

Fun und Evidenz – computergestützte Armrehabilitation mit dem Pablo®Plus-System

Maik Hartwig

Die computergestützte Therapie ist ein wichtiges Gebiet im Bereich der motorischen Rehabilitation geworden. Diese Art von Intervention bietet dem neurologisch geschädigten Patienten einen neuen, vielversprechenden Weg, selbst die schwer betroffene, funktionell kaum einsetzbare obere Extremität wieder in den Alltag zu integrieren.

In der Arm-/Handrehabilitation konnten sich bis jetzt Geräte mit einem uni- und bilateralen Ansatz für akute [1, 9, 20] sowie für chronische Patienten eindimensionale und passive Exoskelettsysteme behaupten [11, 12, 15]. Ein systematischer Review [7] mit acht inkludierten Studien kam zu dem Ergebnis, dass robotergestützte Therapie der proximalen oberen Extremität kurz- und langfristig die motorische Kontrolle der paralytischen Schulter und des Ellenbogens bei subakuten und chronischen Patienten stärker verbessert als konventionelle Therapien. Vor allem beidseitiges, distales Armtraining scheint sich positiv auf die Funktionsverbesserung auszuwirken [7, 9]. Neben der motorischen Funktionsverbesserung fand sich in der Robotherapie auch eine im Vergleich zu den Kontrollgruppen stärkere Zunahme der Muskelkraft. Der Transfer von Erlernem in den Alltag konnte im Vergleich zur konventionellen Therapie durch den Einsatz von Robotern allerdings nicht überlegen verbessert werden. Mit dem Hand- und Fingertrainer AMADEO von tyromotion wurde bereits ein äußerst effektives computergestütztes Therapiegerät für die Verbesserung von Hand- und Fingerfunktion entwickelt und seine Wirksamkeit in mehreren Studien überprüft und nachgewiesen [3, 8, 17]. Für die Rehabilitation der oberen Extremität wurde nun von tyromotion in Zusammenarbeit mit erfahrenen Fachexperten der Ergotherapie das Pablo®Plus-System entwickelt. Mit diesem computergestützten Therapiegerät ist den Erfindern eine optimale Symbiose aus innovativer Tech-

nik und vielfältigen, gezielten Therapie-, Befund- und Dokumentationsvariationen gelungen.

Was steht hinter Pablo®Plus?

Neurowissenschaftliche, fachliche empirische und auch wirtschaftliche Überlegungen flossen in die Entwicklung von Pablo®Plus ein. Entstanden ist ein multiples Behandlungssystem, bei dem sich Inhalte aus modernen evidenzbasierten Verfahren mit motivationalen Aspekten (»Fun-Faktor«) sowie ICF-orientierten Assessment- und Dokumentationsmöglichkeiten vereinen. Pablo®Plus bietet fundierte therapeutische Interventionsmöglichkeiten auf Funktions- und Aktivitätsebene und ist hervorragend für die stationäre wie auch ambulante und häusliche Behandlung von Erwachsenen und Kindern mit neurologisch und auch orthopädisch bedingten motorischen Einschränkungen geeignet. Die Kombination vieler gezielter Übungs- und Therapiesequenzen mit Assessment- und Dokumentationsmöglichkeiten in einem einzigen Therapiegerät macht den Einsatz des Pablo®Plus-Systems auch wirtschaftlich sinnvoll. Mittlerweile ist das computergestützte Therapiegerät nicht nur in der Armrehabilitation, sondern auch in der Behandlung von unterer Extremität, posturaler Kontrolle und Balance anwendbar.

Welche modernen Therapieverfahren finden sich im Pablo®Plus wieder?

Das Behandlungssystem stützt sich vor allem auf die Prinzipien des motorischen Lernens, welche auch beim

