

Bewegungsvorstellungstraining in der motorischen Rehabilitation

K. Zentgraf^{1,2}, B. Lorey^{2,3}, M. Reiser³, J. Munzert³

¹Universität Bern, Institut für Sportwissenschaft, ²Bender Institute of Neuroimaging, Universität Gießen, ³Universität Gießen, Institut für Sportwissenschaft

Zusammenfassung

Im Hinblick auf die Frage, wie zerebrale Reorganisationsprozesse im Rahmen motorischer Rehabilitation optimiert werden können, haben kognitiv orientierte Ansätze in den letzten Jahren verstärkt Aufmerksamkeit erlangt. In diesem Überblicksbeitrag werden die empirische Befundlage zu Bewegungsvorstellungen im Allgemeinen sowie der derzeitige Stand zum Einsatz von Bewegungsvorstellungstraining, im Speziellen bei Schlaganfallpatienten, aufgearbeitet. Dabei werden neben grundlegenden neurowissenschaftlichen Befunden zu »Motor Imagery« auch Verhaltensstudien vorgestellt, die verdeutlichen, dass Verarbeitungsprozesse bei tatsächlich ausgeführten und vorgestellten Bewegungen überlappen bzw. nach ähnlichen Prinzipien funktionieren. Relevante Faktoren für den Einsatz von Bewegungsvorstellungstraining werden extrahiert und kritisch beleuchtet. Außerdem werden Verfahren aufgezeigt, wie ein Bewegungsvorstellungstraining ablaufen kann. Insgesamt scheint Bewegungsvorstellungstraining eine vielversprechende Technik für die motorische Rehabilitation zu sein.

Schlüsselwörter: Motor Imagery, Bewegungsvorstellungen, mentales Training, motorische Rehabilitation, Schlaganfall

Motor imagery training in motor rehabilitation

K. Zentgraf, B. Lorey, M. Reiser, J. Munzert

Abstract

Cognitive tools to optimize cortical reorganization have attracted much attention in motor rehabilitation in the last decade. In this review, the contemporary knowledge concerning motor imagery in general as well as the usage of motor imagery protocols with stroke patients will be presented. Neuroscientific and behavioral findings suggest a functional equivalence between executed and simulated actions. Relevant factors for motor imagery interventions and procedures for practitioners will be presented. In sum, motor imagery training seems to be a promising tool for motor rehabilitation.

Key words: Motor imagery, mental training, motor rehabilitation, stroke

© Hippocampus Verlag 2009

Mentales Training/Bewegungsvorstellungstraining

Mentales Training bzw. Bewegungsvorstellungstraining wurde ursprünglich in der Sportpsychologie und in der Arbeitswissenschaft entwickelt, um motorische Lernprozesse zu optimieren [64, 65, 67]. Nach Ulich [65] versteht man unter mentalem Training das planmäßig wiederholte, bewusste Sich-Vorstellen von Bewegungsabläufen. Wir wollen im Folgenden den Begriff des Bewegungsvorstellungstrainings (BVT) verwenden, da er zum einen deutlich macht, dass Vorstellungen von Bewegungsabläufen systematisch dazu eingesetzt werden können, Lernprozesse zu verbessern und weil er zum anderen eine Abgrenzung zu

anderen Formen des mentalen Trainings (z.B. Emotionsregulation durch Selbstinstruktionen etc.) ermöglicht. Vorstellungen sind wahrnehmungsartige Erscheinungen, die intern generiert werden und nicht direkt auf einem aktuellen Wahrnehmungsstimulus basieren [1]. Sie können sich auf alle Wahrnehmungsmodalitäten (visuell, akustisch, kinästhetisch, usw.) beziehen. Die Bewegungsvorstellung ist durch ihren spezifischen Inhalt, nämlich die Vorstellung einer Bewegung, definiert. Im Rahmen von Trainingsprozessen unterscheidet man Vorstellungen aus der Ersten-Person-Perspektive (d.h. Vorstellung der eigenen Person; der Schwerpunkt liegt auf kinästhetischen Vorstellungen) und solche aus der Dritten-Person-Perspektive (d.h. aus einer

externen Perspektive werden schwerpunktmäßig visuelle Vorstellungen generiert). Häufig beinhalten Bewegungsvorstellungen auch Vorstellungen von Objekten. Die Vorstellung des Fangens und Werfens setzt z.B. immer auch die Vorstellung eines Balles voraus. Gleichzeitig beinhaltet die Bewegungsvorstellung das Vorstellen eines Akteurs: man kann sich selbst oder eine andere Person beim Fangen vorstellen. Bewegungsvorstellungen stellen also komplexe Phänomene dar, die sich deskriptiv-phänomenologisch (z.B. [38]) und neurophysiologisch (siehe im Überblick [39]) untersuchen lassen.

Funktionale Äquivalenz von Bewegungsvorstellung und Bewegungsausführung

Die Mentale Simulationstheorie [21] hat nachhaltig die Konzepte neuronaler Grundlagen der Bewegungsvorstellung beeinflusst. In ihr wird ein enger Zusammenhang zwischen der Beobachtung oder der Vorstellung und der realen Ausführung von Bewegungen postuliert. Die Phasen, in denen keine aktive Bewegungsausführung vorliegt, stellen »covert states«, also verdeckte Zustände der eigentlichen Ausführung, dar. Jeannerod [21] bezeichnet sie daher als »simulation states«. Für die Vorstellung von Bewegungen wird z.B. angenommen, dass Planung und Vorbereitung der Bewegungsausführung ganz ähnliche Prozesse beinhalten. In der neurowissenschaftlichen Literatur werden Bewegungsvorstellungen unter den Begriff »Motor Imagery« gefasst. Auf neuronaler Ebene lässt sich zeigen, dass das Vorstellen von Körperbewegungen zu Aktivierungen in motorik-relevanten Gehirnarealen führt. Dies sind der prämotorische Kortex (PMC), das supplementär-motorische Areal (SMA) und in einer zunehmenden Zahl an Studien auch der primäre motorische Kortex (M1) (siehe im Überblick [39, 31]). In der Regel finden sich bei Bewegungsvorstellungen auch Aktivierungen im Kleinhirn und den Basalganglien.

