

Gerätegestütztes sensomotorisches Training der plegischen Finger nach Schlaganfall

S. Hesse¹, H. Kuhlmann², J. Wilk², C. Werner², P. Henning², A. Bardeleben²

¹Medical Park Bad Rodach, ²Klinik Berlin, Abteilung Neurologische Rehabilitation, Charité, Berlin

Zusammenfassung

Vorgestellt wird ein neuer Fingertrainer, REHA-Digit, zur sensomotorischen Rehabilitation der plegischen Finger nach Schlaganfall. Er greift eine Entwicklung des Kollegen *Dillo* aus Hannover auf und besteht aus einer angetriebenen Nockenwelle, die die Finger II bis IV zeitversetzt hebt und senkt. Zusätzlich zur damit verbundenen propriozeptiven Reizung erfolgt eine Stimulation der Oberflächensensibilität mittels der taktil dynamischen Reizung der Fingerbeere (Meissner-Körperchen) und einer Vibration (Paccinische Körperchen) im Bereich von 0–50 Hz. Letztere sollte auch über die bevorzugte Anregung der Ia-Afferenzen (tonischer Vibrationsreflex) die Muskulatur des Armes stärken. Zwei vorgestellte Kasuistiken weisen auf eine Minderung der Fingerspastik chronischer und eine Unterstützung der Handrehabilitation akuter, schwer betroffener Patienten. Klinische Studien sind gefordert.

Schlüsselwörter: Schlaganfall, Armparese, Fingertrainer, Roboter

Equipment-mediated sensorimotor training of the plegic fingers after stroke

S. Hesse, H. Kuhlmann, J. Wilk, C. Werner, P. Hennig, A. Bardeleben

Abstract

The article presents a new finger trainer, REHA-Digit, for the sensorimotor rehabilitation of the plegic finger after stroke. It is based on a development of *Dr. Dillo*, Hannover, and consists of a powered cam shaft, which moves the finger II–V asynchronously. In addition to the proprioceptive stimulation, the device offers a tactile dynamic stimulation of the finger tips (Meissner organs) and a vibration (Paccini corpuscles) in a range of 0–50 Hz. The latter may also help to strengthen the paretic upper limb muscles by its stimulation of the Ia-afferents (tonic vibration reflex). Two case reports hint at the potential of the device to lessen the muscle tone of the fingers in chronic and to promote the hand rehabilitation in acute, severely affected patients. Clinical trials are mandatory.

Key words: stroke, arm paresis, finger trainer, robotics

© Hippocampus Verlag 2008

Einleitung

Jährlich erleiden ca. 200.000 Patienten in Deutschland einen Schlaganfall [10]. Bei ca. 30% der überlebenden Patienten sind die Finger vier Wochen nach dem Ereignis noch plegisch. Deren Rehabilitation ist personalintensiv und zunächst auf passive Bewegungen, Fazilitation und Förderung der Sensibilität beschränkt. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist die Prognose hinsichtlich der Wiederherstellung einer Hand-Fingerfunktion sechs Monate später sehr ungünstig. [6, 11]

Ein neuer Ansatz in der Rehabilitation der schwer betroffenen oberen Extremität ist der Einsatz von Geräten, sei

es Robotern oder einfachen mechanischen Geräten, die die Therapie intensivieren helfen [7]. Die meisten Geräte erlauben Bewegungen im Schulter-Ellenbogengelenk oder der gesamten Hand, die Fingerbewegungen werden dagegen meist ausgespart. Dies liegt zum einen an der gängigen Überlegung, dass die Rehabilitation der schwer betroffenen oberen Extremität proximal beginnen müsse, zum anderen an der mehrdimensionalen Fingerbewegung, die einen extremen technischen Aufwand bedeutet, wollte man denn jeden Finger einzeln mehrgelenkig bewegen. Eine deutsche Gruppe der TU Berlin und eine österreichische der Universität Graz [9, 18] sind diesen Lösungsweg gegangen. Die Kuppe eines jeden Finger ist in einem Schlitten fixiert,

und separate Antriebe erlauben eine sagittale Bewegung im proximalen und distalen Interphalangealgelenk und im Grundgelenk. Natürlich korreliert die Anzahl der Antriebe mit den zu erwartenden Kosten des noch nicht kommerziell angebotenen Systems.