isolierten sensomotorischen Üben und der aufgabenorientierten Übungstherapie Anwendung finden. Der Wiedererwerb motorischer Fertigkeiten nach zentralen Läsionen wird dabei als motorischer Lernprozess verstanden [16]. Pablo®Plus kann in jede der drei Phasen des motorischen Lernprozesses nach Fitts und Posner [6] integriert werden. Es beinhaltet ebenfalls je nach Lernphase einzubringende intrinsische und extrinsische Interventionsmöglichkeiten [16]. Die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf das Ziel der Bewegung (externaler Fokus) spielt dabei durchgängig eine große Rolle. Grund dafür ist der Nachweis, dass motorische Aktivitäten bei einem externen Fokus schneller erlernt werden [24]. Inhalte der psychologischen Lerntheorie [19] wie die positive Verstärkung erfolgreicher Bewegungsabläufe werden ebenso berücksichtigt. Ein zentraler Punkt bei Pablo®Plus ist die vielfältige Möglichkeit des aktiven, repetitiven Übens von zu erlernenden Aktivitäten oder einer Bewegung (ein- und mehrgelenkig) vor dem Hintergrund, dass repetitives Üben die Funktionserholung in besonderer Weise fördert [2]. Bei roboterunterstützter Therapie erreicht man beispielsweise zweibis siebenmal mehr Bewegungsaktionen als bei einer herkömmlichen Therapie [14]. Stereotype Wiederholungen allein bewirken an der oberen Extremität jedoch noch kein (Wieder-)Erlernen von Bewegungen. Für eine kortikale Reorganisation ist die reine Repetition nicht der einzige Faktor. Deshalb sollten die therapeutischen Interventionen nicht nur repetitiv, sondern auch aktiv, intensiv

und aufgabenspezifisch sein [13, 18]. Die Zeitdauer des Übens und die Dauer der Pausen sind ebenso von großer Bedeutung [21]. Diese sind durch Eingabe in das System des Pablo®Plus jederzeit indikativ steuerbar. Mit der Technik des Shapings (sukzessive Steigerung des Schwierigkeitsgrades einer motorischen Anforderung in Abhängigkeit vom Bewegungserfolg) kann in jedem einzelnen Therapiemodul des Pablo®Plus gearbeitet werden, der Schwierigkeitsgrad ist konkret auf die individuelle Leistungsgrenze des Patienten abstimmbare [23]. Des Weiteren finden sich Kernelemente moderner Therapiekonzepte wie isoliertes sensomotorisches [4, 5], bilaterales [22] und aufgabenorientiertes Üben (die einzelnen Bewegungen werden über die Aufgabe im Desktop provoziert) im Gerät wieder. Die Erkenntnis, dass das ZNS Aktivitäten zielorientiert plant und bei unterschiedlichen Kontextbedingungen jeweils unterschiedliche Muskeln zur Bewältigung funktioneller Anforderungen aktiviert werden, wurde bei der Entwicklung der Therapiemodule des Pablo®Plus ebenfalls bedacht.

Wie ist Pablo®Plus gestaltet? Wie wird damit befundet, dokumentiert und therapiert?

Das Therapiegerät besteht aus einem Handgriff mit integrierten Kraft- und Bewegungssensoren inklusive Handschlaufe, dem Multiboard und dem Multiball, welche über eine USB-Schnittstelle mit einem PC verbunden sind. Jedes der einzelnen Pablo®Plus-Elemente ist auf das Trainieren der verschiedensten motorischen Defizite vor allem der oberen Extremität »zugeschnitten«, das System bietet jedoch weit mehr als nur Therapiemodule.

Assessment, Befund und Dokumentation

Pablo®Plus beinhaltet Assessments im Bereich der Körperfunktions- und Aktivitätsebene für die Kraftmessung von Handfunktionen und für die Messung des aktiven Bewegungsausmaßes der oberen Extremität (Tab. 1). Die Messungen können auch aus einer pathologischen Ausgangsstellung heraus durchgeführt werden, der Patient muss nicht zwingend erst die »Nullstellung« mit seiner betroffenen Extremität einnehmen können.

In einem Dokumentationssystem hält der Pablo®Plus alle einzelnen Ergebnisse von

■ Handgriff



Der PABLO®Handgriff ermöglicht durch seine integrierten Bewegungs- und Kraftsensoren das Trainieren aller im Befund beschriebenen Hand- und Fingerfunktionen und Bewegungen der oberen Extremität aus verschiedensten Ausgangsstellungen des Patienten heraus. Selbst bei pathologischer Stellung des Armes oder der Hand kann der Handgriff angepasst und der Betroffene aus dieser Stellung heraus im motorischen Lernprozess aktiviert werden. Bei nicht ausreichender Handfunktion wird der Handgriff mittels der flexiblen Handgelenkschlaufe befestigt. Dadurch ist z. B. auch das Training der Fingerextension schon mit kleinsten Aktivierungen möglich. Für das Arbeiten im Stand wird zur Schaffung einer dynamischen Unterstützungsfläche und damit zum Shaping von Gleichgewicht und posturaler Kontrolle zusätzlich ein »Balance-Pad« angeboten.