Ein besonderes Interesse der Vorstellungsforschung betrifft die Aktivierung des M1. Lotze et al. [29] wiesen eine M1-Aktivierung bei Bewegungsvorstellung bei allen von ihnen untersuchten Personen nach. Diese neuronale Aktivierung beim Vorstellen ist aber deutlich schwächer als beim Ausführen der Bewegung. Ein weiterer Unterschied zwischen Ausführung und Vorstellung besteht darin, dass die typische Lateralisierung der Gehirnaktivierung bei der Ausführung in der Vorstellung kaum feststellbar ist. Allerdings zeigt sich die somatotopische Organisation des M1 nicht nur bei Ausführung, sondern auch bei der Vorstellung [62]. M1- und S1-Aktivierungen werden insbesondere bei Motor Imagery gefunden, also der Form der Bewegungsvorstellung, die auf die eigene Person und die kinästhetischen Vorstellungen fokussiert; sie finden sich dagegen nicht bei visuellen Bewegungsvorstellungen [60]. Ebenso ergeben sich unterschiedliche M1-Aktivierungen bei Bewegungsvorstellungen zwischen Experten und Novizen [30]. Lorey et al. [26] zeigen, dass spezifisch bei Motor Imagery, jedoch nicht bei einer visuellen Vorstellung aus der Dritten-

Person-Perspektive, propriozeptive Informationen der aktuell eingenommenen Körperposition in sensorischen Integrationsarealen verarbeitet werden. Generell zeigen alle diese Befunde, dass motorische Areale insbesondere bei Motor Imagery und weniger bei visuellen Bewegungsvorstellungen aktiviert werden.

Isochronie zwischen Bewegungsvorstellung und Bewegungsausführung

In Chronometrie-Studien zu zeitlichen Aspekten von Bewegungsausführung und -vorstellung wird die real benötigte Dauer der Bewegungsausführung bestimmter Fertigkeiten mit der Dauer der Bewegungsvorstellung in spezifischen Aufgabensettings verglichen. Auf der Verhaltensebene ergibt sich eine ähnliche Dauer von Bewegungsausführung und -vorstellung. Untersucht wurden z.B. Gehen, Laufen, Schreiben, Malen, Pedalfahren und Badmintonspielen [9, 41]. Es zeigen sich des Weiteren ähnliche Einflüsse der Aufgabenschwierigkeit [57, 58], zusätzlicher Gewichte am Arm [15] oder von Schwerelosigkeit [47] auf die Dauer ausgeführter und vorgestellter Bewegungen. Hier, wie auch bei der Verlangsamung von Vorstellungen biomechanisch unbequemer oder biomechanisch unmöglicher Bewegungen, wird die Bedeutung von motorischen Repräsentationen für Bewegungsvorstellungen deutlich [49]. Betrachtet man ältere Personen über 80 Jahre [54] oder Personen nach einem Schlaganfallereignis [56], wird die Isochronie schwächer. Dies ist insbesondere im diagnostischen Kontext interessant.

Wirkungen von BVT

Bewegungsvorstellungen erzeugen ähnliche Prozesse der Veränderungen im vegetativen Nervensystem wie sie auch für die Bewegungsausführung bekannt sind. Dieser Zusammenhang scheint insbesondere bei Personen mit motorischer Expertise replizierbar zu sein [18]. Neben elektrophysiological Prozessen zeigen sich auch Veränderungen bei der Atem- und der Herzfrequenz während der Vorstellung, die nicht auf einen erhöhten Sauerstoffverbrauch in der Muskulatur zurückgeführt werden können [8].

Ein weiteres, vor allem für den Sportbereich relevantes Anwendungsfeld von BVT bezieht sich auf Kraftproduktion. In einer Reihe von Trainingsstudien wurde gezeigt, dass die maximale, willkürlich generierbare Muskelkraft durch die Vorstellung maximaler Muskelkontraktionen gesteigert werden kann. In diesen Studien sind die Versuchspersonen instruiert, sich maximale Kraftentfaltungen möglichst lebhaft kinästhetisch vorzustellen ohne dabei die Muskulatur tatsächlich anzuspannen (sogenanntes IMK-Training, d.h. imaginierte maximale Muskelkontraktionen als spezielle Form des BVT). Die berichteten Kraftgewinne sind dabei teils ganz erheblich. So erzielte die IMK-Gruppe in der Studie von Yue und Cole [69] einen signifikanten Kraftzuwachs von 22,0% bei einer Fingerabduktion, der annähernd so groß war wie der Zugewinn der rein physisch