Ausgehend von der Bedeutung der Finger (wir begreifen Dinge), deren großer kortikaler Repräsentation sowohl im motorischen als auch sensorischen Kortex (siehe Homunculus), und jüngsten Überlegungen, die Rehabilitation der schwer betroffenen Extremität nicht proximal, sondern distal zu beginnen [14], hat sich unsere Gruppe gleichfalls der Aufgabe gestellt, einen Fingertrainer zu entwickeln. Budgetbeschränkungen erlaubten nur einen Antrieb, des Weiteren sollte der Bedeutung der Sensorik für die Handfunktion Rechnung getragen werden, d.h. es sollte ein Gerät zur integrierten sensomotorischen Rehabilitation entwickelt werden. Das Gerät und erste klinische Beispiele werden vorgestellt.

Der Fingertrainer REHA-Digit

Eine Patentrecherche lenkte unsere Aufmerksamkeit auf eine Patentschrift des Kollegen *Dillo* aus Hannover [4], der bereits Mitte der 90er Jahre einen Fingertrainer vorgestellt hatte. Er hatte die Finger auf einer angetriebenen Nockenwelle mit vier Holzrollen gelagert, deren exzentrische Bewegung die Finger asynchron bewegte, Streckung und Beugung wechselten sich für jeden Finger ab. Bei ausbleibender kommerzieller Umsetzung wurde das Projekt trotz positiver klinischer Ergebnisse jedoch nicht weiter verfolgt. Unsere Gruppe griff diese Idee erneut auf und entwickelte das Gerät REHA-Digit (Abb.1). Es besteht aus einer Nockenwelle mit vier exzentrischen Rollen für die Finger II–V. Die Rollen sind konkav, um ein Abrutschen der Finger zu verhindern. Die Position jeder einzelnen Rolle auf der Welle kann je nach Fingerform und gewünschtem Bewegungsausmaß eingestellt werden, indem der Drehgriff am antriebsfernen Teil der Welle gelöst, die gewünschte Position eingestellt und der Griff wieder angezogen wird. Die Finger werden mithilfe der ebenfalls konkaven kleineren Gegenrollen gesichert, die sich mithilfe von Federn an die Finger anschmiegen. Der Unterarm wird mittels einer Schaumstoffauflage positioniert. Der Daumen wird nicht bewegt. Damit er nicht in die Nocke hineintrutscht und die Finger II–V eine optimale Trainingsstellung haben, positioniert man den abduzierten Daumen unter der verschiebbaren Abstandsstange. Das Gerät wird durch einen Gleichspannungsmotor, 24 V (Planetengetriebe und Rutschkupplung) angetrieben, er leistet 1–30 Umdrehungen pro Minute. Das Gerät ist auf einer Arbeitsplatte montiert, die wiederum auf einer Grundplatte mit einem Abstand von 11 cm steht. Im Zwischenraum sind Teile des Antriebsmotors seitlich und unmittelbar unter der Nockenwelle zusätzlich ein Vibrator untergebracht. Die Frequenz der Vibration kann durch einen Regler stufenlos von 0 bis 200 Hz eingestellt werden. Optional können Streifen z. B. mit Noppen oder rauer Oberfläche zwecks Intensivierung

der taktilen Stimulation in die Rollen eingeklebt werden. Das Gewicht des portablen Geräts beträgt 7 kg, die Gesamtdimensionen sind 35 x 22 x 19 cm. Zur Minderung der Erschütterungen des Therapietisches empfiehlt es sich, das Gerät auf einen weichen Untergrund (z. B. Dämmfolie, Verpackungsmaterial) zu stellen.

