Journal für
Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

Neue Therapieverfahren für die Rehabilitation des Schlaganfalls basierend auf dem Konzept der Spiegelneurone

Dettmers C, Nedelko V

Schoenfeld MA

Journal für Neurologie Neurochirurgie und Psychiatrie

2012; 13 (1), 5-10

Homepage:

www.kup.at/ JNeurolNeurochirPsychiatr

Online-Datenbank mit Autoren- und Stichwortsuche

Indexed in
EMBASE/Excerpta Medica/BIOBASE/SCOPUS

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031117M, Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21 Preis: EUR 10,–

76. Jahrestagung
Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie
DGNC
Joint Meeting mit der Französischen Gesellschaft für Neurochirurgie
© Westend61; naka – stock.adobe.com
2025
1.–4. Juni
HANNOVER
www.dgnc-kongress.de
Im Spannungsfeld zwischen Forschung und Patientenversorgung
PROGRAMM JETZT ONLINE EINSEHEN!

Deutsche Gesellschaft für Epileptologie
64. JAHRESTAGUNG
der Deutschen Gesellschaft für Epileptologie
10.–13. Juni 2026
Würzburg

Neue Therapieverfahren für die Rehabilitation des Schlaganfalls basierend auf dem Konzept der Spiegelneurone

C. Dettmers[1, 2], V. Nedelko[2, 3, 4], M. A. Schoenfeld[3, 5, 6]

Kurzfassung: Die neurologische Rehabilitation befindet sich in einer spannenden Phase des Wandels: Auf der einen Seite werden große Teile des Rehabilitationsalltags von traditionellen Therapien geprägt. Auf der anderen Seite des Spektrums gibt es – inspiriert durch die Neurowissenschaften – neue Therapieansätze, die auf neuroanatomischen und funktionellen Konzepten beruhen. Der folgende Artikel versucht, eine Seite dieses Spektrums aufzugreifen und neue Therapieansätze in der Rehabilitation des Schlaganfalls zu beschreiben, die sich im Zusammenhang mit dem Konzept des Spiegelneuronensystems (SNS) entwickelt haben. Hierzu gehören das Spiegel-, Video- und Bewegungsvorstellungstraining. Die Ausführungen verdeutlichen, dass neue Behandlungskonzepte aus der Zusammenarbeit mit neurowissenschaftlichen Grundlagenfächern entstehen.

Schlüsselwörter: Spiegeltraining, mentales Training, Videotherapie, Spiegelneurone, Rehabilitation

Abstract: New Therapeutic Approaches for Stroke Rehabilitation Based on the Concept of the Mirror System. The following text describes basic principles of the anatomical and functional concept of the mirror neuron system. It outlines mirror therapy, videotherapy, and mental training as examples of rehabilitation strategies based on new concepts of neurobiology and neurosciences. Mirror therapy and videotherapy are new approaches, developed by close collaboration with basic neurosciences. Neurorehabilitation is at the edge between traditional approaches, new experimental concepts, and evidence-based guidelines. **J Neurol Neurochir Psychiatr 2012; 13 (1): 5–10.**

Key words: mirror therapy, mental training, videotherapy, mirror neurons, rehabilitation

Einleitung

Die neurologische Rehabilitation befindet sich derzeit in einer spannenden Entwicklungsphase. Einerseits dominieren nach wie vor konventionelle Behandlungskonzepte den Rehabilitationsalltag. Andererseits gibt es eine Vielzahl neuer Aspekte, die sich aus der engen Zusammenarbeit mit neurowissenschaftlichen Instituten ergeben. Hierzu gehören Trainingsverfahren mit virtueller Realität, geräte- und roboterunterstützte Verfahren, transkranielle Magnetstimulation u. v. a. Der folgende Artikel beschreibt aus diesem Spektrum neue Trainingskonzepte, die sich sehr stark an die neuen Entwürfe des Spiegelneuronensystems (SNS) anlehnen.

Im Folgenden soll es um neue Therapieansätze gehen, die ganz wesentlich von den Neurowissenschaften profitiert haben und in Zusammenarbeit zwischen neurowissenschaftlichen Instituten, neurologischen Universitätskliniken und Rehabilitationseinrichtungen entwickelt wurden. Tierexperimentelle und funktionell bildgebende Untersuchungen zur Reorganisation und Plastizität nach Schlaganfall haben nachhaltiges Interesse der universitären Einrichtungen an der Rehabilitation gefördert und umgekehrt eine Aufwertung und Entwicklungsdynamik in der neurologischen Rehabilitation bewirkt. Aus diesen neurowissenschaftlichen Grundlagenuntersuchungen haben sich neue Therapieansätze entwickelt. Bekanntestes Beispiel hierfür ist die „constraint-induced movement therapy“ (CIMT). Diese Therapie hat es von tierexperimentellen Überlegungen bis zur Standardtherapie gebracht. Auch wenn diese Therapie zurzeit immer noch nur in begrenztem Umfang in der Originalversion in der Rehabilitation angeboten wird, haben die grundsätzlichen Elemente (Aufhebung des erlernten Nicht-Gebrauchs, „shaping“, repetitives Üben, Intensität der Behandlung, aufgaben- und alltagsorientiertes Training) nachhaltig die Rehabilitationspraxis – auch der klassischen Physiotherapieschulen – beeinflusst. Ähnliche Entwicklungen wie die CIMT – vom neuroanatomischen Konzept bis zur praktischen Therapie – könnten möglicherweise die Spiegel- oder die Videotherapie nehmen, wie sie – basierend auf dem Konzept der Spiegelneurone – in den vergangenen 10 Jahren entwickelt wurden. Ziel der Übersichtsarbeit ist es, den Leser mit neuen, neurowissenschaftlich fundierten Therapieansätzen zur Rehabilitation des Schlaganfalls vertraut zu machen, die sich an das Konzept der Spiegelneurone anlehnen.