trainierenden Gruppe (29,8%). Auch *Smith et al.* [59] fanden in einer Studie signifikante Steigerungen (23,3%) der Abduktionskraft des M. abductor digiti nach IMK-Training. *Ranganathan et al.* [51] replizierten diesen Vorstellungseffekt mit einer größeren Muskelgruppe (Ellbogenbeuger). Allerdings fallen die Kraftgewinne (13,5%) hier geringer als bei den beiden Fingerabduktions-Studien aus. *Zijdewind et al.* [72] zeigten, dass durch IMK-Training das maximale Drehmoment bei der Plantarflexion des Sprunggelenks signifikant vergrößert werden kann. In dieser Studie erzielte die Vorstellungsgruppe eine Kraftzunahme von 20%. In einer eigenen randomisierten, kontrollierten Trainingsstudie mit der Kraftübung »Bankdrücken« [53] fand sich ebenfalls ein signifikanter IMK-Effekt. Für den frühen Trainingsabschnitt (d. h. in der ersten Woche der insgesamt vierwöchigen Intervention) waren die Kraftgewinne dabei vergleichbar mit denen der physisch übenden Gruppe. Im weiteren Verlauf blieben die IMK-Effekte gegenüber dem physischen Training allerdings zurück. Mit einer Zunahme der maximalen isometrischen Kontraktionskraft um insgesamt 5,7% sind die Kraftgewinne im Vergleich zu den oben genannten Studien geringer. Allerdings war der hier gewählte Trainingsumfang, d. h. die Gesamtdauer aller vorgestellten, jeweils 5-sekündigen Kraftentfaltungen vergleichsweise gering (11 Minuten gegenüber z. B. 75 Minuten bei [69]). Des Weiteren ist zu bedenken, dass die Steigerungsraten bei eher untrainierten Muskeln wie den Fingerabduktoren aus trainingswissenschaftlicher Sicht erwartungsgemäß höher ausfallen als bei besser trainierten Muskelgruppen wie dem M. pectoralis major von Sportstudierenden.

In einer feldnahen und stärker anwendungsorientierten Untersuchung sind wir zudem der Frage nachgegangen, in welchem Ausmaß hochintensives Krafttraining (d. h. ein Training gegen Lasten >90% der Maximalkraft) durch ein entsprechendes IMK-Training kompensiert werden kann [52]. Hierzu wurden vier Bedingungen miteinander verglichen, die sich im prozentualen Anteil mentaler und physischer Ausführungen (75%, 50%, 25%, 0%) unterschieden. Im Prä-Post-Vergleich fanden sich unmittelbar nach der Intervention (Nachtst I) auch bei relativ hohen Anteilen imaginierter Muskelkontraktionen (50% bzw. 75%) annähernd so große Kraftgewinne wie sie durch ausschließlich physisches Training erreicht werden. Diese Kraftgewinne sind auch nach einer Woche ohne weiteres Training (Nachtst II) stabil erhalten und signifikant größer als die unter der Kontrollbedingung. Die Untersuchungen von *Ranganathan et al.* [50] und *Zijdewind et al.* [72] belegen darüber hinaus, dass die beschriebenen Kraftgewinne tatsächlich vorstellungsspezifisch sind. In beiden Studien erreichen Versuchspersonen, die sich bei der physischen Ausführung gegen geringe Lasten zeitgleich maximale Muskelkontraktionen vorzustellen hatten, beträchtliche Kraftzugewinne (>20%), wohingegen entsprechende physische Ausführungen ohne IMK keinen kraftsteigernden Effekt hatten. Offensichtlich ist die Vorstellung maximaler Muskelkontraktionen, d. h. die maximale zentralnervöse Aktivierung, für den Kraftzuwachs relevant.

Anwendung von Bewegungsvorstellungstraining (BVT): Sport, Musik, Rehabilitation

Seit geraumer Zeit gilt BVT als probates Mittel, um das Erlernen motorischer Fertigkeiten zu unterstützen, zu beschleunigen und damit zu verbessern [28]. So wird BVT im sportlichen Kontext zur Erreichung unterschiedlichster Ziele eingesetzt. Beispielsweise sollen mittels BVT sportliche Techniken neu gelernt, umgelernt oder nachhaltige Leistungseinbußen bei verletzungsbedingten Ruhigstellungen vermieden werden [11, 42]. Sportler, wie etwa Tänzer oder Turner, wenden BVT an, um die Sequenz der Bewegungselemente ihrer Kür zu konsolidieren. Ein weiteres konkretes Motiv des Sportlers zur Anwendung des BVT ist die Möglichkeit, Kraftsteigerungen zu erzielen (siehe oben), was die Anwendung von BVT insbesondere in Verletzungspausen attraktiv macht. Neben Sportlern sind professionelle Musiker eine weitere Personengruppe, die BVT nutzt. Sie setzen Vorstellungstraining zum Üben oder zur Konsolidierung von Stücken ein und integrieren dabei akustische, motorische und kinästhetische Informationen [30].

Die Tatsache, dass BVT motorische Repräsentationen nutzt und damit auch in Veränderungen dieser resultieren kann [20, 38], ist ein entscheidendes Argument für die Anwendung dieser Techniken in der motorischen Rehabilitation von Schlaganfall-, Parkinson- und Huntington-Patienten [68, 33, 46, 28, 14, 45, 63, 37, 12]; für Überblicke zu Schlaganfall, siehe [3, 55, 34]. Mittlerweile konnten einige Therapieevaluationsstudien den Nutzen des Einsatzes von BVT in der neurologischen Rehabilitation demonstrieren [6, 23, 14]. Mehrere Therapieevaluationsstudien zur Nützlichkeit von BVT wurden von der Gruppe um *Page* [44, 45, 46] durchgeführt. In ihrer ersten Studie wurden 13 Schlaganfallpatienten mit hemiparetischem Arm 6 Wochen lang (dreimal 30 Minuten pro Woche) entweder ergotherapeutisch kombiniert mit BVT oder ergotherapeutisch kombiniert mit Informationsvermittlung über Schlaganfallerkrankungen behandelt. Die Armfunktion wurde im Längsschnitt mit dem Fugl-Meyer Score und dem Action Research Arm Test (ARA) gemessen. Die Gruppe mit BVT verbesserte sich signifikant besser als die Gruppe, die gekoppelt mit ihrem ergotherapeutischen Training Informationen über Schlaganfall erhielt. In einer Folgestudie konnte ein ähnliches Ergebnis bei 11 Patienten repliziert werden, deren Schlaganfallereignis länger als ein Jahr zurücklag [44]. Hier wurde das physische Training entweder an BVT oder an Entspannungstraining gekoppelt. Auch bei dieser BVT-Intervention zeigten sich größere Verbesserungen im ARA und im Motor Activity Log als bei der Entspannungsintervention und dies, obwohl das Training nur zweimal pro Woche absolviert wurde.

