

# Von den neuronalen Grundlagen der Bewegungsplanung zu innovativen Therapiestrategien

M. D. Hesse, P. H. Weiss-Blankenhorn

*Kognitive Neurologie, Universitätsklinikum der RWTH Aachen und  
Institut für Neurowissenschaften und Biophysik (INB-3) - Medizin, Forschungszentrum Jülich*

## Zusammenfassung

Apraxien sind Störungen des höheren motorischen Verhaltens, die nicht alleine durch basale sensomotorische Defizite oder Störungen der Kommunikation zu erklären sind. Die klinischen Symptome von apraktischen Patienten legen nahe, dass bei der Apraxie eine Störung der Bewegungsplanung vorliegt. Mit Hilfe der funktionellen Bildgebung konnte – in Übereinstimmung mit Läsionsbefunden bei Apraxien – eine differentielle Bedeutung des linken parietalen und des linken prämotorischen Kortex bei der Erzeugung bzw. Änderung eines Bewegungsplanes nachgewiesen werden. Die Zunahme apraktischer Defizite mit der Komplexität einer Handlung deutet darauf hin, dass die Speicherung motorischer Informationen bei Patienten mit Apraxie gestört ist. Entsprechend konnte in einer Verhaltensstudie ein spezifisches Defizit des motorischen Arbeitsgedächtnisses bei Patienten mit linkshemisphärischem Schlaganfall und Apraxie nachgewiesen werden. Diese aktuellen Erkenntnisse zur Pathophysiologie der Apraxien ermöglichen neue, innovative Therapiestrategien.

**Schlüsselwörter:** Apraxie, fMRT, prämotorischer Kortex, parietaler Kortex, Arbeitsgedächtnis, ADL

## From the neural bases of movement planning to innovative therapies of apraxia

M. D. Hesse, P. H. Weiss-Blankenhorn

### Abstract

Apraxia is a disturbance of higher motor behaviour that cannot exclusively be explained by basic sensorimotor deficits or communication disorders. The clinical symptoms of apraxic patients suggest that a dysfunction in movement planning underlies the disorder. In accordance with lesion studies, a differential role of the left parietal and premotor cortices for the generation or the modification of a motor plan was described with the help of functional imaging (fMRI). The increase of apraxic deficits with increasing movement complexity indicates that the storage of motor information is defective in patients with apraxia. Correspondingly, evidence for a specific deficit in the motor working memory of patients with left hemispheric stroke and apraxia was demonstrated in a behavioural study. These current findings about the pathophysiology of apraxia render new innovative therapy strategies possible.

**Key words:** apraxia, fMRI, premotor cortex, parietal cortex, working memory, ADL

© Hippocampus Verlag 2007

## Einleitung

Apraxien sind Störungen des höheren motorischen Verhaltens, die nicht auf elementare Defizite des sensomotorischen Systems oder der Kommunikation zurückzuführen sind. In der klinischen neuropsychologischen Untersuchung fallen apraktische Patienten dadurch auf, dass sie Gegenstände oder Werkzeuge fehlerhaft gebrauchen, dass sie Gesten nicht imitieren können und dass sie Schwierigkeiten beim Wechsel von einer motorischen Aufgabe zur nächsten haben [2]. Diese klinischen Symptome machen deutlich, dass bei apraktischen Patienten insbesondere ein Defizit der komplexen Bewegungsplanung, weniger der einfachen Bewegungen ausführung vorliegt. Die Schwierigkeiten beim Wechsel von einer motorischen Tätigkeit zu einer anderen deuten zudem daraufhin, dass apraktische Pa-

tienten ihre Bewegungspläne nicht an den aktuellen Kontext, in dem eine Bewegung stattfindet, anpassen können. Dies bedeutet für die apraktischen Patienten eine deutliche Einschränkung bei den Tätigkeiten des täglichen Lebens (activities of daily living, ADL; [4]): Selbst Routinehandlungen, wie das Schneiden und Bestreichen eines Brotes, müssen an die aktuellen Gegebenheiten (Welches Messer steht zur Verfügung?) angepasst werden. Auch der räumliche Kontext einer Handlung muss bei der Bewegungsplanung berücksichtigt werden: je nachdem, in welchem Badezimmer (im Krankenhaus, in der Rehabilitationsklinik oder zu Hause) die Morgentoilette durchgeführt wird, finden sich die verschiedenen Utensilien an unterschiedlichen Orten, so dass die motorische Planung der Körperpflege entsprechend angepasst werden muss.