■ Multiboard



Das PABLO®Multiboard dient zum repetitiven Beüben einzelner und mehrerer Gelenke bei distalem oder proximalem Ansatz. Es wird zum bilateralen Beüben verwendet und auch für den alleinigen Einsatz der betroffenen oberen Extremität. Der Handgriff des PABLO® wird dazu einfach in das Multiboard eingesteckt. Auch hier werden die zu beübenden Bewegungen, diesmal wahlweise ein- oder mehrgelenkig komplex (Tab. 2), vom Therapeuten vorher eingespeichert und der Patient muss diese im motorischen Lernprozess umsetzen. Kompensationsstrategien führen wiederum nicht zum Umsetzen des Spielerfolgs, der Patient lernt, die richtigen Bewegungsmuster einzusetzen und Kompensationen zu unterbinden. Das äußerst vielfältig verwendbare Gerät ist derart entwickelt, dass auch schwer betroffene Patienten damit therapiert werden können. Die Form des Multiboards mit seinen adaptierbaren Griffen, den Unterstützungsflächen für die Unterarme und der kugelförmigen Auflagefläche unterhalb des Boards erlauben eine Platzierung und damit ein Training sowohl für die plegische und paretische als auch für die hypertone/spastische obere Extremität. Je nach gewählter Ausgangsstellung sind das Schulter-, Ellbogen- und Handgelenk in alle physiologischen Bewegungsrichtungen trainierbar. Die abgerundete Auflagefläche für die Unterarme und der integrierte Handbügel unterstützen die korrekte Ausführung der Bewegungen, ohne den Patienten zu fixieren. So kann z. B. die hypotone/schlaaffe Extremität auf die gewölbten Unterarmstützen und den vorderen Handbügel aufgelegt werden (Abb. 1a). Der betroffene Arm und die Hand sind gesichert, müssen aber trotzdem aktivierend arbeiten. Beim spastischen Patienten mit innenrotiertem Schultergelenk wird die Hand beispielsweise an die äußeren Handgriffe gebracht, um in außenrotierter/supinierter Gelenkstellung zu aktivieren (Abb. 1b). Je nach befundeten motorischen Defiziten des Patienten wird das Multiboard vom Therapeuten eingerichtet. Das gesamte Gerät kann gedreht werden und wird nun durch Umfassen der Handgriffe oder des Handbügels manipuliert (Abb. 1c). Es besteht hierbei also nicht nur ein Shaping durch die Software, sondern auch durch das Gerät selbst. Das gute und unkomplizierte Handling des Multiboards erlaubt einen breit gefächerten und frühzeitigen Einsatz dieser funktionellen Therapieform (z. B. im Standing und an der Bettkante bei noch wenig mobilisierbaren Patienten). Aber auch für »fortgeschrittenere« Patienten zeigt sich das Multiboard sehr anspruchsvoll. Es obliegt natürlich weiterhin der Kreativität und Professionalität des Therapeuten, dieses Gerät indikativ mit all seinen Möglichkeiten auszuschöpfen.

■ Multiball



Der PABLO®PLUS Multiball findet Anwendung im distalen Funktionstraining der oberen Extremität. Die »funktionelle Kugel« wurde vor allem zum Trainieren von Pro- und Supination sowie Dorsalextension und Palmflexion, unabhängig von den vorherrschenden Tonusverhältnissen, konzipiert. Durch die optionale Sicherung der betroffenen Hand mit Hilfe eines Klettbandes bietet der Multiball schon in einer frühen Rehabilitationsphase Anwendungsmöglichkeiten. Zudem liegt die Hand bei relativ gestreckten Fingern auf der Kugel, der Daumen befindet sich in einer »Führungsnut« in leicht abduzierter und gestreckter Ausgangsstellung. Das beim Multiboard beschriebene Patientenkollektiv findet sich ebenso für die Behandlung mit dem Multiball wieder. Bei Veränderung der Ausgangsstellung in der betroffenen Extremität und/oder des Patienten können mit dem Multiball auch noch mehr Bewegungskomponenten beübt werden, z. B. die Außenrotation des Schultergelenkes bei extendiertem Ellenbogen unter Stabilisation des Handgelenkes, Stützaktivitäten des Armes im Stand mit gleichzeitigem aktiven Einsatz der betroffenen Hand bis hin zu Arbeiten im Standing (Abb. 1d) und an der Bettkante bei noch wenig mobilisierbaren Patienten.