All diese Befunde unterstützen den Einsatz von BVT in der neurologischen Rehabilitation. Da aber ein Therapieansatz letztlich an seinem Beitrag zur Bewältigung des Patientenalltags gemessen werden muss, sind insbesondere Daten relevant, die verdeutlichen, dass BVT auch eine verbesserte

Ausführung von Alltagsbewegungen bewirkt. In diesem Zusammenhang untersuchten *Stevens* und *Stoykov* [61] den Einfluss von BVT auf Alltagsbewegungen wie etwa das Greifen nach Objekten. Sie zeigten, dass BVT eine Verbesserung der Bewegungsausführung der paretischen Hand zur Folge hatte, was sich in verringerten Bewegungszeiten und einer verbesserten Funktionalität des betroffenen Effektors abbildete. Neben einer positiven Beeinflussung von alltagsrelevanten Bewegungen sind auch Transferwirkungen für einen nachhaltigen Therapieerfolg von Bedeutung. In der Tat gelang es zu zeigen, dass BVT nicht nur bei trainierten Bewegungen zu Kompetenzzugewinnen führt, sondern auch bei nicht-trainierten Bewegungen [16].

Neben den genannten Effekten von BVT auf die motorischen Leistungen der Patienten kann BVT mit weiteren positiven Erscheinungen verbunden sein. So weisen die Daten von *Liu* et al. [25] darauf hin, dass ein dreiwöchiges BVT von »Daily Activities« Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit induziert. Die Patienten in der Vorstellungsgruppe verbesserten sich bedeutsam in ihren Aufmerksamkeitsleistungen. Weitere Stärken des BVT werden auch deutlich, wenn man einen ökonomischen Blickwinkel einnimmt. BVT ist nur mit geringen Kosten verbunden, die Techniken benötigen keine Apparatur oder besondere Räumlichkeit und sind ungefährlich. Zudem können sie bereits in einem früheren Rehabilitationsstadium eingesetzt werden, in dem die Bewegungsausführung noch nicht möglich ist [27, 63]. Betrachtet man sich die neuronalen Korrelate im Rahmen einer fMRT-Studie mit gesunden und Schlaganfallbetroffenen Patienten von *Kimberley* et al. [24], so zeigte sich, dass Patienten bei Bewegungsvorstellungen stärker ipsilaterale Regionen des motorischen Kortex (M1 und SMA) im Vergleich zu gesunden Versuchspersonen aktivierten. Für die motorische Ausführung wurde dies bereits berichtet [22]; für einen Überblick zur Aktivierung motorischer Regionen nach Schlaganfall, siehe [4]. Ipsilaterale Aktivierung scheint hier mit schlechteren motorischen Ergebnissen zu korrelieren. Ob dies ein Effekt durch transkallosal vermittelte Inhibition der gesunden Hemisphäre auf die betroffene darstellt, bleibt genauso unklar wie die Anwendungsfrage, ob Bewegungsvorstellungen dann zu einem unerwünschten Konsolidierungseffekt führen könnten.

In der Zusammenschau all der berichteten Befunde ist die systematische Implementierung von BVT-Techniken in der neurologischen Rehabilitation bedenkenswert. Allerdings kann auch dieses Therapie-Tool nicht für alle Patienten geeignet sein. Im Weiteren werden die notwendigen Voraussetzungen des Patienten sowie die damit einhergehenden Limitationen des Einsatzes betrachtet.

Welche Voraussetzungen sollten Patienten für BVT haben?

In einer Studie von *Mulder* et al. [35] sollten Probanden die Abduktion des Großzehs erlernen. Sie verglichen eine physisch übende Gruppe mit einer mental übenden. Dabei zeigte sich erwartungsgemäß die beste Wirkung für ein physisches Training. Relevant war allerdings, dass BVT nur in

eine Verbesserung der Abduktion mündete, wenn initial der Großzeh zumindest ansatzweise abduziert werden konnte. Die Autoren schließen daraus, dass BVT nur erfolgreich ist, wenn eine grobe Bewegungsrepräsentation besteht, die dann durch BVT aktiviert und verfeinert werden kann. Bislang bleibt unklar, ob dies ein generalisierbarer Befund auch für Schlaganfallpatienten ist. Im Sportkontext (Turnen, Eiskunstlauf, etc.) wird gerade für noch nicht beherrschte Elemente BVT angewendet [43, 2]. Allerdings handelt es sich dabei häufig nicht um grundsätzlich neu zu erlernende Bewegungsmuster, sondern um eine Erhöhung der Schwierigkeitsanforderungen bereits beherrschter Elemente (z. B. der vier- statt dreifache Toeloop im Eiskunstlauf).

