

Abschlussbericht für den Förderverein für HSP-Forschung e.V. zum Projekt:

Die digitale Signatur des spastischen Gangbildes: Selbstlernende Algorithmen zur Berechnung von klinisch relevanten Gangparametern

PD Dr. phil. Heiko Gaßner

Malte Ollenschläger, Dr. Martin Regensburger, Prof. Dr. Jürgen Winkler

Zentrum für Seltene Bewegungsstörungen

Molekulare Neurologie, Universitätsklinikum Erlangen, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Durch die Unterstützung des Fördervereins für HSP-Forschung konnten wir im Projektzeitraum erhebliche Fortschritte bezüglich der digitalen Signatur des spastischen Gangbildes verzeichnen. Nachfolgend geben wir zunächst einen Überblick über die Ergebnisse dieses Projekts. Auf den folgenden Seiten berichten wir detaillierter über den Projektfortschritt seit dem letzten Zwischenbericht vom 30.09.2021.

Ziel I

Erstes Ziel dieses Projektes war die Entwicklung einer automatisierten Extraktion eines klinisch- und alltagsrelevanten digitalen Gangparameters zur Signatur des spastischen Gangbildes. Dies ist uns mit der Entwicklung eines Algorithmus zur Klassifizierung der Fußheberschwäche gelungen. Damit kann diese kontinuierlich abgebildet werden, beispielsweise im Home-Monitoring. Weiterhin stellt diese Analyse einen Ausgangspunkt für ein "closed loop" System dar, welches in Echtzeit die Fußheberschwäche analysiert und diese mittels Muskelstimulation korrigiert.

Ziel II

Weiterhin hatte dieses Projekt zum Ziel, automatisierte Algorithmen zur Ganganalyse für den Einsatz außerhalb der Klinik zu entwickeln. In einer Pilot-Studie zum Home-Monitoring haben wir den Verlauf von Gangparametern innerhalb eines Tages sowie im Verlauf mehrerer Tage untersucht. Durch die Weiterentwicklung unseres KI-Algorithmus basierend auf statistischen Modellen ist es nun möglich, Gangparameter automatisiert im Heimumfeld zu analysieren. Die Ergebnisse zeigen die Relevanz einer kontinuierlichen Erhebung von Gangparametern für eine ganzheitliche Bewertung des Gangbildes bei HSP Patienten im Vergleich zur Momentaufnahme in der Klinik. Dies ist näher in Abschnitt 2 beschrieben.

Ziel III

In einem dritten Schritt sollte ein Programm (grafische Nutzeroberfläche) erstellt werden, wodurch die Extraktion von Gangparametern mittels KI in einem einfachen Prozess für Personen aus Gesundheitsberufsgruppen (Pflege, Physiotherapie, Sportwissenschaft, Medizin) und Patient:innen ermöglicht wird. Dies ist uns in einem Prototyp gelungen, der im Klinikumfeld getestet, geschult und implementiert wurde. Perspektivisch führt dies zu einer Verbesserung der Gesundheitskompetenz von Betroffenen und damit zu einer besseren Einbindung in den Behandlungsprozess. Details hierzu finden sich in Abschnitt 3.

Um die entwickelten Algorithmen für Therapeut:innen und Patient:innen nutzbar zu machen, müssen in einem nächsten Schritte die entwickelten Algorithmen in die grafische Nutzeroberfläche überführt werden. Zusätzlich muss die Genauigkeit der Algorithmik zur Fußheberschwäche erhöht werden.

1. Fußheberschwäche automatisiert messbar

Im vorangegangenen Bericht haben wir vorläufige Ergebnisse bezüglich der Quantifizierung der Fußheberschwäche gezeigt. Das Ziel hierbei ist die Nutzung von tragbaren Sensoren zur automatisierten Einordnung von Patient:innen in eine der Gruppen „keine“, „leichte“, oder „starke“ Fußheberschwäche.

Hierzu haben wir Gangdaten von 32 Patient:innen mittels tragbarer Sensoren und Video aufgenommen. Drei Ganganalyse-Expert:innen haben anhand der Videoaufnahmen der Gangtests die Einordnung in die oben genannten Gruppen vorgenommen. Diese bilden konsensuelle die Grundlage für die klinische Annotation. So entsteht eine Annotation pro Gangtest, von welcher der Algorithmus "lernt" zu klassifizieren.