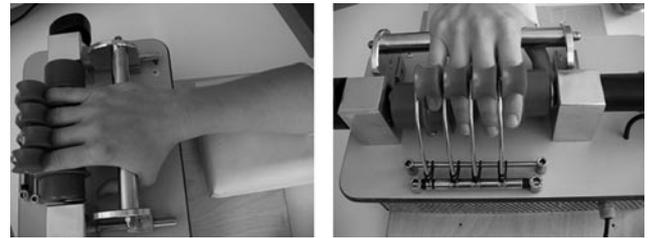


Abb. 1: Fingertrainer REHA-Digit für die asynchrone Bewegung der Finger II–V einschließlich einer taktil dynamischen Reizung der Fingerbeeren und einer Vibration

Das Gerät weist nach Rücksprache mit dem TÜV die folgenden Sicherheitsmerkmale auf: den Abstandshalter für den Daumen (siehe oben), auf der dem Patienten abgewandten Seite der Nocke eine Elektroleiste mit Kontaktschalter, der das Gerät sofort ausschaltet für den Fall, dass die Hand hineingezogen würde, eine Schutzabschaltung, falls der Antrieb spastikbedingt ein Drehmoment $>0,3$ Nm leisten muss, und ein für den Patienten erreichbarer Notstoppschalter.

Therapie

Nach Positionierung der Finger und des Unterarms wird das Gerät für 1–2 min angestellt, das Ausmaß der Fingerbewegung beurteilt und der Patient nach eventuellen Schmerzen befragt. Auch wird in dieser Zeit die für den Patienten angenehmste Umdrehungsanzahl und Vibrationsfrequenz ermittelt. Im Anschluss an eventuelle Korrekturen erfolgt eine 10 bis 15 min durchgehende Therapie einschließlich Vibration. Die meisten Patienten wählen um die 20 Umdrehungen (entsprechend 200 bis 300 Umdrehungen pro Therapieeinheit) und eine Vibrationsfrequenz <50 Hz. Potentielle Nebenwirkungen sind Schmerzen und Ödeme im Bereich der Hand und Finger, ein Wundscheuern der Fingerbeeren und Muskelschmerzen im Arm auf die Vibration hin.

Klinische Erfahrungen

Der antispastische Effekt beim chronischen Patienten

Ein 64-jähriger Patient hatte vor einem Jahr einen supratentoriellen Infarkt im Stromgebiet der A. cerebri media links erlitten. Der Patient war selbständig gehfähig und ADL-kompetent, eine motorische Aphasie schränkte die Kommunikation mäßig ein. Die Hand war weiterhin funktionslos und plegisch mit Ausnahme einer schwachen

Fingerflexion, MRC-Kraftgrad 2. Das Handgelenk und die Finger waren spastisch gebeugt, der modifizierte Ashworth Score (0–5), geprüft für die Extension, war einheitlich 3. Die Sensorik der Hand, geprüft für Berührung, Schmerz, Lagesinn und 2-Punktdiskrimination war unbeeinträchtigt. Bereits nach einmaliger 10-minütiger Therapie (die Vibrationsfrequenz war 25 Hz) mit dem REHA-Digit war eine deutliche Tonusminderung erkennbar, der modifizierte Ashworth Score betrug unmittelbar nach der Therapie 1 für die Finger und 2 für das Handgelenk, die Tonusminderung hielt ca. 20 min an. Die Therapie hatte der Patient als angenehm empfunden, lediglich zu Beginn hatte der in Rufweite verbleibende Therapeut einmalig die Fixierung des Handgelenks korrigieren müssen. Im Folgenden übte der Patient zweimal 15 min jeden Tag für drei Wochen nebenwirkungsfrei mit dem Gerät. Die jedes Mal zu beobachtende Tonusminderung verstetigte sich, so dass am Ende der dreiwöchigen Serie eine anhaltende Tonusminderung zu beobachten war, der modifizierte Ashworth-Score betrug 1 für die Finger und 2 für das Handgelenk. Die motorischen Funktionen hatten sich nicht wesentlich verändert, unter großer Anstrengung gelang es dem Patienten nunmehr, die Finger II und III minimal zu strecken.

