



- ▶ Bisher liegen ungenügend Erfahrungen vor, welche PatientInnen mit Handparese sich in Abhängigkeit von Größe und Lokalisation des Infarktes Bewegung ausreichend gut vorstellen können, um von einem systematischen Bewegungsvorstellungstraining zu profitieren (Einfluss des Infarkts auf das **Bewegungsvorstellungsvermögen**).
- ▶ Vermutlich bedarf es einer systematischen Vorbereitung und Einführung des Patienten/der Patientin in das Vorstellungstraining sowie einer systematischen Motivation und Schulung der TherapeutInnen (Entwicklung eines **Manuals**).
- ▶ Unklar ist, wie weit im Einzelfall Aufmerksamkeit, Konzentration, Arbeitsspeicher und Belastbarkeit eingeschränkt sein dürfen, um trotzdem Bewegungsvorstellungstraining erfolgreich durchführen zu können (Einfluss von **kognitiven Defiziten**), und ob bestimmte Vorerfahrung, Bewegungs- oder Vorstellungskompetenz Voraussetzung sind (Einfluss von **Vorerfahrungen und Persönlichkeit**).



## Bewegungsvorstellungstraining zur Rehabilitation des Schlaganfalls

Mentales Training mittels Bewegungsvorstellung scheint eine große Attraktivität auszuströmen – auf NeurowissenschaftlerInnen und AkademikerInnen mehr als auf BewegungstherapeutInnen. Grundkonzept ist die funktionelle Äquivalenz von Bewegungsausführung und Bewegungsvorstellung.<sup>1</sup> Das heißt, Neuronenverbände, die bei der Bewegungsvorstellung aktiviert werden, überlappen sich zu einem großen Teil mit entsprechenden Arealen, die bei der Bewegungsausführung aktiviert werden. Dies lässt vermuten, dass sich motorische Assoziationsareale durch Bewegungsvorstellung aktivieren lassen und dies bei systematischem Einsatz möglicherweise auch zu einer Verbesserung von Bewegungsabläufen führen könnte.<sup>2</sup> Zahlreiche kleine Pilotstudien wiesen auf einen positiven Effekt hin.<sup>3–6</sup> Große randomisierte Studien konnten diesen Effekt jedoch unerwarteterweise nicht einhellig reproduzieren.<sup>7–11</sup> Der folgende Artikel beschreibt zunächst die neurowissenschaftlichen Argumente für das Bewegungsvorstellungstraining. Anschließend werden Ergebnisse der randomisierten kontrollierten Studien zitiert, die die neurowissenschaftlichen Erwartungen hinsichtlich einer Wirksamkeit in der Rehabilitation des Schlaganfalls nicht erfüllten. Im dritten Teil soll versucht werden, diese vermeintlichen Widersprüche aufzulösen und Perspektiven für die Zukunft zu zeigen.

### Neurowissenschaftliche Argumente für die Wirkungsweise des Bewegungsvorstellungstrainings

Jeannerod hatte das Konzept der funktionalen Äquivalenz begründet, dass Bewegungsvorstellung und Bewegungsausführung vermutlich zu einem großen Teil überlappende Neuronenverbände nutzen.<sup>1</sup> Eine frühe Studie von Stephan bestätigte, dass bei der Bewegungsplanung und -vorbereitung vor allem der prämotorische und parietale Kortex aktiviert werden, nicht oder weniger stark der primärmotorische Kortex.<sup>12</sup> Dieser wird wiederum vorrangig bei der Bewegungsausführung in Ergänzung zum motorischen Assoziationskortex aktiviert. Dieses Konzept hat zunächst neurowissenschaftlich großes Aufsehen erregt, da damals realisiert wurde, wie stark die Motorik auch auf kognitiven Prozessen beruht.

In den weiteren bildgebenden Studien wurden die Paradigmen geringfügig abgeändert und die Aktivierung während der Bewegungsvorstellung bestimmt. Mittlerweile gibt es über 100 Studien, vor allem an gesunden ProbandInnen, die konstant reproduzieren konnten, dass bei der Bewegungsvorstellung eine starke Aktivierung im dorsalen und ventralen prämotorischen Kortex auftritt, in der supplementärmotorischen Area (SMA) und in dem superioren und inferioren parietalen Kortex. Häufig findet sich zusätzlich



**Prof. Dr. Christian Dettmers**  
Kliniken Schmieder Konstanz,  
Deutschland

eine Aktivierung in den visuellen Hirnrindenaerialen (**Abb. 1**).