Aufgrund der beschriebenen klinischen Defizite liegt es nahe anzunehmen, dass die Störung der höheren Motorik bei Patienten mit Apraxie nach linkshemisphärischem Schlaganfall zum einen den Prozess der Erzeugung eines Bewegungsplanes selbst und zum anderen den Prozess der Änderung eines Bewegungsplanes, d.h. die Anpassung des erzeugten Bewegungsplanes an den aktuellen Kontext, betrifft. Schließlich müssen im Rahmen komplexer Handlungen die einzelnen Schritte unter anderem mit Hilfe des Arbeitsgedächtnisses korrekt zusammengesetzt werden. Entsprechend wurden in zwei Studien mit Hilfe der funktionellen Bildgebung, der ereigniskorrelierten funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), die neuronalen Mechanismen der Bewegungsplanung und der Änderung von Bewegungsplänen bei gesunden Probanden untersucht [10]. In einem zweiten Schritt wurden Apraxiepatienten im Vergleich zu nicht-apraktischen Patienten und gesunden Kontrollen auf eine spezifische Störung des motorischen Arbeitsgedächtnisses hin untersucht.

### **Die Rolle des linken prämotorischen und parietalen Kortex bei der Bewegungsplanung – zwei fMRT-Studien**

In den fMRT-Studien wurde hierzu das aus der Forschung über die neuronalen Grundlagen der Aufmerksamkeit bekannte Paradigma nach Posner modifiziert [13]. Dieses experimentelle Paradigma untersucht die Veränderungen der Reaktionszeiten für bestimmte Bewegungen, wenn den Probanden vor dem eigentlichen Zielreiz (Startsignal, die Bewegung auszuführen) ein Hinweisreiz gegeben wird. In dem hier verwandten modifizierten Posner-Paradigma wurde der Effekt von motorischen und räumlichen Hinweisreizen kontrastiert (siehe Abbildung 1a). In jedem Falle sollten die Probanden direkt nach dem Erscheinen des Zielreizes auf dem Bildschirm entweder eine Bewegung mit der rechten Hand, wenn der Zielreiz eine Raute war, oder eine Bewegung mit der linken Hand, wenn der Zielreiz ein Quadrat war, ausführen. Vor dem Erscheinen des jeweiligen Zielreizes wurde ein Hinweisreiz präsentiert. Dieser war in der ersten Studie zu 100% valide, d. h. korrekt. Er bestand entweder aus der schematischen Darstellung einer rechten oder linken Hand (motorischer Hinweisreiz), einem Hinweis auf die rechte oder linke Bildschirmseite (räumlicher Hinweisreiz) oder aus einem Kreis als neutralem Hinweisreiz. Der neutrale Hinweisreiz diente dazu, die allgemeine Aufmerksamkeit der Probanden für die nächste Bewegung zu erhöhen, und kontrollierte somit für den unspezifischen Effekt eines Hinweisreizes an sich. Mit Hilfe des räumlichen Hinweisreizes konnten die Probanden ihre Aufmerksamkeit auf die rechte bzw. linke Bildschirmhälfte ausrichten, in der der Zielreiz erscheinen würde, ohne jedoch schon die motorische Antwort (Bewegung der rechten oder linken Hand) vorbereiten zu können. Nach dem motorischen Hinweisreiz konnten die Probanden dagegen die Bewegung mit der rechten oder linken Hand vorbereiten, wussten aber nicht, in welcher Bildschirmhälfte der Zielreiz, der zur Ausführung der vorbereiteten Bewegung

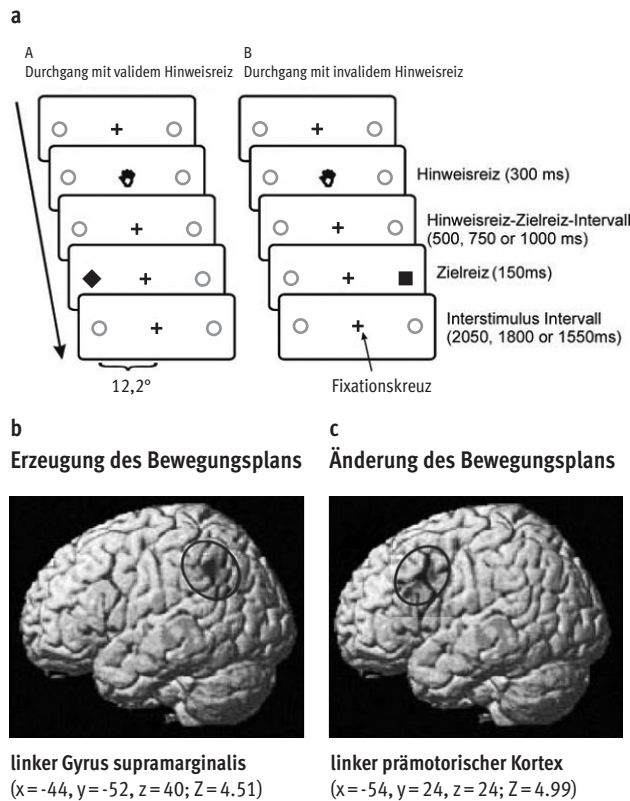
aufforderte, erscheinen würde. Zusammenfassend erlaubte dieses motorische Posner-Paradigma, die neuronalen Grundlagen der Erzeugung eines Bewegungsplanes zu untersuchen.