Das Konzept des Spiegelneuronensystems (SNS)

Dabei handelt es sich um ein Konzept, das vor allem von einer Forschergruppe aus Parma um Rizzolatti zunächst tierexperimentell entwickelt wurde und besagt, dass Neurone für die Beobachtung, Imitation, Erkennung und gleichzeitig für die Ausführung der Handmotorik zuständig sein können [1]. Diese Neuronenverbände liegen vor allem im ventralen Teil des prämotorischen Kortex und im unteren Anteil des parietalen Kortex [2]. Dieses Konzept wurde mittlerweile auf das menschliche Gehirn übertragen [3]. Wie jedes Modell hat es seine Grenzen. Es hat jedoch zu einer anregenden und inspirierenden Anwendung in der Neurorehabilitation geführt. Da die funktionellen Untersuchungen bei Menschen meist

Eingelangt am 25. Mai 2010; angenommen nach Revision am 1. April 2011; Pre-Publishing Online am 7. Juni 2011

Aus der [1]Ärztlichen Direktion, Kliniken Schmieder Konstanz, der [2]Psychologischen Fakultät, Universität Konstanz, den [3]Kliniken Schmieder Allensbach, dem [4]Lurija-Institut für Rehabilitationswissenschaften, Konstanz, der [5]Abteilung für Neurologie, Universitätsklinik Magdeburg, und dem [6]Leibniz-Institut für Neurobiologie, Magdeburg, Deutschland

Korrespondenzadresse: Prof. Dr. med. Christian Dettmers, Kliniken Schmieder Konstanz, D-78464 Konstanz, Eichhornstraße 68;
E-Mail: c.dettmers@kliniken-schmieder.de

For personal use only. Not to be reproduced without permission of Krause & Pachernegg GmbH.

umfangreichere Netzwerke aktivieren als die tierexperimentellen Einzelfaserableitungen, nämlich z. B. den superioren parietalen Kortex (SPL), den inferior-parietalen Kortex (IPL), den dorsolateralen prämotorischen Kortex (PMd) und den ventralen prämotorischen Kortex (PMv), spricht man hier von einem „erweiterten Spiegelneuronensystem“ [4]. Die funktionellen kernspintomographischen Untersuchungen bestätigen, dass die Areale der Bewegungsvorstellung sehr stark mit denen der Bewegungsausführung überlappen. Von daher liegt es nahe, das System für die Bewegungsbeobachtung und -vorstellung als alternativen Zugang zum motorischen System zu nutzen.

Zahlreiche Arbeiten – vor allem mittels transkranieller Magnetstimulation (TMS) – konnten zeigen, dass Bewegungsbeobachtung und -vorstellung zu einer Steigerung der Exzitabilität im primärmotorischen Kortex führen. Erstaunlicherweise ist dieser Effekt bei der Beobachtung umschrieben bzw. spezifisch für die Muskeln, die auch in der beobachteten Handlung involviert sind [5, 6].

Bei Kleinkindern und Jugendlichen ist offensichtlich, dass sie einen Großteil ihres motorischen Repertoires durch Imitation aufbauen. Insofern scheint das SNS ein universeller Mechanismus zu sein, um motorisches Lernen zu unterstützen. Mittels funktioneller Kernspintomographie (fMRT) ließ sich nachweisen, dass das SNS die Kernstruktur darstellt, die zum Lernen durch Imitation notwendig ist [3, 7]. Folgerichtig ist es, diesen hoch überlernten Mechanismus für motorisches Lernen auch im Alter bzw. bei Patienten nach einem Schlaganfall zu nutzen.

Funktionelle Bildgebung des SNS

Eine der ersten funktionell bildgebenden Untersuchungen zu diesem Thema – damals noch mit der Positronen-Emissionstomographie – ist die von Stephan et al. [8] aus dem Jahr 1995. Sie konnten nachweisen, dass sich die Systeme für Bewegungsvorstellung und -ausführung zu großen Teilen überlappen [8]. Auch damals gab es bereits erste Untersuchungen bei Patienten mit Schlaganfall, was jedoch keine Breitenwirkung hatte. Erst in den vergangenen Jahren wurde dieses Thema von Neurowissenschaftlern erneut aufgegriffen und propagiert, dass sich mittels mentalem Training große Teile des motorischen Systems stimulieren lassen und dies insofern einen alternativen Weg in der Rehabilitation von neurologischen Patienten darstellen sollte [9, 10].

