



Doctoral Thesis

Using virtual reality as a home-based stroke rehabilitation approach

Author(s):

Wüest, Seline

Publication Date:

2015

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010546679> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

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. 22848

USING VIRTUAL REALITY AS A HOME-BASED STROKE REHABILITATION APPROACH

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

presented by
SELINE WÜEST
MSc ETH in HMS

born on 01-02-1985
citizen of Grosswangen (Lucerne)

accepted on the recommendation of
PD Dr. Eling D. de Bruin
Prof. Dr. David P. Wolfer

2015

Summary

Stroke is considered as one of the main causes of acquired adult disability. In the majority of cases, stroke causes hemiparesis and, hence, diminished balance and walking ability. Locomotor function deficits are often considered by stroke patients as a primary reason for decreased quality of life. Therefore, recovery of walking is a major focus in almost all rehabilitation efforts for stroke victims. Stroke rehabilitation in hospitals or specialized rehabilitation units is expensive. As the number of stroke patients continues to increase, there is a pressure to reduce the treatment duration in specialized stroke facilities. Home-based stroke rehabilitation represents a less costly approach and, therefore, a promising tool to support rehabilitation on a long-term basis.

Indications exist that virtual reality technology has the potential to promote motor recovery in rehabilitation. However, videogames that have been originally developed for the leisure industry are not optimally suited for therapeutic purposes. Specific gaming functionalities (i.e., game difficulty level adaptation, continuous monitoring of the patient, real-time feedback) needed for providing beneficial rehabilitation situations for intensive home-based therapy rehabilitation are lacking. Moreover, for creating motivating rehabilitation games, it is crucial to explicitly consider game design principles (i.e., meaningful play, flow theory and sense of presence). These game design principles might be largely responsible for eliciting attractive gameplay scenarios which, in turn, are presumably fundamental for prolonged rehabilitation adherence. All those gaming characteristics, described in more detail in **Chapter 2**, are considered to provide beneficial and engaging rehabilitation conditions in a safe and controlled environment.

Rehabilitation games must be embedded in a well-elaborated therapy program so that continuous motor function progress becomes possible. However, to date, no simple and feasible concept is available that facilitates the development of a therapy program consistent with widely accepted motor learning principles and theories. Specifically, there is a need for an adequate template which allows the development of a gradually progressing therapy program including task-specific and variable exercises. In this doctoral thesis, Gentile's taxonomy, described in more detail in **Chapter 3**, was considered as such a template. It demonstrates a classification system that categorizes motor skills based on a 4x4-table according to two basic dimensions (i.e., *environmental context* and *action function*). Concretely, 16 categories to classify motor skills are defined; each of those described by unique features. The 16 skill

categories are positioned in such a way that seven levels of difficulty are distinguishable. This structure allows a skill category-based progression and challenging rehabilitation situations at any point in time during rehabilitation.

Virtual reality has been shown to be a valuable and flexible technology for tailoring rehabilitation exercises based on Gentile's taxonomy.

Given the importance of walking recovery post-stroke, the research question dealt with in **Chapter 4** was whether the virtual reality-based approach would be usable and effective in improving individuals' gait and balance. In order to provide preliminary results, a pilot project was applied in healthy elderly and the usability tested. The study included a tri-weekly balance training program performed for 12 weeks. The first objective of the study was to determine the usability of the intervention based on newly developed interactive rehabilitation games. The findings revealed a high level of acceptance and a good adherence rate and, furthermore, that the participants' perceived the virtual reality-based treatment program as usable and motivating. The second objective was to evaluate the effectiveness of the intervention. The results of the pre- and post-comparisons revealed statistically significant changes in the Berg Balance Scale, the 7-m Timed Up and Go test and the Short Physical Performance Battery. It is therefore concluded that the virtual reality-based intervention positively influenced gait- and balance-related physical performance measures.