Um nun den Prozess der Änderung eines Bewegungsplanes zu untersuchen, wurde in der zweiten ereigniskorrelierten fMRT-Studie das experimentelle Paradigma dadurch erweitert, dass neben den häufigen (in 80% der Fälle) validen Hinweisreizen auch seltene (in 20% der Fälle) invalide Hinweisreize benutzt wurden. Während ein valider Hinweisreiz korrekt angab, welche Handbewegung ausgeführt werden sollte bzw. auf welcher Bildschirmseite der Zielreiz erscheinen würde, beinhaltete ein invalider Hinweisreiz falsche Informationen, z.B. gab der (invalide) motorische Hinweisreiz eine Bewegung der rechten Hand vor, aber der später erscheinende Zielreiz verlangte eine Bewegung der linken Hand. In gleicher Weise konnte ein invalider räumlicher Hinweisreiz auf die linke Seite des Bildschirms deuten, doch der Zielreiz erschien danach auf der rechten Bildschirmseite (siehe Abb. 1a). Diese Erweiterung des experimentellen Paradigmas erlaubte es, die neuronalen Mechanismen, die der Änderung eines Bewegungsplanes bzw. der Umorientierung der räumlichen Aufmerksamkeit zugrunde liegen, zu untersuchen.

Während der Studien wurde mit Hilfe der fMRT die regionale Veränderung der Gehirnaktivität im Sinne einer signifikanten Veränderung des BOLD-Signales und als Verhaltensdaten die Reaktionszeiten, d.h. die Zeit vom Erscheinen des Zielreizes bis zum Ausführen der korrekten Handbewegung, gemessen.

Hierbei zeigte sich, dass valide räumliche Hinweisreize zu einer Reduktion der Reaktionszeiten im Vergleich zu neutralen Hinweisreizen führten. In beiden Studien führten darüber hinaus motorische Hinweisreize zu einer weiteren signifikanten Reduktion der Reaktionszeiten (im Vergleich zu räumlichen Hinweisreizen). Zudem wurde in der zweiten Studie deutlich, dass invalide motorische wie auch invalide räumliche Hinweisreize zu einer verzögerten Reaktion führten. Diese signifikante Reaktionszeitverlängerung zeigt an, dass die Änderung des Bewegungsplanes (nach einem invaliden motorischen Hinweisreiz) bzw. die Neuausrichtung der räumlichen Aufmerksamkeit (nach einem invaliden räumlichen Hinweisreiz) mehr Zeit benötigt als wenn der vorbereitete Bewegungsplan bzw. die Aufmerksamkeitsausrichtung – nach validen Hinweisreizen – nicht verändert werden muss.

Die spezifischen Veränderungen der Gehirnaktivität zeigen sich durch den Vergleich zwischen den verschiedenen Versuchsbedingungen. Beim kombinierten Vergleich aller Versuchsbedingungen mit der impliziten Ruhebedingung (eingestreute Pausen) fand sich ein bilaterales, linksdominantes motorisches Netzwerk mit Aktivierungen im primären motorischen Kortex, im prämotorischen Kortex, im Sulcus intraparietalis (IPS), im temporo-okzipitalen Übergangskortex sowie im Kleinhirn. Der direkte Vergleich zwischen den Versuchsdurchgängen mit validen motorischen Hinweisreizen und den Durchgängen mit neutralen Hin-