Bewegungsvorstellung wurde in zahlreichen Untersuchungen mittels funktioneller Bildgebung untersucht. Eine Metaanalyse wurde 2001 vorgestellt und bestätigte noch einmal sehr anschaulich, dass sich die Ausführung von Bewegung, die Bewegungsvorstellung, die Bewegungsbeobachtung und die Verbalisation von Bewegung zum großen Teil im motorischen Assoziationskortex überlappen [11]. Untersuchungen zeigten ferner, dass die Art der Instruktion einen großen Unterschied macht, welche Hirnareale dadurch angeregt werden. So ist zu berücksichtigen, ob Probanden eine Bewegung beobachten, um sie zu bewerten, oder ob sie diese mit der Instruktion beobachten, sie hinterher zu imitieren [12]. Die Aufforderung, die auch das Imitieren mit einschließt, führt zu

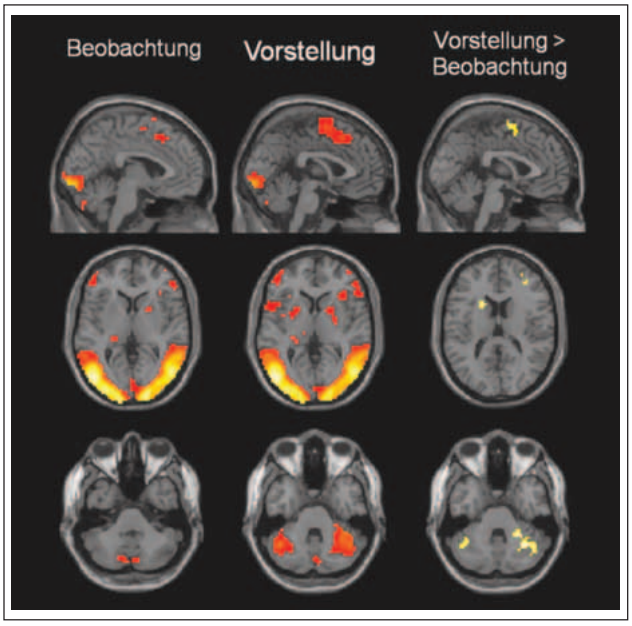

Abbildung 1: Aktivierung während der Bewegungsvorstellung im Vergleich zur Bewegungsbeobachtung bei Gesunden. Es zeigen sich bei der Bewegungsvorstellung signifikant zusätzliche Aktivierungen im Kleinhirn, den Basalganglien und der SMA. Dies favorisiert theoretisch den Einsatz des Bewegungsvorstellungstrainings gegenüber der Beobachtung.

einer deutlich umfangreicheren Aktivierung, vor allem in der vermeintlichen „Ruhepause“, nachdem das Bild der Bewegung nicht mehr präsent ist [13]. Intraindividuelle Vergleiche zwischen Bewegungsbeobachtung und -vorstellung gibt es nur in einer kleinen Anzahl von Untersuchungen bei Probanden [14, 15]. Diese sprechen dafür, dass die Bewegungsvorstellung zusätzliche Aktivitäten in der supplementärmotorischen Area (SMA), den Basalganglien und beiden Kleinhirnhemisphären verursacht, vermutlich auch im ventralen prämotorischen und im infraparietalen Kortex (Abb. 1).

Spiegeltherapie

Einige Therapieansätze haben sich nicht in erster Linie empirisch aus der Arbeit der Therapeuten entwickelt, sondern sind sehr stark durch neurowissenschaftliche bzw. -anatomische Konzepte angestoßen worden. Hierzu gehört auch die „Spiegeltherapie“. Altschuler hatte das Behandlungsprinzip von Ramachandran von Patienten mit Phantomschmerzen auf Schlaganfallpatienten übertragen [16, 17]. Ein Patient sitzt an einem Tisch. In der Sagittalebene ist auf dem Tisch ein Spiegel aufgestellt. Der Patient sitzt etwas versetzt zur gesunden Seite. Er bekommt die Aufgabe, mit der gesunden Hand einfache Tätigkeiten zu verrichten. Dabei sieht der Patient das Spiegelbild der gesunden Hand im Spiegel, was sich für ihn wie eine Bewegung der gelähmten Hand ansieht (Abb. 2).

In einer Variante dieses Trainings wird der gelähmte Arm synchron zur Bewegung des gesunden Arms von einem Therapeuten bewegt. Dadurch erhält der Patient auf der gelähmten Seite neben dem visuellen auch ein sensorisches Feedback durch die Bewegung im Schultergelenk. In einer weiteren Variante wird die Tätigkeit der gesunden Hand durch den Spiegel mittels Videokamera aufgenommen. Dabei fokussiert die Kamera im Großformat auf die gesunde Hand. Sieht der

Patient sich hinterher die Aufnahme an, die spiegelbildlich zur Darstellung kommt, hat er den Eindruck, es handle sich um die gelähmte Hand. Auch dies hat einen sehr stark suggestiven Charakter. Eine andere Variante dieses Trainings lässt den Patienten versuchen, dieselbe Bewegung auch mit dem betroffenen Arm zu machen. Es soll quasi noch der Effekt eines bilateralen Armtrainings hinzukommen [18]. Eine Komponente dieses Trainings ist das visuelle Feedback, das generell einen fazilitierenden Effekt auf die Aktivierung oder den Abruf der Bewegungsmuster hat [19, 20]. Dieser Effekt wurde auch speziell für die Betrachtung einer Bewegung im Spiegel nachgewiesen [21]. Dabei kommt es zu einem fazilitierenden Effekt im sensomotorischen Kortex, der der vermeintlichen Hand im Spiegel kontralateral gegenüber bzw. ipsilateral zur sich bewegenden Hand liegt.