Mithilfe dieser Daten haben wir die im vorangegangenen Bericht beschriebene Algorithmik weiter trainiert und auf weitere Verfahren des maschinellen Lernens ausgeweitet. Hiermit gelingt uns derzeit, die **Genauigkeit des Algorithmus nochmals von 70% auf nun 80%** zu erhöhen. Damit liegt der Algorithmus im Bereich der Klassifikationsgenauigkeit einzelner Ganganalyse-Experten.

Um die Klassifikationsgenauigkeit noch weiter zu erhöhen, planen wir in Zukunft detailliertere Annotationen einzusetzen. Dazu soll ein optisches, Marker-basiertes Verfahren genutzt werden, welches die Bewegungen der Patient:innen im Laborumfeld im Submillimeter-Bereich aufzeichnet. Hierdurch wird es möglich, noch genauere Annotationen zu erstellen, sowie einzelne Schritte zu analysieren. Auf ein solches Marker-basiertes System können wir dank unserer engen Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für integrierte Schaltungen (IIS) zurückgreifen.

Zur perspektivischen Nutzung des Parameters der Fußheberschwäche verweisen wir auch auf den vorangegangenen Bericht. **Unter anderem lässt sich dieser Parameter nutzen, um die Effekte einer Botulinumtoxin A- oder Physiotherapie-Behandlung in Bezug auf das Gangbild zu analysieren. Damit rückt eine personalisierte Therapie für Patient:innen in greifbare Nähe.** Außerdem wird es möglich, durch die beschriebene Vorgehensweise weitere krankheits-spezifische Gangparameter zu analysieren, zum Beispiel den Scherengang als Ausdruck der Spastizität. Hierzu ist es nötig, einen neuen Algorithmus mit der bereits bestehenden Infrastruktur zu trainieren.

2. Home-Monitoring zeigt Tageszeit- und Wochenverlauf der Gangparameter

Im Rahmen dieses Projekts haben wir eine Pilotstudie zum Home-Monitoring durchgeführt. Diese umfasste fünf Patient:innen, deren Gangbild mittels unseres mobilen Systems im Alltag aufgezeichnet wurde. Insgesamt beläuft sich die Datenmenge auf 840 h Aufnahmezeit, inklusive mehrerer Gangtests pro Tag. Bisher konnten wir die Gangdaten von drei Patient:innen in einem zeitintensiven manuellen Verfahren auswerten. In der Gesamtübersicht, Abbildung 1, ist erkennbar, dass die Gangparameter je nach Patient:in im Aufnahmezeitraum intra- und inter-individuell stark schwanken. Die klinische Relevanz wird insbesondere für Patientin 3 deutlich: an Tag 1 und Tag 15 wurden Gangparameter in der Bewegungsambulanz aufgezeichnet. Wären lediglich diese beiden Messungen verfügbar, würde der Eindruck entstehen, dass die Variabilität der Gangparameter zwischen verschiedenen Tagen gering ist (<10%). Bezieht man jedoch die Gangparameter ein, die während des Home-Monitorings erhoben wurden, ist erkennbar, dass der Schwankungsbereich deutlich höher ist (ca. 30%). Hierdurch wird deutlich, dass das Home-Monitoring einen besseren Eindruck von der Mobilität der Patientin liefert. **Die gesamtheitliche, patientenzentrierte Erfassung der Gangparameter im Tagesverlauf, könnte zukünftig relevant sein, um ein "real world" Bild über Therapieeffekte für den Alltag von**

Patient:innen zu erstellen und therapeutisch angebar zu machen. Somit ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu individualisiertem Monitoring und hin zur individualisierten Therapie erreicht worden.

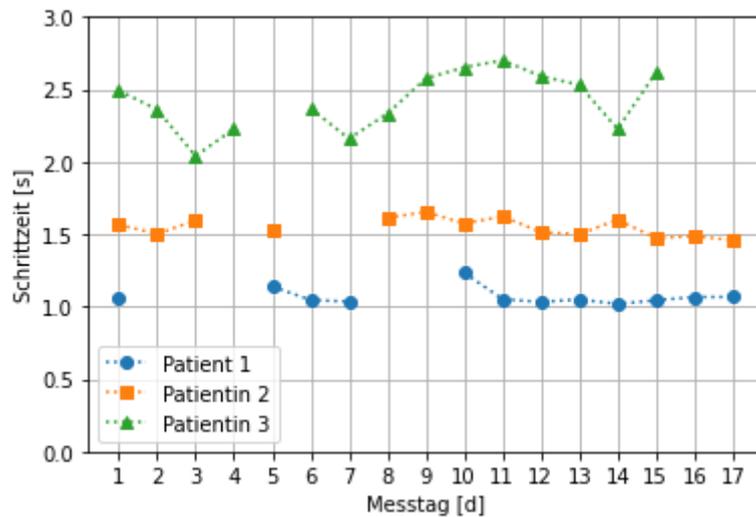


Abbildung 1: Änderung der Schrittzeit über mehrere Tage.