Kraftmessung (isometrisch) von Greifarten und Präzisionsgriffen

Zylindergriff und Hand-(Finger-)extension



Pinzettgriff



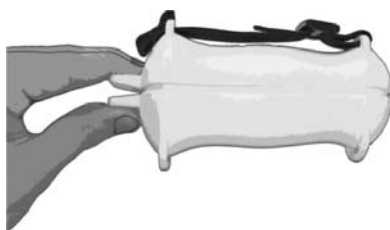
Lateralgriff



Interdigitalgriff



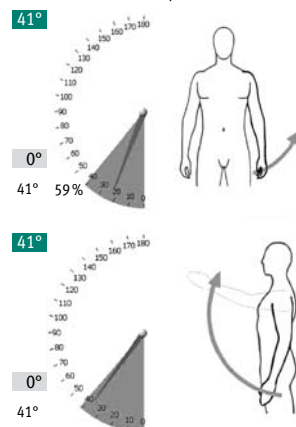
Drei-Finger-Griff



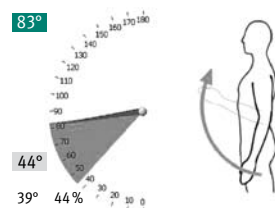
Option von freier Messung

Messungen des aktiven Bewegungsraumes von Schulter/Arm/Hand

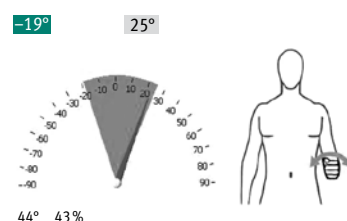
Schulter: Abduktion/Flexion



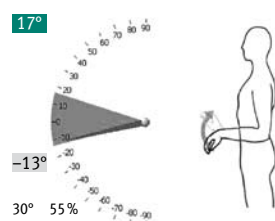
Ellenbogen: Flexion/Extension



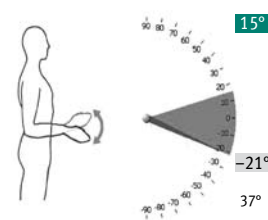
Unterarm: Pronation/Supination



Handgelenk: Flexion/Extension



Handgelenk: Ulnarabduktion/Radialabduktion



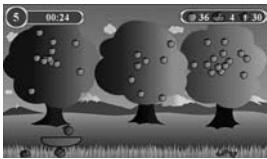


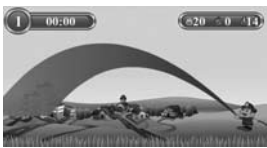

Option von freier Messung

Befund und Verlauf der Therapie in einer elektronischen Patientenakte fest, welche zu Beginn vom Therapeuten angelegt wird. Jeder Neubefund wird automatisch gespeichert und vom System im Hintergrund zu einem Therapie- und Abschlussbericht mit Verlaufsdiagramm inklusive aller Daten zusammengeführt. Zusätzlich wird jede einzelne absolvierte Therapie in Bezug auf Intensität und Qualität im Pablo®Plus dokumentiert. Dadurch besitzt der Therapeut ständige Verlaufskontrolle und Reflexionsmöglichkeiten. Beobachtungen und eigene Kommentare seitens des Behandlers können ebenfalls in das Dokumentationssystem eingebracht werden. Somit sind die Behandlungen jederzeit abruf- und nachvollziehbar. Einzelne Details wie genaue Zeitstatistik, Art des Therapiespiels mit Ergebnis usw. hält das System ebenfalls automatisch fest. Pablo®Plus übernimmt in jeder neuen Behandlungseinheit die Einstellungen der vorangegangenen, ein kontinuierlicher Behandlungsablauf wird gewährleistet. Der Abschlussbericht kann optional individuell bearbeitet, gespeichert und/oder gedruckt werden.