Neben der ideengebenden Arbeit von Altschuler sind einige kleine Fallserien beschrieben worden [22]. Zuletzt sind randomisierte kontrollierte Studien durchgeführt worden, die einen positiven Effekt auf die Hand- und Beinmotorik nachweisen konnten [23–25]. Dohle et al. untersuchten 36 Patienten in einem subakuten Stadium nach Infarkt (innerhalb von 8 Wochen). Sie erhielten über einen Behandlungszeitraum von 6 Wochen zusätzlich zur normalen Rehabilitation täglich, an 5 Werktagen, zusätzlich 30 Min. Spiegeltherapie. Die Kontrollgruppe erhielt dieselbe Menge und Intensität an Therapie, verwendete jedoch keinen Spiegel. 25 Patienten, die distal initial plegisch waren, erfuhren eine signifikantere Funktionsverbesserung als die Kontrollgruppe. Dies war auch klinisch relevant. Ferner verbesserte sich in dieser Gruppe auch die Oberflächensensibilität. Ein ähnliches Ergebnis zeigte Yavuzer bei 2× 20 Patienten für die Handfunktion nach 4-wöchigem Training (30 Min. täglich als „add on“) [25]. Dieser Effekt war auch nach 6 Monaten nachweisbar. Ein ähnlicher Effekt wurde auch für die untere Extremität gezeigt [23]. Mittlerweile gibt es Übersichtsarbeiten, die zu dem Schluss kommen, dass Spiegeltherapie als „Add-on“-Therapie beim Schlaganfall wirksam ist [26, 27]. Bemerkenswerterweise wird hier auch darauf hingewiesen, dass die Spiegeltherapie die Sensibilität zu verbessern scheint [28].

Der Wirkmechanismus der Spiegeltherapie ist bisher nicht bekannt. Vermutlich sind die Spiegelneurone während der Beobachtung beteiligt. Die Namensgebung stammt jedoch von dem Gebrauch des Spiegels, nicht von den Spiegelneuronen. Vermutlich ist auch der visuelle und parietale Kortex beteiligt. Die fazilitierende Wirkung auf den primärmotorischen Kortex wurde schon erwähnt. Besondere Bedeutung kommt vermutlich auch dem prämotorischen Kortex zu, dessen Konnektivität sich offensichtlich ändert (Hamzei, persönliche Korrespondenz). Der spezielle Mechanismus der interhemisphärischen Transferleistung ist noch nicht bekannt.

Videotherapie

Neben der Spiegeltherapie ist auch das Videotraining neurowissenschaftlich auf dem Konzept der Spiegelneurone aufgebaut. Binkofski hat mit seinen Mitarbeitern in den vergangenen Jahren in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe aus Parma ein Training für Schlaganfallpatienten entwickelt und

Abbildung 2: Spiegeltherapie. Die Patientin sitzt mit ihrer gelähmten linken Hand vor einem Tisch. In der Sagittalebene, etwas versetzt zur gelähmten Seite, befindet sich der Spiegel. Bewegungen der gesunden rechten Hand nimmt die Patientin im Spiegel als Bewegung ihrer betroffenen linken Hand wahr.

in einer Pilotstudie evaluiert. Dabei haben chronische Schlaganfallpatienten über 4 Wochen täglich 90 Min. Training erhalten [29]. Sie mussten einfache motorische Aufgaben in einem Video konzentriert beobachten und die Handübungen anschließend mit der gelähmten Hand nachmachen. Nach dem Behandlungszeitraum zeigte sich eine Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Hand. In einer begleitenden kernspintomographischen Untersuchung zeigten die Mitarbeiter, dass die Areale, die mit dem Spiegelneuronensystem assoziiert sind, nach dem Training durch motorische Videos vermehrt aktiviert werden. Damit erklärten die Mitarbeiter den Zugewinn an Funktion.

Dies war für uns der Grund, in Zusammenarbeit mit Prof. Binkofski das Videotraining bei Schlaganfallpatienten weiter zu entwickeln. Es wurden 45 Handtätigkeiten unterschiedlichen Schweregrades von Ergo- und Physiotherapeuten mittels Videokamera aufgenommen. Dabei handelt es sich zum Teil um sehr schwierige feinmotorische Tätigkeiten, z. B. Münzen einzeln aus der Hand auf den Tisch zu legen und sie anschließend einzeln wieder aufzusammeln. Teils handelt es sich um einfache grobmotorische Greifbewegungen (z. B. ein Glas erfassen und anheben), zum Teil handelt es sich um Schulterbewegungen, wenn die Hand plegisch ist (z. B. in stehender Position die gelähmte Hand von einem Regalfach auf das nächst höhere legen).

Voruntersuchungen bei gesunden Probanden haben gezeigt, dass die Beobachtung einfacher motorischer Handübungen zu einer bilateralen Aktivierung des superioren und inferioren parietalen Kortex führt, des dorsalen und ventralen prämotorischen Kortex, des ventro- und dorsolateralen präfrontalen Kortex und des okzipitalen Kortex [30] (Abb. 3).

Eine Untersuchung der Altersabhängigkeit ergab, dass große Teile des motorischen Kortex mit zunehmendem Alter eine erhöhte Aktivität aufweisen. Dies wurde als Kompensationsmechanismus gedeutet und steht in Einklang mit zahlreichen Untersuchungen zu den Altersveränderungen im motorischen System [31] und der Altersentwicklung im Allgemeinen [32]. Bemerkenswerterweise scheint dies für das Spiegelneuronen-