Ein weiteres in der Literatur diskutiertes Problem ist das der hinreichenden Vorstellungsfähigkeit der Patienten. Manche Autoren postulieren, dass nur gute Vorsteller von BVT profitieren könnten, da dies eine Voraussetzung für die Reaktivierung motorischer Areale sei. *Sirigu* et al. [58] und auch *Lotze* und *Halsband* [28] gehen davon aus, dass Patienten mit Läsionen im Parietallappen und in präfrontalen Arealen verminderte Vorstellungsfähigkeiten haben. *Jackson* et al. [19] zeigen allerdings, dass Hemiplegiker mit Läsionen in diesen Arealen durchaus Aufgaben lösen können, die auf Vorstellungen basieren. *Simmons* et al. [56] schließen Patienten mit schlechten Vorstellungsfähigkeiten (»chaotic motor imagery«) von BVT aus. Getestet werden Lateralitätssurteile zu rotierten rechten und linken Händen, die den Patienten präsentiert werden. Ihre Aufgabe ist es, so schnell wie möglich anzugeben, ob die rechte oder linke Hand abgebildet ist. Zum zweiten müssen die Patienten zunächst eine Finger-Tapping-Sequenz erlernen, die durch ein Metronom getaktet wird. Im Anschluss wird die Sequenz nicht mehr ausgeführt, sondern nur noch mental weitergeführt. Auf ein Stoppsignal müssen die Patienten angeben, welcher Finger an der Reihe ist. Im letzten Testitem wird die zeitliche Übereinstimmung zwischen dem Abbruch der Fingersequenz in der Ausführung und der Vorstellung getestet. Dabei steigert das Metronom seine Frequenz, so dass zu einem bestimmten Zeitpunkt die getaktete Ausführung nicht mehr möglich ist. Falls Patienten zu hohe Fehlerquoten, zu lange Antwortzeiten oder fehlende zeitliche Übereinstimmungen aufweisen, wird von einer unzureichenden Vorstellungsfähigkeit ausgegangen und kein BVT durchgeführt. Dieses Vorgehen erscheint zunächst plausibel, damit bleibt jedoch die Frage offen, ob in den Testitems schlecht abschneidende Patienten nicht dennoch von BVT einen Nutzen haben könnten. Des Weiteren sollte wiederholtes Praktizieren von BVT auch positive Veränderungen in den Testitems induzieren können, da es keinen überzeugenden Hinweis darauf gibt, dass Bewegungsvorstellungen nicht prinzipiell trainierbar sein könnten. Aus praktischer Sicht ist die Aufwand-Ertrags-Relation zu bedenken, so dass schlechte Vorsteller durchaus schnellere Verbesserungen ihrer motorischen Funktionen mit anderen Interventionsansätzen erzielen könnten.

Malouin et al. [32] untersuchten bei Schlaganfallpatienten den Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnisleistun-

gen und motorischen Gewinnen nach BVT gekoppelt mit physischem Training. Sie zeigten, dass das Ausmaß der funktionellen Verbesserung mit der Arbeitsgedächtnisleistung korreliert. Die Patienten mit normalen Leistungen des Arbeitsgedächtnisses zeigten nach der Intervention eine signifikant höhere Kraftentwicklung des betroffenen Beines beim Aufstehen und Hinsetzen im Vergleich zu Patienten, die Beeinträchtigungen des Arbeitsgedächtnisses aufwiesen. Ob diese Ergebnisse auch haltbar sind, wenn ein systematisches Training über längere Zeit durchgeführt wird, bleibt ungeklärt.

Bei der Diskussion, welche kognitiven Voraussetzungen Patienten mitbringen müssen, um von BVT zu profitieren, sollte aber berücksichtigt werden, dass BVT auch auf den neuropsychologischen Status der Patienten rückwirken kann. Wie bereits erwähnt, ließen Liu et al. [25] Schlaganfallpatienten entweder Daily Activities kombiniert mit Vorstellungen üben oder kombiniert mit zusätzlicher Unterstützung durch einen Therapeuten. Nur die Vorstellungsgruppe verbesserte sich bedeutsam in Tests zur Messung der Aufmerksamkeitsleistungen. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass BVT erwünschte Nebenwirkungen bzgl. des neuropsychologischen Status birgt. Andererseits wäre dies kein spezifischer BVT-Effekt, sondern könnte auch durch andere Interventionsansätze erzeugt werden.

Mögliche Kombination mit Beobachtungstraining

Der Aufgabenkontext, in dem Handlungen anderer Menschen beobachtet werden, ist relevant für Aktivierungen in sekundär-motorischen Arealen [71]. Daher erscheint plausibel, auch in Interventionen Bewegungsbeobachtung und Bewegungsvorstellung zu kombinieren (siehe im Überblick dazu auch [7, 36]). Dies wird durch Studien unterstützt, die Effekte von Beobachtungstraining auf motorische Funktionsverbesserungen von Schlaganfallpatienten gezeigt haben [13, 5]. In den Metaanalysen von Jeannerod [21] und Grèzes und Decety [17] zeigten sich Aktivierungsüberlappungen bei verschiedenen S-States (BV, Bewegungsbeobachtung, Bewegungsverbalisation). In einer Studie, in der direkt zwei S-States miteinander verglichen wurden [40], zeigte sich in einer sog. Konjunktionanalyse, dass in beiden Experimentalbedingungen Teile des dorsalen und ventralen prämotorischen Kortex, der supplementär-motorischen Area, des inferioren parietalen Kortex, der Basalganglien sowie des Kleinhirns im Vergleich zu einer Kontrollbedingung aktiviert sind. Es ist anzumerken, dass dies für den Fall gilt, wenn Versuchspersonen bereits während der Beobachtung der Bewegungen wissen, dass die beobachteten Bewegungen anschließend vorzustellen sind.

Im therapeutischen Setting könnte die gewünschte Bewegung vom Therapeuten vorgemacht oder Videos am Monitor beobachtet werden (z.B. auch bei [66]). Es wäre auch denkbar, dass Patientenpaare sich gegenseitig trainieren oder Angehörige von Patienten beobachtet werden. Die Einnahme einer visuellen Perspektive, die der einer Helm-