Bemerkenswert ist, dass bei der Bewegungsvorstellung – im Vergleich zur Bewegungsausführung – überwiegend ein bihemisphärisches Netzwerk aktiviert wird. Dies könnte den Einsatz dieses Trainings bei einseitigen Hirnläsionen argumentativ unterstützen. Gleichzeitig erscheinen die Aktivierungen im Bereich der linken Hemisphäre häufig stärker.<sup>13–15</sup> Es gibt verschiedene Hinweise, dass die linke Hemisphäre auch für die Bewegungsvorstellung dominant ist und nach linkshemisphärischen Infarkten ein höherer Rekrutierungsaufwand für das Bewegungsvorstellungsvermögen besteht.<sup>16</sup> Während sich in der funktionellen Kernspintomografie bei der Bewegungsvorstellung häufig keine signifikante Aktivierung im primären sensorischen Kortex zeigt bzw. diese dort deutlich geringer ausfällt als im Assoziationskortex<sup>14</sup>, lässt sich mittels transkranieller

Magnetstimulation (TMS) nachweisen, dass sich während der Bewegungsvorstellung die Erregungsschwellen senken bzw. der primär-motorische Kortex leichter erregbar ist.<sup>17</sup> Die kernspintomografischen Studien deuten darauf hin, dass Bewegungsvorstellung vor allem den motorischen Assoziationskortex aktiviert.<sup>14</sup> Dies hat zu der Vermutung geführt, dass sich durch Bewegungsvorstellungstraining Bewegungsmuster konsolidieren lassen.<sup>18</sup>

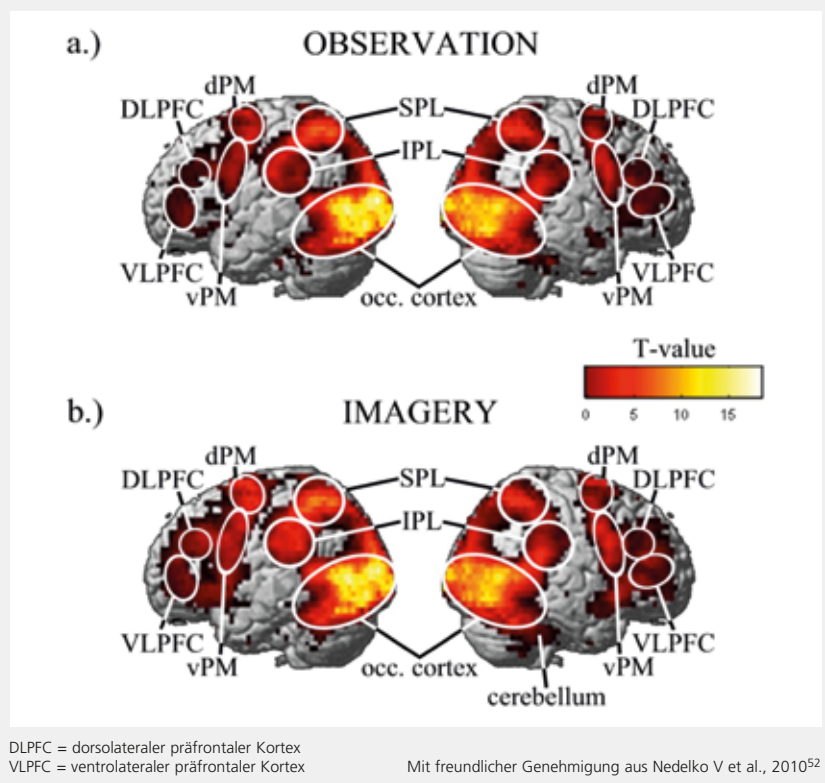
Schon aus den tierexperimentellen Arbeiten der 1980er-Jahre wusste man, dass es zur Steuerung der Handmotorik enge Faserverbindungen zwischen dem parietalen und prämotorischen Kortex gibt, die insbesondere für Greifbewegungen relevant sind.<sup>19</sup> In Ergänzung zu den funktionellen Untersuchungen haben MRT-Untersuchungen mittels Fibre Tracking nachgewiesen, dass es auch für das Bewegungsvorstellungsvermögen einen dorsalen und einen ventralen Pfad gibt.<sup>15</sup> Danach ist der ventrale Pfad für die Inhalte und die Semantik der Bewegungen zuständig, der dorsale Pfad eher für die Online-Steuerung der Handmotorik. Beide Pfade werden bei der Bewegungsvorstellung benutzt.<sup>15</sup>

### Definitionen von Bewegungsvorstellung

Man unterscheidet die explizite von der impliziten Bewegungsvorstellung. Bei der expliziten Bewegungsvorstellung erhält der Proband/die Probandin explizit die Aufgabe, sich Bewegung vorzustellen; das heißt, es kommt zur Aktivierung motorischer Bewegungsschablonen, ohne dass es zu einer motorischen Bewegung kommt.<sup>20</sup> Bei der impliziten Bewegungsvorstellung bekommen die ProbandInnen Aufgaben gestellt und müssen z. B. erkennen, ob es sich um eine rechte oder linke Hand handelt.<sup>21</sup> Dies wird üblicherweise dadurch gelöst, dass der Proband/die Probandin seine/ihre eigene Hand in die gezeigte dreht, um zu entscheiden, ob es die rechte oder die linke ist. Die Aufgabe lässt sich also nur mittels implizierter Bewegungsvorstellung lösen.