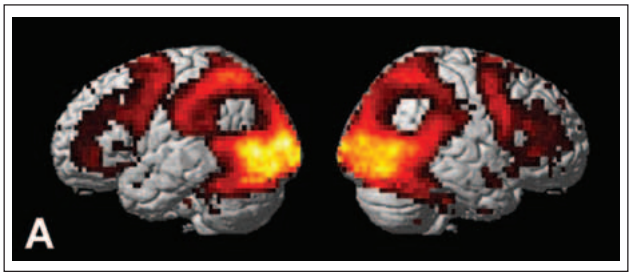

Abbildung 3: Oberflächenprojektion der Aktivierung während der Bewegungsbeobachtung. Dieses Muster ist komplementär zu den sensiblen Stimulationen, wie es sich z. B. bei der passiven Handbewegung zeigt, die am stärksten den primär sensomotorischen Kortex stimuliert. Dieser Bereich ist bei der Bewegungsbeobachtung nicht signifikant aktiviert. Die Abbildung verdeutlicht, dass Therapien wie die CIMT, die vornehmlich auf M1 wirken, sich vermutlich sehr gut ergänzen mit Therapien, die vornehmlich im Assoziationskortex wirken, wie die Bewegungsbeobachtung.

system nicht der Fall zu sein. Dies zeigte in unseren Untersuchungen keine Altersabhängigkeit [30], was sich als besonders wertvoll bei der Rehabilitation von Schlaganfallpatienten erweisen könnte, da diese Population üblicherweise im Alter fortgeschritten ist. Die Datensammlung der Konstanzer Videostudie ist mittlerweile abgeschlossen; die Auswertung steht aus.

Mittlerweile ist eine weitere Videostudie in Vorbereitung. Sie wird unter Leitung von Herrn Prof. Binkofski im Rahmen einer Multicenter-Studie durchgeführt. Teilnehmende Kliniken sind u. a. die Segeberger Kliniken in Bad Segeberg und die St.-Mauritius-Therapieklinik in Meerbusch. Hier sollen insgesamt 375 Patienten im Anschluss an die stationäre Rehabilitation randomisiert eingeschlossen werden. Die Patienten erhalten eine DVD mit motorischen Videos mit nach Hause, mithilfe derer sie für 6 Wochen täglich eine Stunde üben sollen. Dabei werden jeweils 3 Min. lang die motorischen Sequenzen intensiv beobachtet, um sie anschließend zu imitieren und 6 Min. lang zu wiederholen. Die Rekrutierung der Patienten beginnt im Sommer 2011 in den oben genannten Zentren und wird sich über 2 Jahre erstrecken.

Mentales Training

Zum mentalen Training gehört die Bewegungsvorstellung (Tab. 1). Man unterscheidet zwischen der kinästhetischen und der visuellen Bewegungsvorstellung. Kinästhetische Bewegungsvorstellung bedeutet, dass der Proband sich vorstellt bzw. aus der Erinnerung abruft, wie sich die Bewegung anfühlt. Bei der visuellen Bewegungsvorstellung wird der Bewegungsablauf vor dem geistigen Auge abgerufen, wie der Bewegungsablauf aussieht, wenn man sich diesen von außen ansieht. Dies ist sowohl für eine dritte Person möglich, als auch für die eigene. Die kinästhetische Vorstellung wird meist mit der Perspektive aus der ersten Person gleichgesetzt. Binkofski und Solodkin hatten schon einmal auf die unterschiedlichen neuronalen Korrelate hingewiesen, die beiden Prozessen zugrunde liegen [33, 34]. Guillot wies darauf hin, dass die visuelle Bewegungsvorstellung stärker die primären visuellen Areale und den SPL aktiviert, die kinästhetische Bewegungsvorstellung stärker die inferior parietalen Abschnitte, frontale Kortexareale, Kleinhirn und Basalganglien [35, 36]. Auch Pelgrims et al. fanden, dass die visuelle Vorstellung den SPL stärker aktiviert und motorische Bewegungsvorstellung stärker den Gyrus supramarginalis [37]. Kinästhetische Bewegungsvorstellung scheint eher einen Effekt auf Fazilitierung im primärmotorischen Kortex zu haben als die visuelle Bewegungsvorstellung [38]. In ähnlicher Weise gibt es Hinweise, dass die Perspektive relevant ist für das Ausmaß der Aktivierung im primär sensomotorischen Kortex: Die Aktivität ist höher, wenn die Beobachtung aus der Perspektive der 1. Person anstelle der 3. Person erfolgt [7]. Ähnliches ist für das Ausmaß der Fazilitierung zu vermuten. Dies würde für die Anwendung von Videos in der Neurorehabilitation sprechen, die aus der 1. Perspektive aufgenommen sind. Dies ist bisher aber nicht systematisch untersucht. Für die Trainingsinstruktion würde dies bedeuten, im Bereich der Neurorehabilitation bei Patienten eher mit kinästhetischem Vorstellungstraining zu arbeiten. Andererseits gibt es auch Hinweise, dass die Beobachtung aus der Perspektive der dritten Person mehr mentale Transformation voraussetzt, mehr Anstrengung und ein besseres Verständnis des Handlungsablaufs [7]. Diese vermehrte mentale Transformation soll die Nachhaltigkeit des motorischen Lernens unterstützen. Ob Patienten zur Perspektive der 1. Person genauso gut in der Lage sind wie zur etwas leichteren Perspektive der 3. Person, oder ob es einen Wirksamkeitsunterschied gibt, ist bisher nicht bekannt.

Tabelle 1: Psychophysiologische Aspekte assoziiert mit Bewegungsvorstellung. Es soll verdeutlicht werden, dass Bewegungsvorstellung kein unidimensionaler, eindeutiger Prozess ist, sondern – ähnlich wie generell bei motorischer Kontrolle – ein Kontinuum von Prozessen beteiligt ist zwischen Perzeption und Bewegungsausführung.