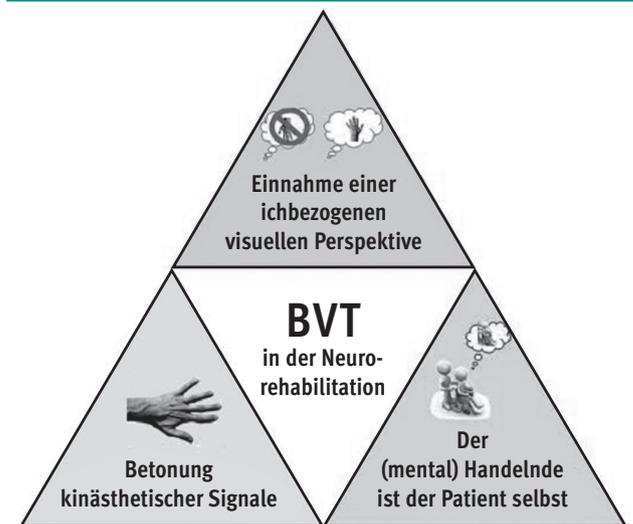


Abb. 1: Empfehlungen für den funktionell wirksamen Einsatz von Bewegungsvorstellungen im Rahmen motorischer Rehabilitation

kamera ähnelt, scheint besonders günstig, um motorische Areale zu aktivieren [70]. Die zu beobachtenden Bewegungen können dabei ganz an die Bedürfnisse des Patienten angepasst sein; es können eher basale Bewegungen (z.B. Faustschluss, Ellbogenstreckung) bis hin zu komplexen Bewegungshandlungen mit Objekten und/oder erhöhten Kraftanforderungen geübt werden (z.B. das bimanuelle Eindrehen einer schweren Schraube, das Auftürmen von gefüllten Getränkekisten). Im Anschluss an die Beobachtung folgt eine Vorstellungsphase mit Betonung der kinästhetischen Komponenten (das »Fühlen« der Bewegung). Die visuelle Perspektive im Rahmen der Vorstellung sollte wiederum der tatsächlichen bei der Ausführung entsprechen (»durch meine eigenen Augen schaue ich auf das zu greifende Objekt«). Außerdem sollte die eigene Person als Agent vorgestellt werden, nicht eine andere Person (siehe zu diesen Empfehlungen Abb. 1). Je nach Stadium und Zustand des Patienten kann danach eine Übungsphase folgen, bei der die Bewegungen tatsächlich ausgeführt werden, am besten mit realen Objekten und so alltagsnah wie möglich. Im anschließenden nächsten Abschnitt empfiehlt es sich, eine andere Bewegung zu üben, um theoretischen Überlegungen zum variablen Üben Rechnung zu tragen (z.B. Schema ABCD BDAC ADCB usw.).

Festzuhalten bleibt, dass dieser vorgeschlagene Ablauf auf Literatur zu einzelnen, nicht kombinierten Interventionen beruht wie auch auf Erfahrungen im Rahmen von Patiententrials. Der experimentelle Nachweis der Wirksamkeitserhöhung einer kombinierten Intervention steht noch aus. Erste Empfehlungen für den Einsatz von BVT in der physiotherapeutischen Praxis liegen vor [10].

Fazit

Bewegungsvorstellungstraining (BVT) scheint eine vielversprechende Technik in der motorischen Rehabilitation

zu sein. Dafür sprechen vorliegende Studien, die zeigen, dass BVT effektiv zur Verbesserung motorischer Leistungen beitragen kann. Gestützt werden diese Befunde durch neurowissenschaftliche Untersuchungen, die eine Aktivierung motorikbezogener Areale bei BVT belegen, die ähnlich der Aktivierung bei realer Bewegungsausführung ist. Mit der Simulationstheorie liegt darüber hinaus ein etabliertes theoretisches Konzept für diese funktionelle Äquivalenz und damit eine plausible Erklärungsbasis für BVT-Wirkungen vor. Die positiven Erfahrungen bisheriger klinischer Anwendungen weisen BVT als wirksame Ergänzung der vorliegenden Tools aus. Unter praktischer und pragmatischer Perspektive ist die Möglichkeit der selbständigen Anwendung des Patienten und der Kosteneffizienz hervorzuheben. Allerdings sind verschiedene Randbedingungen von BVT noch nicht hinreichend untersucht. Dazu gehören die Kriterien für die Patientenauswahl (Läsionsgrad, Läsionslokalisation, Vorstellungsfähigkeit, neuropsychologischer Status, Vorliegen einer basalen Bewegungsrepräsentation, etc.), die »minimal dose«, also der mindestens notwendige, wirksame Umfang und die Dauer des BVT, sowie die Integration bewegungswissenschaftlicher Befunde in die Übungsprotokolle (Verteilung der Übungsreihen, variables Üben, etc.). Zum Einsatz von Kraftvorstellungen in der motorischen Rehabilitation liegen nach unserem Kenntnisstand noch keine kontrollierten Trainingsstudien vor, obwohl die Anforderung unterschiedlich starke Muskelkontraktionen vorzustellen wirksam für die funktionell bedeutsame Reorganisation von motorischen Arealen sein könnte. Des Weiteren signalisieren bisherige Studienergebnisse, dass Patienten beim Aufbau von Bewegungsvorstellungen unterstützt werden können, wenn sie eindeutige Instruktionen bzgl. des Imagery-Typs erhalten und sie sich in eine der Vorstellung kompatible Körperposition bringen. Außerdem könnten sich Kombinationen von Beobachten-Vorstellen-Ausführen als sehr nützlich erweisen.

Zu betonen ist allerdings, dass BVT das Ausführungstraining nicht vollständig ersetzen, sondern lediglich ergänzen und optimieren kann. Diese Optimierung kann sich generell auf die Verbesserung der Funktionalität von Bewegungen, aber auch auf den Verlauf und die Nachhaltigkeit der Rehabilitation beziehen. Beispielsweise kann auch in einem frühen Stadium nach dem Schlaganfallereignis oder, wenn die physischen Ressourcen erschöpft sind, mental trainiert werden. Inwiefern BVT sich darüber hinaus positiv auf neuropsychologisch relevante Faktoren wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und Motivation auswirkt, bedarf weiterer Forschungsanstrengungen.