Von Bewegungsvorstellungstraining spricht man, wenn es zu systematischem Einsatz und

**Abb. 1:** Aktivierung bei gesunden ProbandInnen unterschiedlichen Alters vor allem im dorsalen (dPM) und ventralen (vPM) prämotorischen Kortex sowie im superioren (SPL) und inferioren (IPL) parietalen Kortex



Wiederholung von Bewegungsvorstellung mit dem Ziel einer Verbesserung der Bewegungsausführung kommt.<sup>22</sup>

### Randomisierte kontrollierte Studien

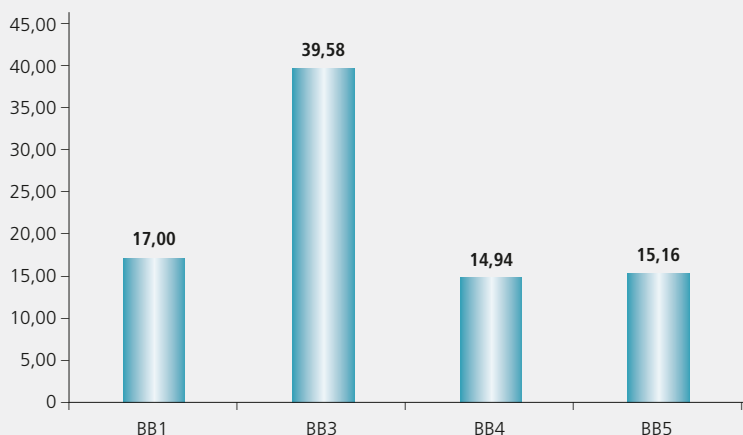
Nachdem eine Vielzahl kleiner Pilotuntersuchungen positiv bis euphorisch einen Effekt von Bewegungsvorstellungstraining nachzuweisen glaubte<sup>3, 4</sup>, gab es nachfolgend vorübergehend fast mehr Übersichtsarbeiten<sup>23-27</sup>, die dieses Training als elegante Methode in der Neurorehabilitation empfehlen, als es Originaldaten gab, die dies belegen konnten. In den nachfolgenden randomisierten kontrollierten Studien bestätigte sich nicht in dieser Weise, was die Pilotstudien nahegelegt hatten.

**Die Studie von Braun et al.** wurde an 36 PatientInnen mit Schlaganfall (durchschnittliches Alter 78 Jahre) in einem holländischen Pflegeheim durchgeführt.<sup>8</sup> Das Training ging

über 6 Wochen. In Woche 1 und 2 wurden Übungen und Bewegungsvorstellung erklärt und eingeübt, in den Wochen 3 bis 6 durchgeführt. Es fanden mindestens 10 Sitzungen statt, in denen geübt wurde. Es wurde erwartet, dass auch außerhalb der supervidierten Trainingszeiten mittels Bewegungsvorstellung geübt wird. Die Kontrollgruppe erhielt konventionelles Training ohne Bewegungsvorstellung. Alle PatientInnen nahmen an einer multiprofessionellen Rehabilitation teil. Der Umfang der Intervention war in den beiden Gruppen gleich groß. Primäres Outcome waren Eigenbewertungen von Alltagsaktivitäten, die auch im Bewegungsvorstellungstraining eingeübt wurden. Es zeigte sich keine Überlegenheit des mentalen Trainings gegenüber der konventionellen Vergleichsgruppe. Die AutorInnen schlugen als Erklärung für eine mangelnde Wirkung die Tatsache vor, dass die Rekrutierung in einem Pflegeheim stattfand und die Teilneh- ▶



**Abb. 2:** Ergebnisse eines chronometrischen Tests bei 31 PatientInnen mit Schlaganfall



Auf der nicht betroffenen Seite (die rechten 2 Säulen) ist der Mittelwert der Zeit, die die PatientInnen für die Vorstellung (BB4) der Durchführung des Box-und-Block-Tests benötigen, nahezu identisch mit der Zeit, die sie tatsächlich für die physische Durchführung (BB5) benötigen. Auf der betroffenen Seite weicht die Zeit für die Vorstellung der Bewegung (linke Säule, BB1) erheblich ab von der tatsächlichen Durchführung des Tests (2. Säule von links, BB3).

Quelle: Dettmers C et al., Acta Neurologica Scandinavica 2012; 126(4):238-47

merInnen möglicherweise nicht in einem ausreichend guten Zustand waren.

**Die Studie von Schuster et al.** verglich 2 experimentelle Gruppen mit einer Kontrollgruppe.<sup>9</sup> In einer experimentellen Gruppe übten PatientInnen nach einem Schlaganfall eine komplexe motorische Aufgabe. Dabei mussten sie sich aus dem Stand über den Kniestand zum Liegen auf den Boden legen und anschließend wieder aufstehen. Die Übung wurde in insgesamt 13 Schritte unterteilt. Die TeilnehmerInnen übten diese Aufgabe in der Physiotherapie. Zwischendurch stellten sie sich die Übungen mental vor, während sie entspannt auf dem Rücken lagen. Bei der 2. Experimentalgruppe bestand kein inhaltlicher Zusammenhang zwischen der Krankengymnastik und einem Bewegungsvorstellungstraining, wie es von Page vorgeschlagen wurde. Die 3. Gruppe erhielt nur Physiotherapie plus Entspannung. Alle 3 Gruppen erhielten in etwa den gleichen Umfang an Therapie, aufgeteilt auf insgesamt 9 Sitzungen innerhalb von 2 Wochen.