Perzeption/Kognition	Vor dem inneren Auge sehen
	Bewusste Wahrnehmung aus Erlebtem
	Mentales Wiederholen
	Generieren von Bildern, im Arbeitsspeicher halten und verändern
	Zugang zum motorischen System
	Ansprechen neuronaler Repräsentationen
	Bewegungsvorbereitung
	Simulation
	Verdeckte Bewegungsausführung
Motorik/motorische Exekutive	Vorhersagen zum Bewegungserfolg möglich

Bewegungsvorstellung kann durch systematische Anwendung und Wiederholung zum Bewegungsvorstellungstraining werden. Diese Therapieoption ist vor allem durch professionelle Musiker und Sportler benutzt worden [39]. Es lag nahe, diesen Effekt auch auf die Rehabilitation bei zentralen Läsionen zu übertragen [40].

Eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Aktivierungen während der Bewegungsvorstellung umfangreicher sind als bei der Bewegungsbeobachtung [41]. Dies könnte ein Argument dafür sein, dass Bewegungsvorstellung zu einer umfangreicheren oder stärkeren Aktivierung im motorischen System führen kann und möglicherweise als Therapie-

option den Vorzug erhalten sollte. Andererseits fällt es Schlaganfallpatienten ganz offensichtlich leichter, mithilfe von Videos motorische Übungen zu beobachten und Bewegungsversuche durchzuführen, als dies rein mental mittels Bewegungsvorstellung zu versuchen. Insofern ist hinsichtlich der Kooperation die Videobeobachtung für die Patienten die deutlich einfachere Variante. Die Zukunft wird zeigen, welche Patienten in welcher Phase für welche Therapie geeigneter sind.

Ungeachtet dieser kritischen Vorbemerkung gibt es zumindest bei selektierten Patienten gute Hinweise für eine Wirksamkeit als „Add-on"-Therapie. Zunächst gab es einige Pilotversuche, die darauf hindeuteten, dass ein Training mittels Bewegungsvorstellungsvermögen möglich ist [42–47]. Die Zahl der Übersichtsarbeiten, die das mentale Training in der Neurorehabilitation euphorisch propagieren, ist deutlich größer [9, 48–51] als die Zahl der kontrollierten klinischen Studien. Mittlerweile gibt es 4 klinische, randomisierte und kontrollierte Studien zu Bewegungsvorstellung, die eine Wirksamkeit belegt haben [52–56]. Unklar bleibt, wie hochgradig selektiert die Patienten waren. Es sind mehrere randomisierte kontrollierte Studien zu diesem Thema angemeldet [57–59]. Vom praktischen Standpunkt betrachtet haben viele Therapeuten den Eindruck, dass sich nur ein begrenzter Teil der Patienten für ein mentales Training eignet, insbesondere unter den Schwerbetroffenen und in der frühen Rehabilitationsphase. Man wird in den nächsten Jahren sicherlich weiter untersuchen müssen, ob sich mittels klinischer Tests oder funktioneller Bildgebung differenzieren lässt, welcher Patient für mentales Training geeignet sein oder welcher Patient besonders davon profitieren könnte. Vermutlich wäre es zu einfach, dies nur von der Infarktlokalisation abhängig zu machen, da Vorerfahrung, Persönlichkeit, Motivation, Selbstwirksamkeit und viele andere Faktoren ebenso wichtig sind. Ferner ist das mentale Training bisher immer nur als Ergänzung oder als „Add-on"-Therapie verwendet worden. Vermutlich wird dies auch in Zukunft so bleiben.

Zusammenfassung und Ausblick

Während sich klassischerweise die Therapien in der Neurorehabilitation vor allem aus der praktischen Erfahrung entwickelt haben, stehen heutzutage neue Therapieansätze zur Verfügung, die ganz wesentlich durch die Neurowissenschaften geprägt, initiiert oder unterstützt werden. Hierzu gehören „constraint-induced movement therapy" (CIMT), Videotraining, Spiegeltraining, mentales Training, roboterunterstütztes Training, der Einsatz der repetitiven Magnetstimulation oder der transkraniellen Gleichstromstimulation. Sie machen die Arbeit in der Rehabilitation extrem interessant und fruchtbar. Neurorehabilitation und -wissenschaften rücken an einigen Stellen sehr eng zusammen und inspirieren sich wechselseitig. So ist es auch institutionell in verschiedenen Rehabilitationskliniken und universitären Einrichtungen zu engen Kooperationen gekommen, die für beide Seiten eine große Bereicherung darstellen. In diesem Sinne steht der Neurorehabilitation in Zusammenarbeit mit Neurowissenschaften, Psychologie, Sportwissenschaft, Ingenieurwissenschaften und vielen anderen Fachbereichen eine spannende weitere Entwicklung bevor.

Relevanz für die Praxis

Die Evidenz für die Wirksamkeit der Videotherapie ist derzeit noch nicht hinreichend belegt, um sie in Leitlinien zu empfehlen. Ihre Wirksamkeit wird zurzeit in Studien weiter abgeklärt. Die Akzeptanz bei den Patienten ist hoch und sie scheint geeignet zu sein, Patienten zu regelmäßigem heimbasiertem Training zu motivieren.

Training mittels Spiegeltherapie hat eine mittlere Empfehlungsstärke als „Add-on"-Therapie in Ergänzung zu gängigen Verfahren [60]. Möglicherweise ist sie bevorzugt wirksam bei hochgradigen Paresen oder Plegien und hat unter Umständen auch einen positiven Effekt auf die Sensibilität. Eine Studie hat auch den Einsatz für die untere Extremität empfohlen.