Der Patient der Frührehabilitation

Ein 54-jähriger Patient hatte vor sechs Wochen einen supratentoriellen ischämischen Hirninfarkt mit Hemiparese links erlitten. Zwei Wochen nach Insult war die Rehabilitation begonnen worden, der Patient war inzwischen rollstuhlmobil, konnte selbst den Transfer leisten und mit Festhalten stehen. Ein initiales Neglect-Syndrom hatte sich schnell zurückgebildet, und auch die paretische obere Extremität machte Fortschritte, war aber unverändert funktionslos. Der Patient konnte die Schulter und den Ellenbogen (MRC-Kraftgrad 2–3) bewegen, unter Abnahme der Eigenschwere waren eine minimale Streckung im Handgelenk und für den Zeigefinger erkennbar, die Flexion aller Finger war gleichfalls angedeutet. Der Fugl-Meyer Score [17] der oberen Extremität als Maß der motorischen Kontrolle (0–66) betrug 20. Der Beugeonus der Finger war minimal erhöht (modifizierter Ashworth Score 1), die Sensorik war für die Qualitäten Berührung, Zwei-Punkt-Diskrimination und Lagesinn mäßig beeinträchtigt.

Der Patient übte 20 min jeden Werktag für vier Wochen mit dem Gerät, die Frequenz der Vibration wurde von Behandlung zu Behandlung in 15er-Schritten zwischen 30 und 90 variiert. Während der Behandlung wurde der Patient immer wieder darauf hingewiesen, die paretischen Finger anzuschauen und die Bewegung soweit als möglich zu unterstützen.

Der Patient äußerte sich positiv, es geschehe etwas mit seinen Fingern, in die allmählich mehr Leben und Funktion zurückkehrten. Nach Ende der Therapie konnte der Patient alle Finger selektiv beugen, den Daumen selektiv strecken und die Dig. II–V zusammen strecken (MRC-Kraftgrad 3). Die proximalen Funktionen hatten sich gleichfalls verbes-

sert, so dass der Patient die Hand als Haltehand (z. B. für das Brötchen oder die Zahnpastatube) einsetzen konnte, auch war er in der Lage, die Trainingshose nach dem Toilettengang mit der paretischen Hand hochzuziehen. Nicht möglich war es dem Patienten z. B., die Tube mit der paretischen Hand auf- und zuzudrehen. Der Fugl-Meyer Score hatte sich entsprechend von 20 auf 49 verbessert. Im Box & Block Test schaffte er nun acht Klötze innerhalb einer Minute umzusetzen. Die Sensorik war nicht mehr beeinträchtigt. Der Tonus der Fingerbeuger war unverändert gering gesteigert (modifizierter Ashworth Score 1). Relevante Nebenwirkungen waren nicht aufgetreten. Nachdem der Patient vermehrt im Hause ging, war ein Ödem des Handrückens aufgetreten, das während der Therapie mit dem REHA-Digit nicht zunahm. Lymphtherapie wurde erfolgreich eingesetzt.

Die konventionelle Rehabilitation setzte sich kontinuierlich fort, die Physio- (fünf Termine) und die Ergotherapie (drei Termine pro Woche) arbeiteten nach dem Bobath-Konzept, die Arm-Handrehabilitation nahm in etwa 15 % ein.

Diskussion

Konzeptionell liegen dem Fingertrainer REHA-Digit die folgenden Überlegungen zu Grunde: Die repetitive passive Bewegung der plegischen Finger und der damit verbundene propriozeptive Reiz sollte das Bewegungsgedächtnis aktivieren, vermutet werden kann eine Aktivierung des sensomotorischen Kortex zwecks Förderung der kortikalen Plastizität. Nach Untersuchungen an Gesunden mittels funktioneller Bildgebung geht eine passive Bewegung mit einer der aktiven vergleichbaren Hirnaktivierung im sensomotorischen Kortex einher [19]. Die Finger und insbesondere der Zeigefinger weisen die größte kortikale Repräsentation sowohl im primär motorischen als auch sensorischen Rindenfeld auf. Zur weiteren Unterstützung der kortikalen Plastizität sollte der Patienten sich auf die Bewegung der Finger konzentrieren und sie im Blick behalten. Der positive Effekt einer mentalen Unterstützung der Bewegung ist belegt [15].