**Abb. 1:** Die Bedeutung des linken prämotorischen und parietalen Kortex bei der Bewegungsplanung

- A. Versuchsablauf in der ereignis-korrelierten fMRT. Die Probanden sollten entsprechend eines Zielreizes eine bestimmte Handbewegung durchführen. Eine Raute als Zielreiz bedingte eine Bewegung mit der rechten Hand, auf ein Quadrat sollte eine linke Handbewegung folgen. Im Laufe eines Durchgangs wurde unter Fixation zentral ein Hinweisreiz präsentiert (das Bild einer rechten oder linken Hand), der in 80% der Fälle (valider Hinweisreiz, linke Spalte) korrekt angab, welche Hand bewegt werden sollte, so dass die Probanden ihre Handbewegung im voraus planen konnten. In 20% der Fälle (invalider Hinweisreiz, rechte Spalte) kündigte der Hinweisreiz aber eine falsche Handbewegung an, so dass die Probanden beim Erscheinen des Zielreizes (Raute oder Quadrat) die vorbereitete Handbewegung nicht nutzen konnten, sondern ihren Bewegungsplan vor der Ausführung schnell ändern mussten.
- B. Die Erzeugung des Bewegungsplans nach validen Hinweisreizen führt zu spezifischen Aktivierungen im linken parietalen Kortex (linker Gyrus supramarginalis).
- C. Die nach falschen Hinweisreizen notwendige Änderung des Bewegungsplanes aktiviert differentiell den linken prämotorischen Kortex. (modifiziert nach Schneider/Fink (Hg): Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie, Springer Verlag, Heidelberg 2007)

weisreizen ergab eine signifikante Aktivierung des linken parietalen Kortex im Bereich des Gyrus supramarginalis. Dieser Bereich des linken inferioren parietalen Kortex wurde in beiden fMRT-Studien auch beim Vergleich zwischen den validen motorischen und validen räumlichen Hinweisreizen aktiviert. Somit zeigten beide Untersuchungen übereinstimmend, dass der linke inferiore parietale Kortex, insbesondere der linke Gyrus supramarginalis, an der Erzeugung von Bewegungsplänen maßgeblich beteiligt ist (siehe Abb. 1b). Im Rahmen der zweiten fMRT-Studie konnte im

Weiteren das neuronale Substrat der Änderung eines Bewegungsplanes untersucht werden. Dazu diente der Vergleich zwischen den Versuchsdurchgängen mit invaliden und denen mit validen motorischen Hinweisreizen. Dieser Vergleich ergab eine signifikante Aktivitätserhöhung im Bereich des prämotorischen Kortex auf der Höhe des linken Sulcus frontalis inferior (siehe Abb. 1c). Die Reorientierung der räumlichen Aufmerksamkeit führte dagegen zu einer Aktivitätssteigerung im rechten temporo-okzipitalen Übergangskortex.

Somit konnte in diesen beiden funktionellen Bildgebungsexperimenten ein differentielles neuronales Substrat für die Erzeugung eines Bewegungsplanes, die Änderung eines Bewegungsplanes und die Neuausrichtung der räumlichen Aufmerksamkeit nachgewiesen werden. Interessanterweise fand sich – in Übereinstimmung mit klinischen Befunden – eine linkshemisphärische Dominanz für motorische Prozesse (Erzeugung und Änderung eines Bewegungsplanes), unabhängig von der Hand, die die Bewegung schließlich ausführte. Desweiteren konnte die differentielle Beteiligung des linken Gyrus supramarginalis bei der Bewegungsplanung und des linken prämotorischen Kortex bei der Änderung eines Bewegungsplanes nachgewiesen werden. Diese Befunde passen gut zu den in der Literatur beschriebenen Läsionsmustern bei Patienten mit Apraxie [7], die insbesondere auf die Bedeutung des linkshemisphärischen fronto-parietalen Netzwerkes für die motorische Kognition hingewiesen haben. Im Zusammenhang mit den aktuellen Untersuchungen stellt sich nun die Frage, ob die in der Klinik zu beobachtenden apraktischen Symptome bei Patienten mit posterioren Läsionen (mit Beteiligung des parietalen Kortex) eher Ausdruck der gestörten Erzeugung eines Bewegungsplanes sind, während die Symptome von Patienten mit frontalen Läsionen (mit Beteiligung des prämotorischen Kortex) eher auf einer Störung bei der Änderung eines Bewegungsplanes bzw. der gestörten Anpassung von vorhandenen Bewegungsplänen an den aktuellen Bewegungskontext beruhen.

### Zunahme der apraktischen Defizite mit der Komplexität einer Handlung

Die oben beschriebenen, mit Hilfe der funktionellen Bildgebung erhobenen Befunde machen plausibel, dass Patienten nach Schlaganfällen im Bereich des linken parietalen und prämotorischen Kortex, d. h. den apraxie-typischen Läsionsorten [5], an komplexen Störungen der motorischen Kognition leiden. Diese komplexen motorischen Störungen beeinträchtigen, wie oben schon angedeutet, die Selbständigkeit der Schlaganfallpatienten mit Apraxie deutlich. Interessanterweise korreliert die Dysfunktion bei den Tätigkeiten des täglichen Lebens (ADL) nach einem linkshemisphärischen Schlaganfall stärker mit dem Ausmaß der Apraxie als mit dem Ausmaß der Aphasie. Somit verwundert es nicht, dass die Apraxie einen unabhängigen negativen Prädiktor für das Rehabilitationsergebnis darstellt, wenn die untersuchten Patienten für andere Variablen wie