For adequately evaluating the effectiveness of a rehabilitation program and tailoring the treatment method to the patients' individual requirements, an accurate assessment of physical functioning is of great importance. The study presented in **Chapter 5** evaluated an instrumented method of the Timed Up and Go test (iTUG) using inertial sensors. The purpose of this study was to estimate the test-retest reliability and validity of iTUG-based gait and transition metrics in stroke patients and healthy elderly. The results revealed that the majority of the iTUG metrics measured showed excellent test-retest reliability. Moreover, the iTUG has shown to be able to distinguish stroke patients from healthy age-matched elderly controls.

The present doctoral thesis emphasizes that virtual reality technology has great potential to provide beneficial conditions for home rehabilitation. However, it is not entirely settled whether the virtual reality-based rehabilitation approach can be practically implemented in patients' home environments and easily be used independently by stroke-affected individuals. Furthermore, its actual clinical effect on

motor performance (e.g., walking) among stroke victims is still uncertain. These open questions provide an incentive for further research to foster the development of effective at-home rehabilitation following stroke.

Zusammenfassung

Der Schlaganfall gilt als eine der Hauptursachen einer erworbenen Behinderung im Erwachsenenalter. Nach einem Schlaganfall kommt es in den meisten Fällen zu einer Hemiparese und einhergehend zu einer verminderten Gleichgewichts- und Gehfähigkeit. Eine beeinträchtigte Fortbewegungsfunktion nehmen die betroffenen Menschen häufig als eine der wichtigsten Gründe für eine Einbusse an Lebensqualität wahr. Die Wiederherstellung und Verbesserung der Gehfähigkeit hat deswegen in der Schlaganfallrehabilitation eine hohe Priorität. Die Rehabilitation in spezialisierten Zentren ist jedoch mit hohen Behandlungskosten verbunden. Da die Zahl an Schlaganfallpatienten stetig ansteigt, erhöht sich der Druck nach einer Einschränkung der Behandlungsdauer in spezialisierten Einrichtungen. Ein Rehabilitationsprogramm für zu Hause stellt eine kostensparende Möglichkeit für eine Therapie auf langfristiger Basis dar. Sie gewinnt deshalb zunehmend an Bedeutung.

Hinweise existieren, dass durch die Verwendung von virtueller Realität die motorische Rehabilitation begünstigt werden kann. Zu anerkennen ist aber, dass sich Videogames aus der Unterhaltungsbranche für den therapeutischen Einsatz nicht optimal eignen. Es fehlt ihnen an spezifischen Eigenschaften (Anpassung der Schwierigkeitsstufe, Monitoring des Patienten, Feedback-Funktion), um optimale Rehabilitationsbedingungen für zu Hause zu gewährleisten. Des Weiteren ist entscheidend, dass die Videogames nach bewährten Game-Design-Richtlinien (,meaningful play', ,flow theory', ,sense of presence') konzipiert sind. Es wird angenommen, dass durch die Berücksichtigung der Game-Design-Richtlinien faszinierende Szenarien geschaffen werden, was eine langfristige Aufrechterhaltung der Rehabilitation unterstützt. All diese Charakteristiken (beschrieben in **Kapitel 2**) werden als wichtig erachtet, um förderliche und spannende Rehabilitationsbedingungen in einer sicheren und kontrollierten Umgebung zu ermöglichen.

Videogames sollen für den therapeutischen Gebrauch in ein gut ausgearbeitetes Therapieprogramm eingebettet sein, um möglichst optimale Fortschritte zu erreichen. Bis heute konnte sich noch kein Konzept etablieren, welches die Ausarbeitung eines Therapieprogramms – übereinstimmend mit motorischen Lernprinzipien und Theorien – unterstützt. Entsprechend ist ein Konzept erwünscht, um ein progressives Rehabilitationsprogramm zu definieren, das sich durch aufgabenspezifische und variable Übungen auszeichnet. In der vorliegenden Doktorarbeit wird Gentile's Taxonomie (beschrieben in **Kapitel 3**) als ein dafür sich eignendes Konzept beurteilt. Gentile's Taxonomie beschreibt ein