Weiterhin konnten wir feststellen, dass die Gangparameter sich auch innerhalb des Tages unterscheiden. Der Anteil der Schwungphase am Gangzyklus war bei allen Patient:innen mittags am höchsten. Bei Patient 1 war dieser Anteil abends am geringsten, was darauf deuten lässt, dass der Gang unsicherer wurde. Im Gegenteil dazu ist bei Patientin 2 der Anteil der Schwungphase am Gangzyklus morgens am geringsten. Dies deutet auf individuelle Tagesverläufe und ist ein weiterer Baustein auf dem Weg zu einer individuell auf einzelne Patient:innen angepassten Therapie.

Weiterhin haben wir wichtige Fortschritte in Bezug auf den Algorithmus zur Detektion und Annotation einzelner Schritte im Sensorsignal erzielt. Wie bereits im vorangegangenen Bericht erwähnt, ist hier das Ziel den Algorithmus in eine kostenfreie Programmiersprache umzuwandeln, sodass er auf einfache Weise mit einer grafischen Nutzeroberfläche genutzt werden kann. Im Rahmen einer universitären Abschlussarbeit wurde der im letzten Bericht erwähnte Algorithmus auf das Gangbild der HSP angepasst. Hierzu wurden in den vergangenen Jahren aufgenommene Gangdaten aus unserer Arbeitsgruppe genutzt, welche **in der Klinik** aufgezeichnet wurden. Auf diesen erzielte der Algorithmus bezüglich der automatisierten Detektion von Schritten eine **Genauigkeit von 80%**.

Weiterhin haben wir die Performanz des Algorithmus auf Gangdaten aus dem **täglichen Leben** einiger Patient:innen getestet. Zunächst wurden alle Schritte manuell im Sensorsignal markiert, wobei die im letzten Bericht erwähnte grafische Nutzeroberfläche zum Einsatz kam. Anschließend haben wir verglichen, wie viele der manuell markierten Schritte vom Algorithmus detektiert wurden und können eine Klassifikationsgenauigkeit (sogenannter F1-Wert) von 40% berichten. Für die schwächere Performanz gegenüber dem Klinikdaten sorgten einerseits die Tatsache, dass die für das Home-Monitoring inkludierten Teilnehmenden stärkere Einschränkungen des Gangbildes aufwiesen. Andererseits sind die Anforderungen an eine Ganganalyse im häuslichen Umfeld komplexer, da die Sensorik auch viele andere Aktivitäten und andere Gangszenarien aufzeichnet, welche zu fehlerhafter Schrittdetektion führen. Dies zeigt, dass weitere Entwicklungsschritte erforderlich sind, bevor Gangsignale außerhalb von standardisierten Gangtests im täglichen Leben zuverlässig detektiert werden können.

Zusätzlich haben wir den Algorithmus so weiterentwickelt, dass spezifische Gangereignisse, zum Beispiel der Moment des Fußabhubs oder Fußaufsatzes, detektiert werden können. Hierzu haben wir drei verschiedene Algorithmen implementiert und werden analysieren, welcher dieser Algorithmen für das Gangbild bei HSP am besten geeignet ist.

Sofern einer dieser Erkennungsalgorithmen sensitiv, rigide und spezifisch ist, können wir die derzeitige, sehr komplexe und zeitintensive „manuelle“ Analyse überwinden. Außerdem würde es uns ermöglichen, die Algorithmen und die von uns entwickelte grafische Nutzeroberfläche einzubinden. Diese Kombination erhöht entscheidend den Grad der Aufzeichnungs- und Umsetzungseffizienz für Forscher:innen, Behandler:innen, und später für Betroffene.