z. B. Schlaganfallgröße, Schlaganfalllokalisation, Alter der Patienten, neurologische und andere Komorbiditäten vergleichbar waren [8]. Die Relevanz der Apraxie wird auch dadurch deutlich, dass ca. die Hälfte aller Patienten mit einem linkshemisphärischen Schlaganfall an einer Apraxie leiden. Trotz dieser offensichtlichen klinischen Relevanz der Apraxie gibt es bisher nur wenige gut untersuchte Therapieansätze [19]. Hierfür werden in der Literatur verschiedene Gründe angeführt. Im Bereich der Diagnostik wirkt sich nachteilig aus, dass sich bisher kein einheitlicher Apraxietest durchsetzen konnte. Vielmehr benutzen die einzelnen Forschergruppen spezifische, oft auf wenige motorische Dimensionen fokussierte Testverfahren, von denen häufig auch keine Parallelversionen vorliegen, was insbesondere für Prä- und Postuntersuchungen im Rahmen von Therapiestudien von Nachteil ist. Lange Zeit war zudem fälschlich angenommen worden, dass es bei der Apraxie eine hohe Rate an Spontanremissionen gibt. Dahingegen zeigen Studien über den Spontanverlauf der Apraxie, dass ca. 20% der Patienten auch nach einer Rehabilitationsbehandlung an einer chronischen Apraxie leiden [1]. Schließlich wirkte sich die Beobachtung der willkürlich-automatischen Dissoziation bei Patienten mit Apraxie nachteilig auf die Bestrebungen aus, effiziente Therapieansätze für die Apraxie zu entwickeln. Die willkürlich-automatische Dissoziation bedeutet, dass apraktische Patienten häufig deutlich mehr motorische Symptome in der klinischen Testsituation, d. h. bei willkürlicher Handlungsausführung, als in Alltagssituationen, d. h. bei der automatischen Ausführung der gleichen Handlungen, zeigen. Nichtsdestotrotz lassen sich bei apraktischen Patienten multiple motorische Defizite, auch im konkreten Gebrauch von Gegenständen und in Handlungssituationen des alltäglichen Lebens nachweisen. Die motorischen Defizite der Patienten mit Apraxie in Alltagssituationen werden insbesondere bei komplexen Handlungen mit mehreren Objekten deutlich. Diese klinische Beobachtung passt gut zu den Ergebnissen der oben beschriebenen fMRT-Studien, da ja gerade bei komplexen Handlungen die Ebene der Bewegungsplanung von herausragender Bedeutung ist.

Bei genauerer Durchsicht der Literatur finden sich für die klinische Beobachtung, dass die Schwere der apraktischen Symptome mit der Komplexität der Handlung korreliert, entsprechende experimentellen Befunde. In seiner ersten Untersuchung zur Imitation von abstrakten Handpositionen und Fingerkonfigurationen im Jahre 1996 untersuchte Professor Goldenberg neben der Imitation einzelner Handpositionen und Fingerkonfigurationen auch die Imitation von kombinierten Gesten, d. h. kombinierten Hand- und Fingerkonfigurationen [3]. Die in dieser Studie untersuchten Patienten mit rechts- bzw. linkshemisphärischem Schlaganfall zeigten bei der Imitation sowohl für die einzeln getesteten Handpositionen und Fingerkonfigurationen als auch für die kombinierten Hand- und Fingerkonfigurationen ähnliche Fehlermuster. Deswegen verzichtete Professor Goldenberg in seinen weiteren Untersuchungen [6] auf die Imitation dieser kombinierten Gesten und konzen-

trierte sich auf die Imitation einzelner Handpositionen (als sensitiver Test für eine linkshemisphärische Schädigung) und einzelner Fingerkonfigurationen (als sensitiver Test für rechtshemisphärische Schlaganfälle). Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse fällt jedoch auf, dass insbesondere die Patienten mit linkshemisphärischem Schlaganfall bei der Imitation der kombinierten abstrakten Gesten bei separater Bewertung sowohl der Handpositionen als auch der Fingerkonfigurationen schlechter abschnitten, als wenn sie die Handpositionen bzw. Fingerkonfigurationen unabhängig voneinander imitierten. Da durch die Kombination von Handpositionen und Fingerkonfigurationen in einer abstrakten Geste die Komplexität der zu imitierenden Geste zunimmt, findet sich hier also experimentell eine Entsprechung der klinisch beobachtbaren Zunahme des apraktischen Defizits mit der zunehmenden Komplexität einer Handlung.

