass "Augmented Feedback"-Übungen zu mehr Engagement führen, wenn sie in der Lage sind, ihren Schwierigkeitsgrad automatisch an die Fähigkeiten des Patienten anzupassen. Des Weiteren sollten sie klare Therapie-Ziele bieten, häufiges Leistungs-Feedback geben, einstellbare visuelle Stimuli beinhalten und funktionelle, sinnvolle Reaktionen auf die motorische Leistung der Patienten zeigen. Zudem sollten sie kompetitive Situationen ermöglichen. Die Auswirkungen dieser Eigenschaften auf das Engagement der Patienten wurden anschliessend, mittels robotischen Systemen für die Rehabilitation der oberen und unteren Extremitäten, untersucht.

Mit den durchgeführten Studien, konnte ich eine Steigerung des Engagement der Patienten mittels "Augmented Feedback"-Übungen, während der Therapie, zeigen. Diese Steigerung wurde nicht nur von den Patienten gemeldet, sondern auch durch die Observationen der Therapeuten bestätigt. Die Patienten waren motiviert mittels "Augmented Feedback"-Übungen zu trainieren und wollten diese in folgenden Sitzungen

wieder verwenden.

Zusätzlich zeigten die erhaltenen Resultate, dass es kompliziert ist, den Schwierigkeitsgrad einer "Augmented Feedback"-Übung manuell an die Fähigkeiten des Patienten anzupassen. Obwohl sich Patienten mit steigendem Schwierigkeitsgrad auch mehr anstrebten, nahmen sie eine Verschlechterung ihrer Leistung wahr. Diese führte zu zunehmender Frustration. Um die Möglichkeit einer Reduktion des Engagement zu verhindern, sollten "Augmented Feedback"-Übungen deshalb in der Lage sein, ihren Schwierigkeitsgrad selbständig anzupassen. Ich konnte erfolgreich einen automatisch adaptiven Algorithmus validieren, welcher dies ermöglicht und leicht auf bereits bestehende als auch neue, zweidimensionale "Augmented Feedback"-Übungen für die oberen Extremitäten angewendet werden kann.

Bezüglich den restlichen Eigenschaften von "Augmented Feedback"-Übungen, konnte ich verdeutlichen, dass es funktionelle, sinnvolle Reaktionen der Übungen auf die motorische Leistung der Patienten benötigt, um deren Engagement zu erhöhen. Keine signifikanten Einflüsse auf das Engagement der Patienten wurden jedoch bezüglich klaren Zielen, häufigem Leistungs-Feedback und kompetitiven Situationen gefunden. Den Effekt von einstellbaren visuellen Stimuli auf das Engagement wurde in dieser Arbeit nicht untersucht und sollte daher Bestandteil von weiteren Studien sein.

In Bezug auf das multidimensionale Konstrukt von Engagement ziehe ich den Schluss, dass der kognitive Bestandteil von Engagement durch den Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe beeinflusst werden kann. Funktionelle, sinnvolle Reaktionen der Übungen auf die motorische Leistung der Patienten hingegen, steigern den Anteil an physischem Engagement. Obwohl der emotionale Bestandteil von Engagement nicht direkt untersucht wurde, zeigten die Patienten verschiedene Präferenzen und Erwartungen bezüglich den entwickelten "Augmented Feedback"-Übungen. Diese bezogen sich nicht nur auf den visuellen Aufbau der virtuellen Welten, sondern auch auf die Aufgaben welche diese beinhalteten. Wenngleich keine signifikanten Effekte bezüglich klaren Zielen, häufigem Leistungs-Feedback und kompetitiven Situationen gefunden wurden, könnten diese dennoch einen potenziellen Einfluss auf das individuelle, emotionale Engagement der Patienten haben.

Zum Schluss möchte ich ermutigen, dass weitere Studien, welche den Effekt von verschiedenen Eigenschaften von “Augmented Feedback”-Übungen auf das Engagement der Patienten untersuchen, durchgeführt werden. Einige Aspekte diesbezüglich werden deshalb im “Outlook”-Teil dieser Dissertation genauer diskutiert.