Therapie

Ein »Herzstück« des Systems ist die therapeutisch abgestimmte Software des Pablo®Plus-Systems. Der motorische Lernprozess und das Wiedererlangen aktiver Arm-/Handfunktion werden letztendlich durch die gezielte Gestaltung der unterschiedlichen Therapiespiele forciert. Unser Gehirn trainiert nicht primär Muskeln, sondern die Muskeln werden als Werkzeuge zur Erreichung einer ökonomischen Bewegungsabfolge eingesetzt [10]. Deshalb sollte motorisches Lernen nicht auf Muskelstärkung, sondern auf das Training von funktionellen Bewegungsabläufen ausgerichtet sein. Aktuell existieren fünf eindimensionale Therapiespiele für den Pablo®Handgriff (Tab. 2) und drei zweidimensionalen Therapiespiele für Pablo®Multiboard und Multiball (Tab. 3). Jedes der Therapiemodule bietet zehn verschiedene Levels mit unterschiedlichen Shaping-Variationen, akustischem und visuellem Feedback (individuell einstellbar), Optionen wie Spiegelung, Seitenumkehr, einstellbare Bewegungs- und Anzeigerichtung (z.B. bei objektbezogenem und/oder visuellem Neglect) sowie verschiedenste Repetitionseinstellungen. Neben den

Tab. 1: Übersicht Assessments

Therapiemodul	Inhalt	Beübung von	Shaping
Äpfel sammeln 	Herabfallende Äpfel müssen mit einem Obstkorb aufgefangen werden: aktives Wiederholen einer koordinierten Bewegungsabfolge oder Aufbringen eines Kraftwertes in einer ausgewählten Handfunktion	Bewegungskontrolle, Kraft, Kraftdosierung, Tonuskontrolle, Zielmotorik, Koordination, Aufmerksamkeit, Balance und posturaler Kontrolle	Anzahl und Geschwindigkeit der fallenden Äpfel, Größe des Fangkorbes, Spiegelung
Ballon 	Ballon durch einen Parcours an Hindernissen vorbei manövrieren: dynamische Bewegungsabfolge bzw. das Aufbringen eines Kraftwertes über einen längeren Zeitraum	Bewegungskontrolle, Bewegungskoordination, Kraftkontrolle, Dauerkontraktion, Konzentration, Balance und posturaler Kontrolle	Anzahl der Hindernisse, Fluggeschwindigkeit, Breite und Höhe des Flugkorridors, Spiegelung
Dosen schießen 	Dosen bewegen sich durch ein stillstehendes Fadenkreuz auf dem Bildschirm. Durch Auslösen eines Schusses zum richtigen Zeitpunkt werden die Dosen abgeschossen: zeitgerechte Aktivierung Kraft- bzw. Bewegungsimpuls	Bewegungseinleitung, Konzentration, präziser schneller Krafteinsatz, Koordination, Reaktion, Balance und posturaler Kontrolle	Geschwindigkeit und Größe der Dosen, Spiegelung,
Feuerwehr 	Aufblodernde Feuer sollen möglichst zielgerichtet mit einem Wasserstrahl gelöscht werden: Erreichen und gezieltes Halten eines geforderten Kraft- bzw. Bewegungsniveaus	Kraftkontrolle, Kraftdosierung, Koordination, Zielmotorik, Dauerkontraktion, Aufmerksamkeit, Balance und posturaler Kontrolle	Anzahl der Feuer, deren Löschdauer und Breite des Wasserstrahls, Spiegelung
Mülltrennung 	Verschiedene Abfälle mit Greifzange erfassen und in den dazugehörigen Behälter ablegen: Erreichen und gezieltes Halten eines geforderten Kraft- bzw. Bewegungsniveaus	Kraftkontrolle, Kraftdosierung, Koordination, Zielmotorik, Dauerkontraktion, Aufmerksamkeit, Balance und posturaler Kontrolle	Geschwindigkeit, Anzahl der Abfallstücke, Spiegelung

Tab. 2: Eindimensionale Therapiespiele (Handgriff/Multiboard/Multiball)