Weiterer Vorteil einer wiederholten weichen Bewegung der Finger ist die Prävention bzw. die Therapie der Fingerbeugespastik, siehe auch die erste Fallbeschreibung des chronischen Patienten. Das Ausmaß der Fingerparese korreliert mit der Wahrscheinlichkeit der Entwicklung einer Hand- und Fingerspastik [16], indem die fehlende Beweglichkeit den der Spastik mit zugrundeliegenden muskelmechanischen Veränderungen [3] Vorschub leistet. Eine wiederholte passive weiche Bewegung der Finger sollte dem entgegenwirken.

Neben der Förderung der Propriozeption zielt das Gerät auch auf eine Stimulation der Oberflächensensibilität, um diese im Falle eines Defizits zu fördern bzw. andererseits den afferenten Einstrom in den sensomotorischen Kortex zwecks Anregung der Neuroplastizität zu erhöhen. Erinnert sei in diesem Zusammenhang an die für das Verständnis der trainingsinduzierten Neuroplastizität wegweisenden

tierexperimentellen Arbeiten von *Merzenich* et al., der mittels taktiler Stimulation einzelner Finger des Affen deren Repräsentationsareal vergrößern konnte [13]. Diesen Gedanken griffen klinisch u.a. *N. Byl* [1] aus den USA und *E. Freund* aus Düsseldorf auf. Letztere entwickelte ein Gerät zum Sensibilitätstraining, das eine aktive Handfunktion voraussetzt.

Erste Komponente ist entsprechend den Arbeiten von *Merzenich* der dynamische Berührungsreiz der Fingerbeere, der mittels der Meissnerschen Körperchen [8] vermittelt wird. Diese sind Differentialrezeptoren (d.h. sie erfassen die Geschwindigkeit der Reizänderung), so dass die Dynamik der drehenden Rolle im Gegensatz zu einem statischen Berührungsreiz mit einer höheren Impulsrate einhergehen sollte. Um eine Adaptation der Rezeptorantwort zu vermeiden, kann optional ein Streifen mit einer anderen Oberflächentextur verwandt bzw. die Geschwindigkeit der Rollenbewegung verändert werden.

Die zusätzliche Vibration zielt auf die Reizung der Paccinischen Körperchen, sie sind gleichfalls Differentialrezeptoren, wobei die Vibration mit einer dauernden Änderung der Geschwindigkeit ein sehr starker Reiz ist. Deren Frequenz ist proportional zur Impulsrate der Körperchen, die meisten Patienten bevorzugen eine Frequenz <30 Hz, was sich mit den Erfahrungen im Bereich der unteren Extremität deckt. Eine Vielzahl von Geräten wird dafür bereits angeboten, positive Erfahrungen liegen im neurologischen Gebiet vor allem für Morbus Parkinson-Patienten vor [5]. Neben der sensorischen Stimulation wird dabei auch die Tatsache ausgenutzt, dass die IA-Afferenzen der intrafusalen Muskulatur extrem empfindlich auf eine Vibration der Sehnen reagieren (siehe auch tonischer Vibrationsreflex [12]) und somit über den Eigenreflex eine Muskelkräftigung diskutiert wird. Da der Vibrationsmotor nicht selektiv die Fingerbeere reizt (er sitzt unter der Nockenwelle), sondern der Patient die Vibration zumindest bis in die Schulter spürt, ist ein ähnlicher Mechanismus zu diskutieren.

Es ist selbstverständlich, dass zwei Fallbeobachtungen keine Aussage über die Effektivität des Gerätes erlauben. Sie zeigen jedoch die Richtung zukünftiger Studien, in denen der antispastische Effekt beim chronischen Patienten und die Förderung der Handfunktion in der Frührehabilitation untersucht werden sollten. Offensichtliche Nachteile des Gerätes sind die fehlende Bewegung des Daumens und die ausschließlich passive Bewegung der Finger II–IV.

Zusammenfassend zielt der Fingertrainer REHA-Digit auf ein sensomotorisches Training der plegischen Finger nach Schlaganfall. Die asynchrone Bewegung der Finger und der damit verbundene propriozeptive Reiz werden mit einer Stimulation der Oberflächensensibilität mittels dynamisch taktilen Reiz der Fingerbeeren und der Vibration kombiniert. Kontrollierte Studien sind abzuwarten.