3. Grafische Nutzeroberfläche schafft Raum für Forschungsarbeit

Neben den berichteten Fortschritten bezüglich der Entwicklung von Algorithmen, haben wir die grafische Nutzeroberfläche weiterentwickelt. Diese Nutzeroberfläche soll es Personen aus Gesundheitsberufsgruppen (Pflegepersonal, Physio- und Sporttherapeut:innen, Neurolog:innen, klinische Forscher:innen) ermöglichen, die aktuellen Algorithmen in Bezug auf Ganganalyse bei HSP selbst zu nutzen. Derzeit sind sie hierfür auf die Unterstützung eines Medizintechnik-Ingenieurs angewiesen und die notwendigen Arbeitsabläufe sind komplex und langwierig. Durch eine grafische Nutzeroberfläche werden diese Prozesse stark vereinfacht.

In einer Studie haben wir die Oberfläche getestet und stellen fest, dass die **Bedienbarkeit** für Personen aus Gesundheitsberufsgruppen bezüglich der Ganganalyse besser ist als bisher verfügbare Nutzeroberflächen. Außerdem konnten wir zeigen, dass unsere Nutzeroberfläche einerseits von anderen Entwicklern **leicht erweitert** werden kann (2x bis 4x schneller als andere verfügbare Nutzeroberflächen). Dies ist wichtig, damit auch in Zukunft entwickelte Algorithmen den Personen aus Gesundheitsberufsgruppen verfügbar gemacht werden können. Über die Studie hinaus wurde die Nutzeroberfläche und ihre Bedienbarkeit in der Klinik getestet, geschult und implementiert, sodass die Nachverarbeitung der Ergebnisse des aktuellen Algorithmus vereinfacht erfolgen kann. Insgesamt wird dies die **Zeitspanne verkürzen**, in der neu entwickelte Algorithmen für die klinische Versorgung zur Verfügung stehen und die klinischen Abläufe vereinfachen.

Veröffentlichung der Ergebnisse

Die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse werden allen Forschenden zur Verfügung gestellt. Derzeit arbeiten wir an einem Manuskript, um die Algorithmik zur automatisierten Messung der Fußheberschwäche zu veröffentlichen. Dieses Manuskript wird von unserer Arbeitsgruppe mit Malte Ollenschläger als Erstautor bei einer anerkannten Fachzeitschrift dieses Forschungsgebiets veröffentlicht.

Die in diesem Projekt erstellte Nutzeroberfläche ist bereits öffentlich verfügbar¹. Darüber hinaus werden wir diese Nutzeroberfläche sowie die Ergebnisse ebenfalls in einer Fachzeitschrift veröffentlichen, sodass auch andere Arbeitsgruppen davon profitieren können.

Zusammenfassung

In diesem Projekt wurden wichtige Fortschritte entlang der Translations- und Transformationskette eines Ganganalysesystems bei HSP, von der Datenaufzeichnung bis zur klinischen Auswertung der Ergebnisse gemacht. Die Fortschritte bezüglich der automatisierten Messung der Fußheberschwäche bedeuten für Patient:innen, dass ihren Behandler:innen wichtige, klinisch komplementäre, objektive

¹ <https://mad-gui.readthedocs.io/en/latest/README.html>

biomechanische Parameter zur Verfügung stehen, um beispielsweise die Effekte einer Botulinumtoxin A- oder Physiotherapie-Behandlung in Bezug auf das Gangbild zu analysieren. Damit rückt die Optimierung einer individuell abgestimmten Therapie in greifbare Nähe. Außerdem können die zusätzlichen digitalen Gangparameter dazu genutzt werden, Patient:innen und Behandler:innen kontinuierliche Rückmeldungen zu geben, auch im „Home-Monitoring“ bezüglich der Fußhebung und - noch wichtiger - der Sturzgefahr. Die Entwicklung der grafischen Nutzeroberfläche ermöglicht Ärzt:innen eine schnellere Analyse, wodurch mehr Zeit für die Entwicklung hin zu einer individuellen Therapie zur Verfügung steht. Außerdem ermöglicht die Nutzeroberfläche Patient:innen perspektivisch, die analysierten Gangparameter direkt zu Hause zu ermitteln und zu visualisieren, sowie bei Bedarf dem Behandlungsteam zu übermitteln, ohne dass die Daten im Voraus in der Klinik analysiert werden müssen.

Die Ergebnisse aus diesem Projekt stellen nicht nur wichtige Ergebnisse für die beschriebenen Ziele dar, sondern legen auch die Basis für weitere Forschungsansätze, insbesondere im Bereich des personalisierten Monitorings des Gangbildes und der Therapie bei HSP-Patient:innen.