Mentales Training mittels Bewegungsvorstellung hat vermutlich ebenfalls als „add on" einen positiven Effekt. Hier ist die Frage, welche Patienten dazu in der Lage sind, um davon zu profitieren.

Interessenkonflikt

Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung

Die Autoren danken Frau A. Ruchay-Plössl, Frau C. Rothmeier und Herrn M. Arndt für die Erstellung der Videos für die Videotherapie. Frau C. Rothmeier war darüber hinaus maßgeblich für die Testungen der Patienten verantwortlich. Herrn Th. Platz danken sie für die Unterstützung bei einer vorhergehenden unveröffentlichten Version eines Manuskripts.

Literatur:

1. Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. Ann Rev Neurosci 2004; 27: 169–92.
2. Hamzei F, Rijntjes M, Dettmers C, et al. The human action recognition system and its relationship to Broca's area: an fMRI study. Neuroimage 2003; 19: 637–44.
3. Iacoboni M. Neural mechanisms of imitation. Curr Opin Neurobiol 2005; 15: 632–7.
4. Keysers C, Gazzola V. Expanding the mirror: vicarious activity for actions, emotions, and sensations. Curr Opin Neurobiol 2009; 19: 666–71.
5. Stefan K, Cohen LG, Duque J, et al. Formation of a motor memory by action observation. J Neurosci 2005; 25: 9339–46.
6. Stefan K, Classen J, Celnik P, et al. Concurrent action observation modulates practice-induced motor memory formation. Eur J Neurosci 2008; 27: 730–8.
7. Jackson PL, Meltzoff AN, Decety J. Neural circuits involved in imitation and perspective-taking. Neuroimage 2006; 31: 429–39.
8. Stephan KM, Fink GR, Passingham RE, et al. Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. J Neurophysiol 1995; 73: 373–86.
9. Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? Stroke 2006; 37: 1941–52.
10. Zimmermann-Schlatter A, Schuster C, Puhan MA, et al. Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. J Neuroeng Rehabil 2008; 5: 8.
11. Grezes J, Decety J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. Hum Brain Mapp 2001; 12: 1–19.
12. Zentgraf K, Stark R, Reiser M, et al. Differential activation of pre-SMA and SMA proper during action observation: effects of instructions. Neuroimage 2005; 26: 662–72.
13. Buccino G, Vogt S, Ritzl A, et al. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. Neuron 2004; 42: 323–34.
14. Piefke M, Kramer K, Korte M, et al. Neurofunctional modulation of brain regions by distinct forms of motor cognition and movement features. Hum Brain Mapp 2009; 30: 432–51.
15. Munzert J, Zentgraf K, Stark R, et al. Neural activation in cognitive motor processes: comparing motor imagery and observation of gymnastic movements. Exp Brain Res 2008; 188: 437–44.
16. Altschuler EL, Wisdom SB, Stone L, et al. Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. Lancet 1999; 353: 2035–6.
17. Ramachandran VS, Altschuler EL. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. Brain 2009; 132: 1693–710.

18. Stoykov ME, Corcos DM. A review of bilateral training for upper extremity hemiparesis. Occup Ther Int 2009; 16: 190–203.

19. Celnik P, Stefan K, Hummel F, et al. Encoding a motor memory in the older adult by action observation. Neuroimage 2006; 29: 677–84.

20. Celnik P, Webster B, Glasser DM, et al. Effects of action observation on physical training after stroke. Stroke 2008; 39: 1814–20.

21. Garry MI, Loftus A, Summers JJ. Mirror, mirror on the wall: viewing a mirror reflection of unilateral hand movements facilitates ipsilateral M1 excitability. Exp Brain Res 2005; 163: 118–22.

22. Miltner R, Simon U, Netz J, et al. Bewegungsvorstellung in der Therapie von Patienten mit Hirninfarkt. In: Dettmers C, Rijntjes M, Weiller C (Hrsg). Funktionelle Bildgebung und Physiotherapie. Hippocampus Verlag, Bad Honnef, 1998; 181–98.

23. Sütbeyaz S, Yavuzer G, Sezer N, et al. Mirror therapy enhances lower-extremity motor recovery and motor functioning after stroke: a randomized controlled trial. Arch Phys Med Rehabil 2007; 88: 555–9.

24. Dohle C, Püllen J, Nakaten A, et al. Mirror therapy promotes recovery from severe hemiparesis: a randomized controlled trial. Neurorehabil Neural Repair 2009; 23: 209–17.

25. Yavuzer G, Selles R, Sezer N, et al. Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: a randomized controlled trial. Arch Phys Med Rehabil 2008; 89: 393–8.

26. Ezendam D, Bongers RM, Jannink MJ. Systematic review of the effectiveness of mirror therapy in upper extremity function. Disabil Rehabil 2009; 31: 2135–49.

27. Oujamaa L, Relave I, Froger J, et al. Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. Ann Phys Rehabil Med 2009; 52: 269–93.

28. Doyle S, Bennett S, Fasoli SE, et al. Interventions for sensory impairment in the upper limb after stroke. Cochrane Database Syst Rev 2010; (6): CD006331.

29. Ertelt D, Small S, Solodkin A, et al. Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. Neuroimage 2007; 36 (Suppl 2): T164–T173.

30. Nedelko V, Hassa T, Hamzei F, et al. Age-independent activation in areas of the mirror neuron system during action observation and action imagery. A fMRI study. Restor Neurol Neurosci 2010; 28: 737–47.