Literatur

- Annett J. Motor imagery: Perception or action? *Neuropsychologia* 1995; 33: 1395-1417.
- Arvinen-Barrow M, Weigand D, Thomas S, Hemmings B, Walley M. Elite and novice athletes' imagery use in open and closed sports. *J Appl Sport Psy* 2007; 19: 93-104.
- Braun S, Beurskens A, Borm PJ, Schack T, Wade DT. The effects of mental practice in stroke rehabilitation: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87: 842-852.
- Calautti C, Baron JC. Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults: a review. *Stroke* 2003; 34: 1553-1566.
- Celnik P, Webster B, Glasser DM, Cohen LG. Effects of action observation on physical training after stroke. *Stroke* 2008; 39: 1814-1820.
- Crosbie JH, McDonough SM, Gilmore DH, Wiggam MI. The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clin Rehabil* 2004; 18: 60-68.
- De Vries S, Mulder T. Motor imagery and stroke rehabilitation: A critical discussion. *J Rehabil Med* 2007; 39: 5-13.
- Decety J, Jeannerod M, Durozard D, Bavelier G. Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. *J Physiol* 1993; 461: 549-563.
- Decety J. Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Cog Brain Res* 1996; 3: 87-93.
- Dickstein R, Deutsch J. Motor imagery in physical therapist practice. *Phys Ther* 2007; 87: 942-953.
- Driskell JE, Copper C, Moran A. Does mental practice enhance performance? *J Appl Psy* 1994; 79: 481-492.
- Dunsky A, Dickstein R, Marcovitz E, Levy S, Deutsch J. Home-based motor imagery training for gait rehabilitation of people with chronic poststroke hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil* 2008; 89: 1580-1588.
- Ertelt D, Small S, Solodkin A, Dettmers C, McNamara A, Binkofski F, Buccino G. Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. *Neuroimage* 2007; 36: T164-T173.
- Gaggliolo A, Meneghini A, Morganti F, Alcaniz M, Riva G. A strategy for computer-assisted mental practice in stroke rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair* 2006; 20: 503-507.
- Gentili R, Cahouet V, Ballay Y, Papaxanthis C. Inertial properties of the arm are accurately predicted during motor imagery. *Behav Brain Res* 2004; 155: 231-239.
- Gentili R, Papaxanthis C, Pozzo T. Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice. *Neurosci* 2006; 137: 761-772.
- Grèzes J, Decety J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and generation of actions: a meta-analysis. *Hum Brain Map* 2001; 12: 1-19.
- Guillot A, Collet C. Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Res Brain Res Rev* 2005; 50: 387-397.
- Jackson PL, LaFleur MF, Malouin F, Richards C. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82: 1133-1141.
- Jackson PL, LaFleur MF, Malouin F, Richards CL, Doyon J. Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *Neuroimage* 2003; 20: 1171-1180.
- Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage* 2001; 14: 103-109.
- Johansen-Berg H, Dawes H, Guy C, Smith SM, Wade DT, Matthews PM. Correlation between motor improvements and altered fMRI activity after rehabilitative therapy. *Brain* 2002; 125: 2731-2742.
- Johnson-Frey SH. Stimulation through simulation? Motor imagery and functional reorganization in hemiplegic stroke patients. *Brain Cogn* 2004; 55: 328-331.
- Kimberley TJ, Khandekar G, Skrabala LL, Spencer JA, van Gorp EA, Walker SR. Neural substrates for motor imagery in severe hemiparesis. *Neurorehabil Neural Repair* 2006; 20: 268-277.
- Liu KP, Chan CC, Lee TM, Hui-Chan CW. Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85: 1403-1408.
- Lorey B, Bischoff M, Pilgramm M, Stark R, Muzert J, Zentgraf K. The embodied nature of motor imagery: the influence of posture and perspective. *Exp Brain Res* 2009; 194: 233-243.
- Lotze M, Cohen LG. Volition and imagery in neurorehabilitation. *Cog Behav Neurol* 2006; 19: 135-140.
- Lotze M, Halsband U. Motor imagery. *J Phys* 2006; 99: 386-395.
- Lotze M, Montoya P, Erb M, Hülsmann E, Flor H, Klose U, Birbaumer N, Grodd W. Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *J Cogn Neurosci* 1999; 11: 491-501.
- Lotze M, Scheler G, Tan HR, Braun C, Birbaumer N. The musician's brain: functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *Neuroimage* 2003; 20: 1817-1829.
- Lotze M, Zentgraf K. Contribution of the primary motor cortex to motor imagery. In: Guillot, A (ed): *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. Oxford University Press, New York in Druck.