Primäres Outcome war die Zeit für die Ausführung der Aufgabe. In jeder Gruppe waren 13 TeilnehmerInnen. Interessant war die systematische Beschreibung dieser komplexen Aufgabe, die das Aufstehen involvierte. Es bestanden jedoch verschiedene methodische Schwierigkeiten. Die Ausgangsbasis war in den 3 Gruppen trotz Randomisierung unterschiedlich. Die Gruppengröße war möglicherweise zu klein. Die PatientInnen befanden sich im chronischen Stadium. Möglicherweise war die Dauer des Trainings über 2 Wochen nicht ausreichend lang. Insgesamt konnte zwischen den 3 Gruppen kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

**Die Studie von Magdalena Ietswaart** ist möglicherweise die qualifizierteste RCT zu diesem Thema.<sup>7</sup> Es wurden 121 PatientInnen 1 bis 6 Monate nach dem Infarkt eingeschlossen. Das Ziel war sehr ambitioniert: Es sollte nachgewiesen werden, dass sich durch ein isoliertes Bewegungsvorstellungstraining auch ohne begleitende Physiotherapie größere Effekte erzielen lassen als durch nicht-

motorisches Bewegungsvorstellungstraining und als bei PatientInnen, die normale Therapie erhielten. Outcome-Parameter war der Action-Research-Arm-Test. Trotz der hohen methodischen Qualität zeigte sich kein Unterschied zwischen den 3 Gruppen. Im Nachhinein könnte man argumentieren, dass das Ziel zu ehrgeizig gesetzt war. Möglicherweise kann man tatsächlich nicht erwarten, dass Bewegungsvorstellungstraining isoliert ohne physisches Üben wirksam ist, da in früheren Studien immer favorisiert wurde, das Vorstellungstraining mit der Ausführung zu kombinieren.

**Timmermans et al.** verglichen den Effekt eines 6-wöchigen Bewegungsvorstellungstrainings 2 bis 6 Wochen nach einem Schlaganfall mit Handparese im Vergleich zu einer konventionellen Fazilitierungstechnik.<sup>10</sup> Im Bewegungsvorstellungstraining übten die PatientInnen mindestens 3-mal pro Tag. Mittels Videos wurden sie instruiert und zum mentalen Training angehalten. Outcome waren der Fugl-Meyer-Test, der Frenchay-Arm-Test und der Wolf-Motor-Function-Test. Die Experimentalgruppe verbesserte sich, was auch nach 12 Monaten noch nachweisbar war. Es fand sich jedoch kein Unterschied zwischen den Gruppen, und es ergab sich kein Hinweis auf eine zusätzliche Wirksamkeit des mentalen Trainings gegenüber einer konventionellen Fazilitierungstechnik.

**Eine neue Studie von Oostra** untersuchte den Effekt von Bewegungsvorstellungstraining auf die Gangrehabilitation.<sup>11</sup> Es wurden 44 PatientInnen innerhalb von 12 Monaten nach dem Ereignis rekrutiert. 21 PatientInnen erhielten ein Vorstellungstraining, 23 PatientInnen nahmen an einem Entspannungstraining gleichen Umfangs teil. Dies wurde in Ergänzung zur Standardrehabilitation in Form von 2 Stunden Krankengymnastik und 1 Stunde Ergotherapie pro Tag an 5 Werktagen ausgeführt. Die Experimentalgruppe verbesserte sich in ihrem Gangbild mäßig gegenüber der Kontrollintervention. Im Nachhinein ist dies jedoch nicht so verwunderlich, da die Kont-

rollgruppe zusätzliches Entspannungstraining erhielt und keine aktive Therapie.

Trotz dieser nicht positiven randomisierten kontrollierten Studien wird dem mentalen Training in Übersichtsarbeiten ein klinischer Effekt nachgesagt<sup>28</sup>, was sich meines Erachtens aus den neueren randomisierten Studien nicht so einfach nachvollziehen lässt. Die Frage ist also: Wie erklären wir, dass einerseits viele neurowissenschaftliche Argumente dafür sprechen, dass Bewegungsvorstellungstraining eigentlich anregend und wirksam sein sollte, randomisierte klinische Studien dies jedoch nicht oder nicht in dieser Klarheit zeigen konnten?

### Testung des Bewegungsvorstellungsvermögens

Um zu überprüfen, ob sich PatientInnen nach einem Schlaganfall überhaupt Bewegung vorstellen können, ist es notwendig, dies zu testen. Hierfür haben sich mittlerweile 3 verschiedene Testarten ergeben. Eine übliche Methode ist die Testung des impliziten Bewegungsvorstellungsvermögens.<sup>21</sup> Hierzu werden PatientInnen mittels Computeranimation Hände dargeboten, und die ProbandInnen müssen entscheiden, ob es sich um eine rechte oder linke Hand handelt. Üblicherweise macht man das dadurch, dass man seine eigene rechte Hand in die abgebildete Hand hineinzudrehen versucht. Man geht davon aus, dass sich dieser Test nur korrekt beantworten lässt, wenn das Bewegungsvorstellungsvermögen erhalten ist.