Klassifikationssystem, basierend auf einer 4x4-Tabelle, um motorische Fertigkeiten zu kategorisieren. Es werden zwei grundlegende Dimensionen berücksichtigt: *Anforderungen der Umwelt* und *Funktion der Aktion*. Die beiden Dimensionen sind jeweils in zwei Komponenten unterteilt, so dass sich eine Taxonomie mit 16 Kategorien ergibt. Jede dieser 16 Kategorien weist einen spezifischen motorischen Fertigungscharakter auf und grenzt sich dadurch von den anderen ab. Die Taxonomie vermag deshalb variable Übungen zu bieten. Die Anordnung der 16 Kategorien ermöglicht eine Einteilung gemäss derer Komplexität, woraus sieben Schwierigkeitsstufen resultieren. Es bietet sich ein strukturierter Rehabilitationsverlauf von einfachen zu schwierigen Übungen.

Durch die Verwendung von virtueller Realität lassen sich Rehabilitationsübungen entsprechend der Taxonomie von Gentile definieren.

Angesichts der Bedeutung, die Gehfunktion von Schlaganfallpatienten zu optimieren, wurde in **Kapitel 4** die Benutzbarkeit und der Effekt eines virtuell-realitätsbasierten Rehabilitationsprogramms zur Förderung der Gleichgewichts- und Gehfähigkeit untersucht. In einer Pilotstudie absolvierten gesunde Senioren dreimal pro Woche ein Gleichgewichtstraining über eine Zeitspanne von 12 Wochen. Das primäre Ziel der Studie war, die Benutzbarkeit der virtuell-realitätsbasierten Intervention zu ermitteln, welche den Einsatz von neu entwickelten interaktiven Videogames gewährte. Die Resultate zeigten eine hohe Akzeptanz und Adhärenz. Zudem wurde erkannt, dass die Probanden die virtuell-realitätsbasierte Intervention als benutzbar und motivierend beurteilten. Des Weiteren verfolgte die Studie das Ziel, die Effektivität der Intervention zu erfassen. Ein Prä- und Post-Vergleich ergab signifikante Veränderungen hinsichtlich folgenden Tests: ‚Berg Balance Scale‘, ‚7-m Timed Up and Go‘ und ‚Short Physical Performance Battery‘. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die virtuell-realitätsbasierte Intervention einen positiven Effekt auf Gleichgewichts- und Gehfähigkeits-bestimmende Parameter bewirkt.

Die Effektivitätsbestimmung und Anpassung eines Rehabilitationsprogramms an individuelle Erfordernisse bedarf präzise Messmethoden. In der Studie (präsentiert in **Kapitel 5**) wurde eine instrumentalisierte Methode des ‚Timed Up and Go‘-Tests (iTUG) unter Verwendung von Inertialsensoren evaluiert. Das Ziel der Studie war, die Zuverlässigkeit und die Validität von iTUG-Parametern bei Schlaganfallpatienten und gesunden Senioren zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen eine hohe Zuverlässigkeit für die Mehrheit der erhobenen iTUG-Parameter. Zudem

zeigte sich der iTUG als fähige Methode, um Schlaganfallpatienten von gesunden, gleichaltrigen Senioren zu unterscheiden.

Die vorliegende Doktorarbeit unterstreicht das grosse Potential, welches die Verwendung von virtueller Realität hinsichtlich förderlicher Massnahmen einer Rehabilitation für zu Hause aufweist. Es ist allerdings noch unklar, ob sich die virtuell-realitätsbasierte Methode praktisch zu Hause umsetzen lässt und sich für die selbstständige Durchführung durch Schlaganfallpatienten eignet. Zudem ist die klinische Wirksamkeit hinsichtlich motorischer Leistungsfähigkeiten (z.B. der Gehfähigkeit) bei Schlaganfallpatienten noch ungewiss. Diese offenen Fragen stellen eine Legitimation für weitere Forschung dar, um die Entwicklung von effektiven Schlaganfall-Rehabilitationsmassnahmen für zu Hause voran zu treiben.