Inhalt	Beübung von	Shaping
Bauernhof 	gezielter repetitiver Bewegungsausführung, komplexer Bewegungsausführung mit Alltagsrelevanz, Erlernen korrekter Steuerung von Bewegungen, Unterbindung von Kompensation im Lernprozess, Tonuskontrolle und Tonusnormalisierung, Training räumlicher Orientierung und von Reaktion	Geschwindigkeit, Anzahl der Würmer, Zeitvorgabe, Spiegelung
Labyrinth 	Ein Huhn muss gesteuert werden, welches Würmer vom Erdboden pickt: Erreichen aktiver effizienter Bewegungsausführung ohne Kompensation.	Anzahl und Komplexität der Hindernisse, Geschwindigkeit, Zeit, Spiegelung
Tisch decken 	Eine Kugel muss durch ein Labyrinth mit Hindernissen gesteuert werden: Erreichen aktiver effizienter Bewegungsausführung ohne Kompensation.	Anzahl der Geschirrtteile und Platzdeckchen, räumliche Veränderungen, Seitenverdreherung, Geschwindigkeit, Zeit,
Tisch decken 	Geschirrtteile auf einem Tisch korrekt auf Platzdeckchen zuordnen (als würde man selbst vor einem Tisch stehen): Erreichen aktiver effizienter Bewegungsausführung ohne Kompensation.	gezielter repetitiver Bewegungsausführung, komplexer Bewegungen mit Alltagsrelevanz, Unterbindung von Kompensation im Lernprozess, Training räumlicher Orientierung und von Kognition

Tab. 3: Zweidimensionale Spiele (Multiboard/Multiball): ein- und mehrgelenkiges Bewegungstraining



Abb. 1: Auflegen der hypotonen Extremität auf die gewölbten Unterarmstützen des Multiboards (a). Aktivierung in außenrotierter/supinierter Gelenkstellung (b). Das gesamte Gerät kann gedreht werden (c). Arbeiten mit dem Multiball im Standing (d)

motorischen Defiziten können dadurch auch kognitive Anforderungen wie Aufmerksamkeitsleistungen, Konzentration oder räumliche Orientierung mit beübt werden.

Von großer therapeutischer Relevanz ist vor allem, dass der Behandler je nach Erfordernis vorab einspeichern kann, ob der Patient das Spiel mit Kraftdosierung/Kraft/Tonuskontrolle (Kraftmodus) oder über Bewegungslernen (Bewegungsmodus) ausführen soll. Der Therapeut gibt dem System außerdem vor, mit welchen Bewegungen, Greifarten oder mit wie viel Kraft trainiert wird. Pablo®Plus übernimmt die jeweiligen Vorgaben, und das ausgewählte Spiel ist nur mit diesen vorher eingegebenen Einstellungen durchführbar. Dadurch lernt der Betroffene, gezielt und repetitiv mit automatisiertem Abruf seine obere Extremität einzusetzen, weil er dabei schließlich auf den externalen Fokus (Spielverlauf im Monitor) ausgerichtet ist. Sobald der Patient (typischerweise) kompensiert oder die geforderten Eingaben nicht oder falsch umsetzt, ist der Spielverlauf nicht mehr umsetzbar, das System reagiert nicht auf die »falschen« Bewegungen. Dieser Aspekt unterscheidet das Pablo®Plus-System u. a. signifikant von herkömmlichen Spielen, bei denen die Kraft- oder Bewegungsparameter in keinsten Weise auf die jeweiligen Defizite und Ressourcen eines Patienten abgestimmt werden können.

Der Pablo®Plus: Einer für alles?

Dieses computergestützte Therapiegerät eröffnet neue Perspektiven und Varianten in der motorischen Rehabilitation auf Funktions- und Aktivitätsebene. Trotz der umfangreichen Trainingsmöglichkeiten ist es jedoch unabdingbar, mit dem Patienten Transfers geübter Bewegungen oder funktioneller Komponenten in Alltagshandlungen durchzuführen. Kein noch so »ausgefeiltes« Therapiegerät kann das Beüben von realen Alltags-

handlungen im interpersonellen Kontakt von Therapeut und Patient komplett ersetzen.

Pablo®Plus bietet eine erfolgversprechende Intensivierung auf dem Gebiet der noch relativ »jungen« computergestützten und robotassistierten Armrehabilitation. Anforderungen an moderne Therapien, welche neben Evidenzbasierung auch Schnittstellen wie Dokumentation, Verlaufsdarstellung, Berichterstattung, aber auch Spaß und hohe Motivation einbeziehen, sind im System integriert. Beim derzeitigen Boom der robotergestützten Verfahren stellen sich aber gerade auch für Therapeuten im ambulanten Bereich (z. B. ergotherapeutische Praxis, Hausbesuche) Fragen nach Finanzierbarkeit, mobilem und einfachem Handling, Platzanforderungen, Anwendungscompliance sowie Vielfältigkeit des Gebrauchs. Die Fachexperten von tyromotion Austria geben mit ihrem Pablo®Plus-System durchweg positive Antworten auf diese Themen, ohne aus den Augen zu verlieren, dass der Pablo®Plus wie auch die computergestützte Armtherapie insgesamt noch intensiverer Wirksamkeitsnachweise bedürfen, um gesichert zum Kreis der modernen evidenzbasierten Therapieverfahren zu zählen. In mehreren ergotherapeutischen Praxen, dem ambulanten Rehabilitationszentrum ZAR Berlin, der Neurologischen Klinik Bad Neustadt/Saale und der Medizinischen Universität in Innsbruck sind derzeit Wirksamkeitsstudien in Ausführung bzw. in Planung.