**Chronometrische Tests:** Eine andere Möglichkeit der Testung stellen chronometrische Tests dar. Hierbei lässt man PatientInnen einen standardisierten Test durchführen, z. B. den Neun-Loch-Steck-Test oder den Box-und-Block-Test, und stoppt die Zeit. Anschließend bittet man die PatientInnen, sich dies mental vorzustellen.<sup>29, 30</sup> Der Untersucher/die Untersucherin gibt das Kommando, wann es losgehen soll. Der Proband/die Probandin gibt an, wann er/sie mit der Vorstellung fertig ist. Üblicherweise korreliert die Zeit, die der Proband/die Probandin für die Vorstellung

benötigt, recht gut mit der Zeit für die reale Ausführung. Bei SchlaganfallpatientInnen hat sich nun herausgestellt, dass dies für die nicht betroffene Seite recht gut funktioniert, auf der betroffenen Seite jedoch die Bewegungsausführung deutlich langsamer ist als die Bewegungsvorstellung und insofern Bewegungsvorstellung und Bewegungsausführung nicht mehr korrelieren bzw. das Vorstellungsvermögen möglicherweise gestört ist (**Abb. 2**). Diese Interpretation ist jedoch nicht zweifelsfrei: Man könnte die unterschiedlichen Zeiten, die für die Vorstellung und Durchführung auf der betroffenen Seite benötigt werden (vgl. die beiden linken Säulen in **Abb. 2**), auch so interpretieren, dass die Zeit für die Vorstellung gegenüber der Zeit vor dem Infarkt (BB1 im Vergleich zu BB4 und BB5 in **Abb. 2**) nahezu unverändert bzw. stabil bzw. nicht beeinträchtigt ist und nur die Bewegungsausführung auf der betroffenen Seite gelitten hat (2. Säule von links, BB3, in **Abb. 2**). Während ein chronometrischer Test zum Bewegungsvorstellungsvermögen offensichtlich bei Störungen der

Tiefensensibilität beeinträchtigt ist, scheint dies für das mentale Rotieren bzw. die Handidentifizierungsaufgabe nicht der Fall zu sein.<sup>31</sup>

**Selbstbewertungstests:** Die 3. gängige Art stellt die Befragung bzw. Selbstbewertung des Probanden/der Probandin dar. Dies macht z. B. der VMIQ, der nach 24 einfachen Tätigkeiten fragt und der Proband/die Probandin angeben muss, wie leicht er/sie sich dies aus der 1. Person (kinästhetisch) und aus der 3. Person (visuell) vorstellen kann.<sup>32</sup> Malouin hat einen Fragebogen entwickelt, der sich besser für PatientInnen eignet, da er einfacher ist: den KVIQ.<sup>33</sup> Es wird jedoch argumentiert, dass die Selbsteinschätzung der PatientInnen in diesem Zusammenhang begrenzte Aussagekraft hat, da sie nicht immer zuverlässig ist (Liepert, mündliche Korrespondenz).

Ob das Bewegungsvorstellungsvermögen bei PatientInnen beeinträchtigt ist, lässt sich also gar nicht so einfach sagen. Vermutlich stellt die Bewegungsvorstellung einen komple- ►

**Tab.:** Bewegungsvorstellungsvermögen entsprechend dem VMIQ bei derselben Gruppe von 31 PatientInnen mit Schlaganfall wie in **Abb. 2**

	VMIQ 1.P Kinästhetisches Vorstellungsvermögen	VMIQ 3.P Visuelles Bewegungs- vorstellungsvermögen
Gesamt	63,3 ± 20,3	56,3 ± 18,2
Hochgradig paretisch	66,8 ± 21,2	55,8 ± 16,3
Leicht paretisch	55,3 ± 16,5	56,9 ± 21,0
Tiefensensibilität betroffen	71,3 ± 21,9	61,3 ± 20,7
Tiefensensibilität nicht betroffen	54,8 ± 14,8	51,0 ± 14,0
Rechtshemisphärische Infarkte	62,1 ± 17,8	55,5 ± 0,3
Linkshemisphärische Infarkte	65,3 ± 24,5	57,7 ± 0,2

Hohe Zahlen besagen ein schlechtes Vorstellungsvermögen. Wie bei Gesunden<sup>51</sup> ist das kinästhetische Vorstellungsvermögen schlechter (schwieriger) als das visuelle. Bei PatientInnen mit hochgradigen Paresen ist das Vorstellungsvermögen stärker beeinträchtigt als bei weniger stark Betroffenen; desgleichen ist es bei PatientInnen mit Störung der Tiefensensibilität stärker beeinträchtigt.