Eine solche Zunahme der motorischen Defizite mit der Komplexität einer Handlung konnte auch für sequentielle Arm- bzw. Handbewegungen beschrieben werden. *Harrington* und *Haaland* beschrieben 1992 bei der wiederholten Durchführung von ähnlichen bzw. unterschiedlichen Handbewegungen ein spezifisches Defizit der Sequenzierung bei Patienten mit Apraxie [9]. Es wurden Bewegungssequenzen von bis zu fünf Handbewegungen untersucht. Während sich die Fehlerhäufigkeit bei den Kontrollprobanden und neurologischen Patienten ohne Apraxie in Abhängigkeit von der Sequenzlänge nicht änderte, konnte bei den Patienten mit Apraxie ein übermäßiger Anstieg der Fehlerhäufigkeit mit der Länge der Bewegungssequenz beobachtet werden. Interessanterweise war bei den Patienten mit Apraxie dieser Anstieg der Fehlerhäufigkeit bei der sequentiellen Ausführung unterschiedlicher Handbewegungen (d. h. bei komplexen Bewegungssequenzen) deutlicher als bei der sequentiellen Durchführung der gleichen Handbewegung (d. h. bei einfachen Bewegungssequenzen).

In einer Untersuchung von neurologischen Patienten mit rechts- bzw. linksparietalen Läsionen konnten wir eine signifikante Zunahme der Fehlerhäufigkeit mit der Komplexität der durchzuführenden sequentiellen Armbewegung im Raum nur in der Gruppe der Patienten mit linkshemisphärischer Schädigung beobachten [17]. Patienten mit rechtsparietalen Läsionen oder die jeweiligen Kontrollgruppen zeigten einen solchen selektiven Fehleranstieg mit der Komplexität der Armbewegung im Raum nicht.

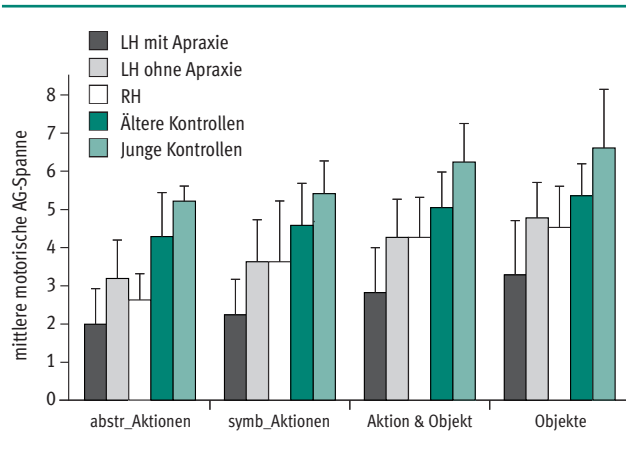
### **Einschränkungen des motorischen Arbeitsgedächtnisses bei Patienten mit Apraxie**

Für die Zunahme des motorischen Defizits bei apraktischen Patienten mit der Komplexität der Handlung sind verschiedene Erklärungsmodelle bemüht worden. Neben Defiziten in der Auswahl von Bewegungselementen oder einer Störung des Wechsels der motorischen Aufmerksamkeit von einer Bewegung zur nächsten Bewegung, wurde kürzlich ein Defizit in der zeitlichen Aufmerksamkeitssteuerung bei Patienten mit linkshemisphärischen Läsionen postu-

liert [18]. Eine alternative Hypothese geht von einer spezifischen Störung des motorischen Arbeitsgedächtnisses bei Patienten mit Apraxie aus. Diese Hypothese nimmt Bezug auf Bemerkungen von *Hugo Liepmann* [11], dass bei manchen apraktischen Patienten »der ideatorische Entwurf im Moment gar nicht auftaucht« – *Liepmann* nannte dies die amnestische Form der Apraxie. Spätere psychologische Untersuchungen konnten eine spezifische Komponente des Arbeitsgedächtnisses für die Verarbeitung von Bewegungen nachweisen [14, 16]. Als ein weiterer Hinweis auf ein spezifisches motorisches Subsystem des Arbeitsgedächtnisses kann der sogenannte »Enactment-Effekt« gesehen werden. Einfache Aktionen kann man dann besser erinnern und wiedergeben, wenn diese während der Einprägephase tatsächlich durchgeführt wurden, im Vergleich dazu, wenn das Einprägen der Aktionen auf rein verbalem Wege erfolgt [15]. Zudem wurde in einer kürzlich publizierten Untersuchung ein Zusammenhang zwischen der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und dem motorischen Rehabilitationspotential bei Schlaganfallpatienten festgestellt [12].