Literatur

1. Byl N, Roderick J, Mohamed O, Hanny M, Kotler J, Smith A, Tang M, Abrams G: Effectiveness of sensory and motor rehabilitation of the upper limb following the principles of neuroplasticity: patients stable poststroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2003; 17: 176-91
2. Costanzo RM, Gardner EP: A quantitative analysis of responses of direction-sensitive neurons in somatosensory cortex of awake monkeys. *J Neurophysiol* 1980; 43: 1319-41
3. Dietz V, Quintern J, Berger W: Electrophysiological studies of gait in spasticity and rigidity: evidence that altered mechanical properties of muscle contribute to hypertonia. *Brain* 1981; 104: 431-49
4. Dillo W: Fingertrainingsgerät. *Gebrauchsmusterschrift DE 299 06 578 U1* 1999
5. Haas CT, Turbanski S, Kessler K, Schmidtbleicher D: The effects of random whole-body-vibration on motor symptoms in Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation* 2006; 21: 29-36
6. Hesse S, Werner C, Bardeleben A: Der schwer betroffene Arm ohne distale Willküraktivität – ein »Sorgenkind« der Rehabilitation nach Schlaganfall?! *Neurol Rehabil* 2004; 10: 123-130
7. Hesse S, Werner C, Schmidt H, Bardeleben A: Automatisierte motorische Rehabilitation nach Schlaganfall. *Nervenheilkunde* 2006; 25: 137-142
8. Klinke R, Silbernagl S: *Lehrbuch der Physiologie*, 4. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2005
9. Kollreider A, Ram D, Scherer R, Grieshofer P, Helbok R: Robotic hand/finger rehabilitation for apoplexy patients. In: *Technical aids for rehabilitation*. Berlin am: 25.01.2007
10. Kolominsky-Rabas PL, Heuschmabnn PU: Inzidenz, Ätiologie und Langzeitprognose des Schlaganfalls. *Fortschr Neurol Psychiatr* 2002; 70: 657-662
11. Kwakkel G, Kollen BJ, an der Grond J, Prevo AJ: Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb. The impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. *Stroke* 2003; 34: 2181-2186
12. Matthews PBC: *Mammalian muscle receptors and their central actions*. Williams & Wilkins, Baltimore 1972
13. Merzenich MM, Nelson RJ, Stryker MP, Cynader MS, Schoppmann A, Zook JM: Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys. *J Comp Neurol* 1984; 224: 591-605
14. Muelbacher W, Richards C, Ziermann U, Wittenberg G, Weltz D, Bo-roojerdi B, Cohen L, Hallett M: Improving hand function in chronic stroke. *Arch Neurol* 2002; 59: 1278-82
15. Page SJ, Levine P, Leonard AC: Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke* 2007; 38: 1293-7
16. Parry RH, Lincoln NB, Vass CD: Effect of severity of arm impairment on response to additional physiotherapy early after stroke. *Clin Rehabil* 1999; 13: 187-198
17. Platz T, Pinkowski C, van Wijck F, Johnson G: *ARM arm rehabilitation measurement*. Deutscher Wissenschaftsverlag, Baden-Baden 2005
18. Wege A, Kondak K, Hommel G: Force control strategies for a hand exoskeleton based on sliding mode position control. *Proc IROS 2006*, Beijing 2006
19. Weiller C, Ramsay SC, Wise RJ, Friston KJ, Frackowiak RS: Individual patterns of functional reorganization in the human cerebral cortex after capsular infarction. *Ann Neurol* 1993; 33: 181-9

Interessenvermerk:

Reha-Stim wird die Vermarktung des Gerätes REHA-Digit übernehmen, Inhaberin ist Dr. Brandl-Hesse, die Ehefrau des Erstautors SH.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Stefan Hesse
Medical Park Bad Rodach
Kurring 16
96476 Bad Rodach
e-mail: s.hesse@medicalpark.de