Quelle: Dettmers C et al., Acta Neurologica Scandinavica 2012; 126(4):238–47



nen Vorgang mit unterschiedlichen Komponenten dar, die möglicherweise auch in unterschiedlichem Ausmaß beeinträchtigt sein können.<sup>34</sup> Bewegungsvorstellungsvermögen wurde deshalb auch als desorganisiert („chaotic motor imagery“) bezeichnet.<sup>35</sup>

### Wie gut können sich PatientInnen mit zentraler Parese eine Bewegung vorstellen?

Olsson und Nyberg<sup>36</sup> weisen darauf hin, dass ein Patient/eine Patientin, der/die eine Lähmung hat, vermutlich aufgrund der Äquivalenztheorie auch kein ausreichendes Vorstellungsvermögen hat, wie es für ein systematisches Bewegungsvorstellungstraining notwendig ist.<sup>37</sup> Man mag diese Aussage für richtig oder für falsch halten, in jedem Fall stellt sie eine Herausforderung dar, der man sich stellen muss, wenn man PatientInnen mit Schlaganfall ein Bewegungsvorstellungstraining zukommen lassen will. Es stellt sich also die Frage, inwieweit bei PatientInnen nach einem Schlaganfall das Vorstellungsvermögen eingeschränkt ist.<sup>37</sup> Entsprechende Untersuchungen weisen darauf hin, dass chronometrische Tests bei hochgradigen Paresen eine stärkere Abweichung der mentalen Zeit von der realen Ausführung zeigen und ebenfalls bei PatientInnen, bei denen die Tiefensensibilität beeinträchtigt ist (Tab.).<sup>29, 30</sup>

Offen ist jedoch, ob diese PatientInnen möglicherweise ausgeschlossen werden müssen oder umgekehrt möglicherweise besonders gut von dem Training profitieren. Einerseits ist es möglich, dass vom Schlaganfall Strukturen lädiert wurden, die für das Bewegungsvorstellungsvermögen essenziell sind. Andererseits ist vorstellbar, dass im Stadium der Chronifizierung die PatientInnen verlernt haben, sich eine Bewegung vorzustellen. Dies zeigte sich in einer Studie bei rollstuhlpflichtigen PatientInnen mit hochgradiger Tetraparese aufgrund einer Muskelerkrankung, die erhebliche Schwierigkeiten hatten, sich die Durchführung einer Kniebeuge aus der Eigenperspektive vorzustellen.<sup>29</sup> Sie gaben

überwiegend an, sich nicht halten zu können, umzukippen oder nicht wieder aus der Hocke hochkommen zu können. Dies zeigt, dass sich das Vorstellungsvermögen sehr eng an die tägliche Erfahrung anlehnt und uns normalerweise bei der Bewegungsplanung hilft und verhütet, dass wir Bewegungen auszuführen versuchen, die wir nicht mit hinreichender Sicherheit bewerkstelligen können. In diesem Sinn hat Bewegungsvorstellung nichts mit Fantasie zu tun, sondern ist ein aus der Erfahrung programmierter Integrator oder Prädiktor, der sicherstellt, dass wir die Bewegung, die wir uns vornehmen, in den allermeisten Fällen unfallfrei schaffen.

Eine sehr schöne, umfangreiche Übersichtsarbeit verfasste Di Rienzo zu der Frage, welche Schlaganfall-Läsionen eine Einschränkung des Bewegungsvorstellungsvermögens verursachen. Dies wurde mittels klinischer Testung oder funktioneller Bildgebung bestimmt.<sup>37</sup> Hieraus lässt sich jedoch kein simples Schema ableiten. Eine aktuelle fachübergreifende Diskussion zum mentalen Training findet sich auch bei Ietswaart.<sup>38</sup>

### Mindestanforderungen an die Kognition:

Neben der Größe und Lokalisation des Infarktes stellt sich die Frage, inwiefern Mindestanforderungen an die Kognition, insbesondere an das Konzentrationsvermögen, Durchhaltevermögen und die Belastbarkeit, vorliegen müssen, um systematisch in ausreichender Dosierung mit dem Bewegungsvorstellungstraining arbeiten zu können. Auch stellt sich die Frage, ob dies möglicherweise nur ProbandInnen können, die bereits Vorerfahrung mit dieser Technik haben oder über ausreichend Bewegungskompetenz oder „Bewegungsvorstellungskompetenz“ verfügen. Insofern muss man zum gegenwärtigen Zeitpunkt vermuten, dass in den randomisierten Studien die PatientInnen nicht ausreichend selektiert worden waren und nicht nachgewiesen wurde, dass sie überhaupt in der Lage waren, sich Bewegung in

ausreichender Qualität und Intensität vorzustellen.

Ein weiterer Nachteil des Trainings mittels Bewegungsvorstellung ist, dass sich schlecht nachweisen lässt, was PatientInnen während des Trainings tatsächlich tun. Sind sie wirklich bei der Sache und konzentrieren sich ständig, oder schweifen sie in ihren Gedanken ab? Möglicherweise sind unsere TherapeutInnen auch nicht ausreichend darauf vorbereitet, mit mentalem Training zu arbeiten. Im Nachhinein muss man den Verdacht haben, dass bei der Durchführung vieler randomisierter Studien zu naiv vorgegangen wurde, die PatientInnen nicht ausreichend selektiert und eingewiesen wurden und die Trainer nicht ausreichend ausgebildet waren.