Um das postulierte spezifische Defizit des motorischen Arbeitsgedächtnisses bei Patienten mit Apraxie nach links-hemisphärischem Schlaganfall zu untersuchen, wurde von uns ein perzeptiver Test, d. h. ein Test ohne relevante aktive motorische Komponente, entwickelt. Dieser Test des motorischen Arbeitsgedächtnisses (AG bzw. »working memory«, WM) konnte somit auch bei Patienten mit motorischen Defiziten angewendet werden. Entsprechend wurden 67 Patienten mit links- (LH, n = 48) oder rechtshemisphärischem Schlaganfall (RH, n = 19) als auch 26 ältere und 13 jüngere Kontrollprobanden mit dem neuen Test für das motorische AG und zwei Standardverfahren zur Testung des visuell-räumlichen und des verbalen Arbeitsgedächtnisses (Corsi Block Spanne und Zahlenspanne vorwärts des HAWIE) untersucht. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der klinischen Apraxietests, die die Imitation von Bewegungen und den Objektgebrauch untersuchten, wurden die Patienten mit linkshemisphärischem Schlaganfall in eine Gruppe mit Apraxie (n = 25, LH mit Apraxie) und eine Gruppe ohne Apraxie (n = 23, LH ohne Apraxie) aufgeteilt.

Während des Tests des motorischen AG wurden den Patienten und Probanden als Stimulusmaterial statische Bilder von Objekten, Handlungen mit Objekten (Aktion & Objekt), symbolischen Bewegungen ohne Objekt (symb\_Aktionen) und abstrakten Bewegungen ohne Objekt (abstr\_Aktionen) präsentiert. Vergleichbar mit den Standardverfahren wurden den Patienten bzw. Probanden zunächst nur zwei Bilder (Items) präsentiert. Dann wurden die Patienten bzw. Probanden aufgefordert, die gerade gesehenen Bilder in der Reihenfolge der Präsentation aus einer konstanten Menge von neun Bildern im Sinne eines Abrufs nach Hinweisreiz auszuwählen. Wenn die Antwort des Patienten bzw. Probanden korrekt war (d. h. Auswahl der richtigen Bilder in der richtigen Reihenfolge), wurde eine Reihe von drei Bildern präsentiert, danach – bei erneut richtiger Antwort – eine Reihe mit vier Bildern, usw.. Wenn aber die Antwort des Patienten/ Probanden falsch war (d. h. Aus-



**Abb. 2:** Mittlere motorische Arbeitsgedächtnisspannen der verschiedenen Patienten- und Kontrollgruppen.

Beachte, dass die Patienten mit linkshemisphärischen Schlaganfällen und Apraxie (LH mit Apraxie) für alle getesteten Materialien eine signifikant reduzierte Arbeitsgedächtnisspanne aufweisen, während sich die LH-Patienten ohne Apraxie nicht von den Patienten mit rechtshemisphärischen Schlaganfall (RH) unterscheiden.

WM=Arbeitsgedächtnis (working memory); abstr\_Aktionen=abstrakte Bewegungen ohne Objekt; symb\_Aktionen=symbolische Bewegungen ohne Objekt; Aktion & Objekt=objektbezogene Handlungen.

(modifiziert nach Weiss-Blankenhorn/Fink in Dettmers C, Bülow P, Weiller C (Hg): Schlaganfallrehabilitation. Hippocampus Verlag, Bad Honnef 2007)

wahl eines falschen Bildes oder ein Reihenfolgefehler), wurde in einem zweiten Durchgang eine Reihe mit der gleichen Anzahl, aber anderen Bildern präsentiert. Falls die Antwort wieder falsch war, wurde dieser Untertest beendet und die motorische AG-Spanne für die entsprechende Stimuluskategorie als die maximale Anzahl von korrekt wiedergegebenen Bildern definiert.

Wie erwartet, schnitten die jungen Kontrollprobanden in allen Stimuluskategorien des motorischen AG-Tests besser ab als die älteren Kontrollprobanden, die wiederum bessere Ergebnisse erzielten als die drei Patientengruppen (RH, LH mit Apraxie, LH ohne Apraxie, siehe Abb. 2). Interessanterweise fand sich für keine der vier Stimuluskategorien (Objekte, Aktion & Objekt, symbolische Aktionen und abstrakte Aktionen) ein Unterschied zwischen den RH-Patienten und den LH-Patienten ohne Apraxie. Im Gegensatz dazu erreichten die LH-Patienten mit Apraxie in allen Stimuluskategorien konsistent niedrigere motorische AG-Spannen als die LH-Patienten ohne Apraxie und die RH-Patienten (siehe Abb. 2). Beim visuell-räumlichen Corsi Block Test erreichten dagegen alle drei Patientengruppen (RH, LH mit und ohne Apraxie) vergleichbare Ergebnisse. Das ähnliche Abschneiden beim Corsi Block Test zeigte, dass die reduzierte motorische AG-Spanne der LH-Patienten mit Apraxie nicht durch ein unspezifisches kognitives Defizit bzw. eine generelle Leistungsminderung des AG dieser Patientengruppe erklärt werden konnte. Zusammengefasst untermauern diese Resultate die Hypothese, dass bei Patienten mit Apraxie ein spezifisches Defizit des motorischen AG vorliegt, und es ist davon auszugehen, dass diese spezifische AG-Störung zu den klinisch beobachtba-