31. Ward NS, Frackowiak RS. Age-related changes in the neural correlates of motor performance. Brain 2003; 126: 873–88.

32. Cabeza R. Cognitive neuroscience of aging: contributions of functional neuroimaging. Scand J Psychol 2001; 42: 277–86.

33. Solodkin A, Hlustik P, Chen EE, et al. Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery. Cereb Cortex 2004; 14: 1246–55.

34. Binkofski F, Amunts K, Stephan KM, et al. Broca's region subserves imagery of motion: a combined cytoarchitectonic and fMRI study. Hum Brain Mapp 2000; 11: 273–85.

35. Guillot A, Collet C, Nguyen VA, et al. Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: an fMRI study. Hum Brain Mapp 2009; 30: 2157–72.

36. Fleming MK, Stinear CM, Byblow WD. Bilateral parietal cortex function during motor imagery. Exp Brain Res 2010; 201: 499–508.

37. Pelgrims B, Andres M, Olivier E. Double dissociation between motor and visual imagery in the posterior parietal cortex. Cereb Cortex 2009; 19: 2298–307.

38. Stinear CM, Byblow WD, Steyvers M, et al. Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. Exp Brain Res 2006; 168: 157–64.

39. Feltz DL, Landers DM. The effects of mental practice on motor skill learning and performance: a meta-analysis. J Sports Psychol 1983; 5: 25–57.

40. Zentgraf K, Lorey B, Reiser M, et al. Bewegungsvorstellungstraining in der motorischen Rehabilitation. Neurologie Rehabilitation 2009; 15: 242–8.

41. Wenkeler V, Hassa T, Hamzei F, et al. Differenzielle kortikale Aktivierung während Bewegungsbeobachtung und -vorstellung. 18. Rehabilitationswissenschaftliches Kolloquium. DRV-Schriften Band 2009; 83: 345–7.

42. Jackson PL, Doyon J, Richards CL, et al. The efficacy of combined physical and mental practice in the learning of a foot-sequence task after stroke: a case report. Neurorehabil Neural Repair 2004; 18: 106–11.

43. Butler AJ, Page SJ. Mental practice with motor imagery: evidence for motor recovery and cortical reorganization after stroke. Arch Phys Med Rehabil 2006; 87 (Suppl 2): S2–S11.

44. Dijkerman HC, Ietswaart M, Johnston M, et al. Does motor imagery training improve hand function in chronic stroke patients? A pilot study. Clin Rehabil 2004; 18: 538–49.

45. Crosbie JH, McDonough SM, Gilmore DH, et al. The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. Clin Rehabil 2004; 18: 60–8.

46. Müller K, Bütefisch CM, Seitz RJ, et al. Mental practice improves hand function after hemiparetic stroke. Restor Neurol Neurosci 2007; 25: 501–11.

47. Stevens JA, Stoykov ME. Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis. Arch Phys Med Rehabil 2003; 84: 1090–2.

48. de Vries S, Mulder T. Motor imagery and stroke rehabilitation: a critical discussion. J Rehabil Med 2007; 39: 5–13.

49. Mulder T. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. J Neural Transm 2007; 114: 1265–78.

50. Braun S, Kleynen M, Schols J, et al. Using mental practice in stroke rehabilitation: a framework. Clin Rehabil 2008; 22: 579–91.

51. Buccino G, Solodkin A, Small SL. Functions of the mirror neuron system: implications for neurorehabilitation. Cogn Behav Neurol 2006; 19: 55–63.

52. Page SJ, Levine P, Sisto S, et al. A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. Clin Rehabil 2001; 15: 233–40.

53. Page SJ, Levine P, Leonard A. Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. Stroke 2007; 4: 1293–7.

54. Liu KP. Use of mental imagery to improve task generalisation after a stroke. Hong Kong Med J 2009; 15 (Suppl 4): 37–41.

55. Liu KP, Chan CC, Wong RS, et al. A randomized controlled trial of mental imagery augment generalization of learning in acute poststroke patients. Stroke 2009; 40: 2222–5.

56. Liu KP, Chan CC, Lee TM, et al. Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: a randomized controlled trial. Arch Phys Med Rehabil 2004; 85: 1403–8.

57. Ietswaart M, Johnston M, Dijkerman HC, et al. Recovery of hand function through mental practice: a study protocol. BMC Neurol 2006; 6: 39.

58. Schuster C, Butler J, Andrews B, et al. Comparison of embedded and added motor imagery training in patients after stroke: study protocol of a randomised controlled pilot trial using a mixed methods approach. Trials 2009; 10: 97.

59. Verbunt JA, Seelen HA, Ramos FP, et al. Mental practice-based rehabilitation training to improve arm function and daily activity performance in stroke patients: a randomized clinical trial. BMC Neurol 2008; 8: 7.

60. Platz, T. Rehabilitative Therapie bei Armparese nach Schlaganfall. Neurologie Rehabilitation 2009; 15: 81–106.

Prof. Dr. med. Christian Dettmers

Leiter der neurologischen Abteilung der Kliniken Schmieder Konstanz. In seinem wissenschaftlichen Bemühen versucht er, in einer engen Kooperation mit den neurologischen Universitätskliniken in Freiburg und Magdeburg die funktionelle Bildgebung zur Darstellung von Therapieeffekten und Plastizität in der Rehabilitation zu nutzen.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere

zeitschriftenübergreifende Datenbank

☑ **Bilddatenbank** ☑ **Artikeldatenbank** ☑ **Fallberichte**

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☑ **Bestellung e-Journal-Abo**

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

Impressum **Disclaimers & Copyright** **Datenschutzerklärung**