Eine sehr schöne Arbeit in dieser Hinsicht ist die von Wondrusch und Schuster-Amft.<sup>39</sup> Sie weisen darauf hin, dass es zunächst notwendig ist, ein standardisiertes Einführungsprogramm für PatientInnen zu entwickeln und ihnen systematisch Sinn und Zweck sowie die verschiedenen Spielarten (visuell versus kinästhetisch) beizubringen. Diese Arbeit legt noch einmal den Finger in die Wunde und weist darauf hin, dass wir vermutlich viel zu naiv und hastig den Nutzen des Bewegungsvorstellungstrainings propagiert haben, anstatt langsam und systematisch TrainerInnen und ProbandInnen für diese Aufgabe auszubilden.

### Wie geht es weiter?

Bewegungsvorstellungstraining ist faszinierend – zumindest aus neurowissenschaftlicher und akademischer Sicht. Einen entscheidenden Schritt geht es möglicherweise weiter, wenn sich mittels EEG zuverlässig aussagen lässt, ob sich ein Proband/eine Probandin Bewegung vorstellt. So lässt sich bei einem großen Teil gesunder ProbandInnen mittels ereigniskorrelierter Desynchronisation über der Zentralregion nachweisen, dass ProbandInnen eine Handbewegung ausführen oder sich diese vorstellen.<sup>40, 41</sup> In beiden Fällen sehen die Signale ähnlich aus.

Mittlerweile sind Systeme im Einsatz, deren Handhabung relativ einfach und zeitsparend ist, die transportabel sind und drahtlos das EEG ableiten.<sup>42</sup> Vereinzelt Untersuchungen wurden bei PatientInnen mit Schlaganfall durchgeführt.<sup>43–45</sup>

Gelingt eine Mustererkennung zuverlässig, könnte dies möglicherweise ein sinnvolles

Selektionskriterium und ein Prädiktor für ein erfolgreiches Bewegungsvorstellungstraining sein. Zudem wird das Lernen durch ein Feedback effizienter.<sup>42</sup> Auch ließe sich damit kontrollieren, ob ein Patient/eine Patientin tatsächlich anhaltend und konsistent trainiert. Diese Entwicklung ist vielversprechend, um ein Bewegungsvorstellungstraining effi-

zienter zu gestalten.<sup>46</sup> Die Muster des EEG im Sinne eines brain computer interface für die Steuerung transkranieller oder elektrischer<sup>47, 48</sup> Stimulation zu nutzen oder mit einem robotergestützten Exoskeleton zu kombinieren<sup>49, 50</sup> sind weitere vielversprechende Methoden, die jedoch ein anderes Thema darstellen. ■