ren Defiziten der apraktischen Patienten bei komplexen, objekt-bezogenen Handlungen beiträgt.

Zudem eröffnen sich durch die nachgewiesene Interaktion zwischen dem höheren motorischen System und Arbeitsgedächtnisprozessen neue Ansätze für die Apraxietherapie im Rahmen der kognitiven Rehabilitation, z. B. durch eine gezielte Förderung des motorischen Arbeitsgedächtnisses.

## Literatur

1. Basso A, Capitani E, Della Sala S, Laiacona M, Spinnler H: Recovery from ideomotor apraxia. A study on acute stroke patients. *Brain* 1987; 110: 747-760
2. Binkofski F, Fink GR: Apraxien. *Nervenarzt* 2005; 76: 493-511
3. Goldenberg G: Defective imitation of gestures in patients with damage in the left or right hemispheres. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 1996; 61: 176-180
4. Goldenberg G, Hagmann S: Therapy of activities of daily living in patients with apraxia. *Neuropsychological Rehabilitation* 1998; 8: 123-141
5. Goldenberg G, Karnath H-O: The neural basis of imitation is body part specific. *Journal of Neuroscience* 2006; 26: 6282-6287
6. Goldenberg G, Strauss S: Hemisphere asymmetries for imitation of novel gestures. *Neurology* 2002; 59: 893-897
7. Haaland KY, Harrington DL, Knight RT: Neural representation of skilled movement. *Brain* 2000; 123: 2306-2313
8. Hanna-Pladdy B, Heilman KM, Foundas AL: Ecological implications of ideomotor apraxia. *Neurology* 2003; 60: 487-490
9. Harrington DL, Haaland KY: Motor sequencing with left hemisphere damage. Are some cognitive deficits specific to limb apraxia? *Brain* 1992; 115: 857-874
10. Hesse MD, Thiel CM, Stephan KE, Fink GR: The left parietal cortex and motor intention: An event-related functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience* 2006; 140: 1209-1221
11. Liepmann H: Apraxie. *Ergebnisse der gesamten Medizin* 1920; 1: 516-543
12. Malouin F, Belleville S, Richards CL, Desrosiers J, Doyon J: Working memory and mental practice outcomes after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2004; 85: 177-183
13. Posner MI, Petersen SE: The attention system of the human brain. *Annual Review Neurosciences* 1990; 13: 25-42
14. Rumiati RI, Tessari A: Imitation of novel and well-known actions. The role of short-term memory. *Experimental Brain Research* 2002; 142: 425-433
15. Russ MO, Mack W, Grama C-R, Lanfermann H, Knopf M: Enactment effect in memory: evidence concerning the function of the supramarginal gyrus. *Experimental Brain Research* 2003; 149: 497-504
16. Smyth MM, Pendleton LR: Working memory for movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1989; 41A: 235-250
17. Weiss PH, Dohle C, Binkofski F, Schnitzler A, Freund H, Hefter H: Motor impairment in patients with parietal lesions: disturbances of meaningless arm movement sequences. *Neuropsychologia* 2001; 39: 397-405
18. Weiss PH, Rahbari NN, Lux S, Pietrzyk U, Noth J, Fink GR: Processing the spatial configuration of complex actions involves right posterior parietal cortex: an fMRI study with clinical implications. *Human Brain Mapping* 2006; 27: 1004-1014
19. Weiss-Blankenhorn PH, Fink GR: Therapie der Apraxie. In Dettmers C, Bülow P, Weiller C (eds). *Schlaganfallrehabilitation*. Hippocampus Verlag, Bad Honnef 2007, pp 383-398

## Interessenvermerk:

Es liegt kein Interessenkonflikt vor.

## Korrespondenzadresse:

PD Dr. Peter H. Weiss-Blankenhorn  
 Institut für Neurowissenschaften und Biophysik (INB-3)  
 Forschungszentrum Jülich  
 Leo-Brandt-Str. 5  
 52425 Jülich  
 e-mail: P.H.Weiss@fz-juelich.de