32. Malouin F, Belleville S, Richards CL, Desrosiers J, Doyon J. Working memory and mental outcomes after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2004a; 85: 177-183.
33. Malouin F, Richards CL, Doyon J, Desrosiers J, Belleville S. Training mobility tasks after stroke with combined mental and physical practice: a feasibility study. *Neurorehabil Neural Repair* 2004b; 18: 66-75.
34. McEwen SE, Huijbrechts MPJ, Ryan JD, Polatajko HJ. Cognitive strategy use to enhance motor skill acquisition post-stroke: A critical review. *Brain Inj* 2009; 23: 263-277.
35. Mulder T, Zijlstra S, Zijlstra W, Hochstenbach J. The role of motor imagery in learning a totally novel movement. *Exp Brain Res* 2004; 154: 211-217.
36. Mulder T. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *J Neural Transm* 2007; 114: 1265-1278.
37. Müller K, Bütefisch CM, Seitz RJ, Hömberg V. Mental practice improves hand function after hemiparetic stroke. *Restor Neurol Neurosci* 2007; 25: 501-511.
38. Munzert J, Dültgen K, Möllmann H. Individuelle Merkmale von Bewegungsvorstellungen. Eine explorative Untersuchung im Badminton. *Psych Sport* 2000; 7: 15-25.
39. Munzert J, Lorey B, Zentgraf K. Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Res Brain Res Rev* 2009; 60: 306-326.
40. Munzert J, Zentgraf K, Stark R, Vaitl D. Neural activation in cognitive motor processes: comparing motor imagery and observation of gymnastic movements. *Exp Brain Res* 2008; 188: 437-444.
41. Munzert J. Does level of expertise influence imagined durations in open skills? Played versus imagined durations of badminton sequences. *Int J Sport Ex Psy* 2008; 6: 24-38.
42. Newsom J, Knight P, Balnave R. Use of mental imagery to limit strength loss after immobilization. *J Sport Rehab* 2003; 12: 249-258.
43. Nordin S, Cumming J, Vincent J, McGrory S. Mental practice or spontaneous play? Examining which types of imagery constitute deliberate practice in sport. *J Appl Sport Psy* 2006; 18: 345-362.
44. Page SJ, Levine P, Leonard A. Effects of mental practice on affected limb use and function in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86: 399-402.
45. Page SJ, Levine P, Leonard A. Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke* 2007; 38: 1293-1297.
46. Page SJ, Levine P, Sisto S, Johnston, MVA. Randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clin Rehabil* 2001; 15: 233-240.
47. Papaxanthis C, Pozzo T, Kasprinski R, Berthoz A. Comparison of actual and imagined execution of whole-body movements after a long exposure to microgravity. *Neurosci Lett* 2003; 339: 41-44.
48. Pascual-Leone A, Nguyet D, Cohen LG, Brasil-Neto JP, Cammarota A, Hallett M. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol* 1995; 74: 1037-1045.
49. Petit LS, Pegna AJ, Mayer E, Hauert CA. Representation of anatomical constraints in motor imagery: mental rotation of a body segment. *Brain Cogn* 2003; 51: 95-101.
50. Ranganathan VK, Kuykendall T, Siemionow V, Yue GH. Level of mental effort determines training-induced strength increases. Abstract: In *Society for Neuroscience* 2002; 32: 768.3.
51. Ranganathan VK, Siemionow V, Liu JZ, Sahgal V, Yue GH. From mental power to muscle power - gaining strength by using the mind. *Neuropsychologia* 2004; 42: 944-956.
52. Reiser M, Büsch D, Munzert J. Strength gains by imagination of muscle actions; in *Vorbereitung*.
53. Reiser M. Kraftgewinne durch Vorstellung maximaler Muskelkontraktionen. *Z Sportpsy* 2005; 12: 11-21.
54. Schott N, Munzert J. Temporal accuracy of motor imagery in older women. *Int J Sport Psy* 2007; 38: 304-320.
55. Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke* 2006; 37: 1941-1952.
56. Simmons L, Sharma N, Baron JC, Pomeroy VM. Motor Imagery to enhance recovery after subcortical stroke: who might benefit, daily dose, and potential effects. *Neurorehabil Neural Repair* 2008; 22: 458-467.
57. Sirigu A, Cohen L, Duhamel JR, Pillon B, Dubois B, Agid Y, Pierrot-Deseilligny C. Congruent unilateral impairments for real and imagined hand movements. *Neuroreport* 1995; 6: 997-1001.
58. Sirigu A, Duhamel JR, Cohen L, Pillon B, Dubois B, Agid Y. The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Sci* 1996; 273: 1564-1568.
59. Smith D, Collins D, Holmes P. Impact and mechanism of mental practice effects on strength. *Int J Sport Exerc Psy* 2003; 1: 293-306.
60. Solodkin A, Hlustik P, Chen EE, Small SL. Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery. *Cereb Cortex* 2004; 14: 1246-1255.
61. Stevens JA, Stoykov MEP. Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil* 2003; 84: 1090-1092.
62. Stippich C, Ochmann H, Sartor K. Somatotopic mapping of the human primary sensorimotor cortex during motor imagery and motor execution by functional magnetic resonance imaging. *Neurosci Lett* 2002; 331: 50-54.
63. Tamir R, Dickstein R, Huberman M. Integration of motor imagery and physical practice in group treatment applied to subjects with Parkinson's disease. *Neurorehabil Neural Repair* 2007; 21: 68-75.
64. Ulich E. Some experiments on the function of mental training in the acquisition of motor skills. *Ergonomics* 1967a; 10: 411-419.
65. Ulich E. Über verschiedene Methoden des Lernens sensumotorischer Fertigkeiten. *Arbeitswiss* 1967b; 6: 48-50.
66. Verbunt JA, Seelen HAM, Ramos FP, Michielsen BHM, Wetzelaer WL, Moennekens M. Mental practice-based rehabilitation training to improve arm function and daily activity performance in stroke patients: a randomized clinical trial. *BMC Neurol* 2008; 8: 1-10.
67. Volpert W. Sensumotorisches Lernen. Zur Theorie des Trainings in Industrie und Sport. Limpert, Frankfurt a. M. 1971.
68. Yáñez L, Canavan AGM, Lange HW, Hömberg V. Motor learning by imagery is differentially affected in Parkinson's and Huntington's diseases. *Behav Brain Res* 1999; 102: 115-127.
69. Yue G, Cole KJ. Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *J Neurophysiol* 1992; 67: 1114-1123.
70. Zentgraf K, Pilgramm S, Lorey B, Stark R, Munzert J. Differential activation of the lateral premotor cortex during action observation; in *Vorbereitung*.
71. Zentgraf K, Stark R, Reiser M, Künzell S, Schienle A, Kirsch P, Walter B, Vaitl D, Munzert J. Differential activation of pre-SMA and SMA proper during action observation: effects of instructions. *Neuroimage* 2005; 26: 662-672.
72. Zijdewind I, Toering ST, Bessem B, van der Laan O, Diercks RL. Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. *Muscle Nerve* 2003; 28: 168-173.

Interessenvermerk:

Es besteht kein Interessenkonflikt.

Korrespondenzadresse:

Dr. Karen Zentgraf
 Universität Bern
 Institut für Sportwissenschaft
 Bremgartenstr. 145
 CH-3012 Bern
 E-Mail: karen.zentgraf@ispw.unibe.ch