- 1 Jeannerod M, Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia* 1995; 33(11):1419–32
- 2 Malouin F et al., Towards the integration of mental practice in rehabilitation programs. A critical review. *Front Hum Neurosci* 2013; 7:576
- 3 Page SJ et al., Longer versus shorter mental practice sessions for affected upper extremity movement after stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2011; 25(7):627–37
- 4 Page SJ et al., Modified constraint-induced therapy combined with mental practice: thinking through better motor outcomes. *Stroke* 2009; 40(2):551–4
- 5 Page SJ et al., Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke* 2007; 38(4):1293–7
- 6 Bovend Eerd TJ et al., An integrated motor imagery program to improve functional task performance in neurorehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2010; 91(6):939–46
- 7 Ietswaart M et al., Mental practice with motor imagery in stroke recovery: randomized controlled trial of efficacy. *Brain* 2011; 134(Pt 5):1373–86
- 8 Braun SM et al., A multicenter randomized controlled trial to compare subacute treatment as usual with and without mental practice among persons with stroke in Dutch nursing homes. *J Am Med Dir Assoc* 2012; 13(1):85 e1–7
- 9 Schuster C et al., Comparison of embedded and added motor imagery training in patients after stroke: results of a randomized controlled pilot trial. *Trials* 2012; 13:11
- 10 Timmermans AA, Verbunt JA, van Woerden R, Moen-nekens M, Pernot DH, Seelen HA, Effect of mental practice on the improvement of function and daily activity performance of the upper extremity in patients with subacute stroke: a randomized clinical trial. *J Am Med Dir Assoc* 2013; 14(3):204–12
- 11 Oostra KM et al., Influence of motor imagery training on gait rehabilitation in sub-acute stroke: A randomized controlled trial. *J Rehabilitation Medicine* 2015; 47(3):204–9
- 12 Stephan KM et al., Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *J Neurophysiol* 1995; 73(1):373–86
- 13 Lorey B et al., Activation of the parieto-premotor network is associated with vivid motor imagery – a parametric fMRI study. *PLoS one* 2011; 6(5):e20368
- 14 Caspers S et al., ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *Neuroimage* 2010; 50(3):1148–67
- 15 Vry MS et al., Ventral and dorsal fiber systems for imagined and executed movement. *Exp Brain Res* 2012; 219(2):203–16
- 16 Dettmers C et al., Impact of left versus right hemisphere subcortical stroke on the neural processing of action observation and imagery. *Restor Neurol Neurosci* 2015; 33(5):701–12
- 17 Liepert J, Neveling N, Motor excitability during imagination and observation of foot dorsiflexions. *J Neural Transm (Vienna)* 2009; 116(12):1613–19
- 18 Censor N et al., Altered Human Memory Modification in the Presence of Normal Consolidation. *Cereb Cortex* 2015
- 19 Jeannerod M et al., Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends Neurosci* 1995; 18(7):314–20
- 20 Decety J, Grezes J, Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends Cogn Sci* 1999; 3(5):172–8
- 21 Johnson SH et al., Intact motor imagery in chronic upper limb hemiplegics: evidence for activity-independent action representations. *J Cogn Neurosci* 2002; 14(6):841–52
- 22 Jackson PL et al., Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 2001; 82(8):1133–41
- 23 Sharma N et al., Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke* 2006; 37(7):1941–52
- 24 Simmons L et al., Motor imagery to enhance recovery after subcortical stroke: who might benefit, daily dose, and potential effects. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 2008; 22(5):458–67
- 25 Dickstein R, Deutsch JE, Motor imagery in physical therapist practice. *Phys Ther* 2007; 87(7):942–53
- 26 Braun S et al., Using mental practice in stroke rehabilitation: a framework. *Clin Rehabil* 2008; 22(7):579–91
- 27 Zimmermann-Schlatter A et al., Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 2008; 5:8
- 28 Veerbeek JM et al., What is the evidence for physical therapy poststroke? A systematic review and meta-analysis. *PLoS one* 2014; 9(2):e87987
- 29 Dettmers C et al., Motor imagery in stroke patients, or plegic patients with spinal cord or peripheral diseases. *Acta Neurologica Scandinavica* 2012; 126(4):238–47
- 30 Liepert J et al., Reduced upper limb sensation impairs mental chronometry for motor imagery after stroke: clinical and electrophysiological findings. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 2012; 26(5):470–8
- 31 Buesching IS et al., Hand identification and mental chronometry in stroke patients with different degrees of sensory deficits. *Neurologie & Rehabilitation* 2015; 15, Supplement 1:538
- 32 Roberts R et al., Movement imagery ability: development and assessment of a revised version of the vividness of movement imagery questionnaire. *J Sport Exerc Psychol* 2008; 30(2):200–21
- 33 Malouin F et al., The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study. *J Neurol Phys Ther* 2007; 31(1):20–9
- 34 Kosslyn SM et al., Neural foundations of imagery. *Nat Rev Neurosci* 2001; 2(9):635–42
- 35 Sharma N et al., Motor imagery after stroke: relating outcome to motor network connectivity. *Annals of Neurology* 2009; 66(5):604–16
- 36 Olsson CJ et al., Motor imagery: if you can't do it, you won't think it. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20(5):711–5
- 37 Di Rienzo F et al., Impact of neurologic deficits on motor imagery: a systematic review of clinical evaluations. *Neuropsychol Rev* 2014; 24(2):116–47
- 38 Ietswaart M et al., Editorial: Mental practice: clinical and experimental research in imagery and action observation. *Front Hum Neurosci* 2015; 9:573
- 39 Wondrusch C, Schuster-Amft C, A standardized motor imagery introduction program (MIIP) for neuro-rehabilitation: development and evaluation. *Front Hum Neurosci* 2013; 7:477
- 40 Neuper C et al., ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation. *Prog Brain Res* 2006; 159:211–22
- 41 Pfurtscheller G, Neuper C, Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. *Neurosci Lett* 1997; 239(2–3):65–8
- 42 Zich C et al., Wireless EEG with individualized channel layout enables efficient motor imagery training. *Clinical Neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 2015; 126(4):698–710
- 43 Cincotti F et al., EEG-based Brain-Computer Interface to support post-stroke motor rehabilitation of the upper limb. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2012; 4112–5.
- 44 Morone G et al., Proof of principle of a brain-computer interface approach to support poststroke arm rehabilitation in hospitalized patients: design, acceptability, and usability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2015; 96(3 Suppl):S71–8
- 45 Ortner R et al., A motor imagery based brain-computer interface for stroke rehabilitation. *Stud Health Technol Inform* 2012; 181:319–23
- 46 Pichiorri F et al., Brain-computer interface boosts motor imagery practice during stroke recovery. *Ann Neurology* 2015; 77(5):851–65
- 47 McCrimmon CM et al., Brain-controlled functional electrical stimulation therapy for gait rehabilitation after stroke: a safety study. *J Neuroengineering Rehabilitation* 2015; 12:57
- 48 Young BM et al., Dose-response relationships using brain-computer interface technology impact stroke rehabilitation. *Front Hum Neurosci* 2015; 9:361
- 49 Brauchle D et al., Brain state-dependent robotic reaching movement with a multi-joint arm exoskeleton: combining brain-machine interfacing and robotic rehabilitation. *Front Hum Neurosci* 2015; 9:564
- 50 van Dokkum LE et al., Brain computer interfaces for neurorehabilitation – its current status as a rehabilitation strategy post-stroke. *Ann Phys Rehabil Med* 2015; 58(1):3–8
- 51 Malouin F et al., Clinical assessment of motor imagery after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 2008; 22(4):330–40
- 52 Nedelko V 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(6):737–47