Literatur

1. Aisen ML, Krebs HI, Hogan N, McDowell F, Volpe BT. Arch Neurol 1997; 54: 443-446.
2. Butefisch C, Hummelsheim H, Denzler P, Mauritz KH. J Neurol Sci 1995; 1 (1): 59-68.
3. Enzinger C, Pargfrieder C, Pegritz S, Wurm W, Linderl-Madrutter R et al. Neuroimage 2008; (Suppl.), Human Brain Mapping, Jun 15-19, Melbourne, Australia.
4. Feys HM, De Weerd WJ, Selz BE, Cox Steck GA et al. Stroke 1998; 29: 785-792.

5. Feys HM, De Weerd WJ, Verbeke G, Cox Steck GA, Cspiau C et al. Stroke 2004; 35: 924-929.
6. Fitts PM, Posner MI. Human performance. Brooks-Cole, Belmont, CA 1967.
7. Prange GB, Jannink MJA, Groothuis-Oudshoorn CGM, Hermens HJ, IJzerman MJ. JRRD. Volume 43, Number 2, 171-184.
8. Helbok R, Schoenherr G, Spiegel M, Sojer M, Brenneis C. Robot-assisted hand training (Amadeo) compared with conventional physiotherapy techniques in chronic ischemic stroke patients: a pilot study. DGNR Bremen, Nov. 2010.
9. Hesse S, Werner C, Pohl M, Rueckriem S, Mehrholz J, Lingnau ML. Stroke 2005; 36: 1960-1966.
10. Hogan N, Krebs HI, Rohrer B, Palazzolo JJ, Dipietro L et al. J Rehabil Res Dev 2006; 43 (5): 605-618.
11. Housman SJ, Le V, Rahman T, Sanchez RJ, Reinkesmeier DJ. Arm-training with T-WREX after chronic stroke: preliminary results of a randomized controlled trial. Proceedings of the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 12-15, Noordwijk, The Netherlands.
12. Kahn LE, Zygmant ML, Rymer WZ, Reinkesmeier DJ. J Neuroeng Rehab 2006; 3: 12-16.
13. Krakauer JW. Curr Opin Neurol 2006; 19 (1): 84-90.
14. Lang CE, MacDonald JR, Gnip C. J Neurol Phys Ther 2007; 31 (1): 3-10.
15. Lum PS, Burgar CG, Shor PC et al. Arch Phys Med Rehabil 2002; 83: 952-959.
16. Majsak MJ. Topics in Stroke Rehabilitation 1996; 3 (2): 27-59.
17. Mayr A, Kollreider A, Ram D, Saltuari L. An electromechanical device for distal upper limb training: preliminary results. WCNR 2010.
18. Plautz EJ, Milliken GW, Nudo RJ. Neurobiol Learn Mem 2000; 74 (1): 27-55.
19. Taub E, Miller NE, Novack TA, Cook EW, Fleming WC et al. Arch Phys Med Rehabil 1993; 74: 347-354.
20. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein OTR L, Diels C, Aisen M. Neurology 2000; 54: 1938-1944.
21. Weiss T, Miltner WHR. Z f Physiotherapeuten 2001; 53 (4): 578-588.
22. Whittall J, McCombe Waller S, Silver K, Macko R. Stroke 2000; 31: 2390-2395.
23. Woldag H, Waldmann G, Heuschkel G, Hummelsheim H. Clinical Rehabilitation 2003; 17: 723-730.
24. Wulf G, Höß M, Prinz W. J Mot Behav 1998; 30 (2): 169-179.

Danksagung

Der Autor dankt der Neurologischen Klinik Bad Neustadt/Saale für ihre Kooperationsbereitschaft.

Korrespondenzadresse:

Maik Hartwig
tyromotion GmbH
Bahnhofgürtel 59
A-8020 Graz
m.hartwig@tyromotion.com