

Neurol Rehabil 2007; 13 (6): xx–xx

Pantomime von Werkzeuggebrauch versus reale Ausführung bei Apraxie: Kinematische Analysen

J. Hermsdörfer

EKN Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie, Klinikum München-Bogenhausen

Zusammenfassung

Während die pantomimische Darstellung des Gebrauchs von Werkzeugen und Objekten bei Apraxie häufig und meist eindrücklich gestört ist, gelingt die tatsächliche Ausführung mit realen Werkzeugen und Objekten den Patienten in aller Regel erheblich besser. Es wurde daher vermutet, dass sensorische Hinweisreize durch die realen Objekte den Abruf einer gestörten Repräsentation der Handlung fazitätieren. Mit Verfahren der dreidimensionalen Bewegungsanalyse kann der Zusammenhang zwischen Pantomime und realer Ausführung genauer analysiert werden. Unterschiedliche Handlungen (z. B. »Glas greifen und trinken«, »Sägen«) wurden in verschiedenen Ausführungsbedingungen bei apraktischen Patienten und gesunden Kontrollpersonen untersucht. Bei Kontrollpersonen zeigten sich dabei in einzelnen Bewegungsparametern charakteristische Unterschiede zwischen beiden Bedingungen. Apraxien äußerten sich in Form von Richtungsfehlern pantomimischer Sägebewegungen und fehlender Handöffnung bei pantomimisch dargestelltem Greifen. Diese charakteristischen Veränderungen waren bei der realen Ausführung nicht erkennbar. Eine Verlangsamung der Patienten beim realen Sägen korrelierte nicht mit dem Richtungsfehler der Pantomime. Derart unterschiedliche Leistungen in Abhängigkeit von der Ausführungsbedingung deuten auf unabhängige zentrale Repräsentationen der Handlungen hin. Eine Pantomime wird möglicherweise als symbolische Darstellung einer Handlung repräsentiert, während die reale Ausführung von den physikalischen Anforderungen der Aufgabe determiniert wird. Pantomime und tatsächliche Ausführung werden vermutlich von dynamischen Repräsentationen kontrolliert, die im Verlauf einer Handlung in unterschiedlichem Maße Gemeinsamkeiten aufweisen.

Schlüsselwörter: fehlen

Title

J. Hermsdörfer

Abstract

fehlt

Key words: fehlen

© Hippocampus Verlag 2007

Einführung

Apraktische Patienten sind nicht in der Lage, den Gebrauch einer Säge, eines Hammers oder einer Zahnbürste pantomimisch korrekt darzustellen. Es treten Fehler auf, die von amorphen Bewegungen ohne erkennbaren Zusammenhang mit der instruierten Handlung bis hin zu geringen Abweichungen in Bewegungsdetails reichen [1, 2, 34, 35]. Fehler können die Geometrie der Armbewegungen hinsichtlich Ausdehnung, Richtung und Ort betreffen. Zeitliche Faktoren wie die Geschwindigkeit oder Reihenfolge von Bewegungssequenzen können fehlerhaft sein. Oft entspricht die Konfiguration der Hand nicht der normalen Benutzung des Werkzeugs. Defizite bei der Pantomime von Werkzeuggebrauch werden als ein Hauptsymptom für das Vorliegen einer Apraxie angesehen [7, 6, 12, 13]. Dementsprechend gehört der Pantomime-Test zum festen Repertoire einer klinischen Untersuchung auf Apraxie [6].

Apraxien, einschließlich Störungen der Pantomime, treten bei etwa einem Drittel bis zur Hälfte der Patienten mit linksseitigen Schlaganfällen auf [31]. Rechtsseitige Schlaganfälle führen dagegen weit seltener zu Apraxien; wenn, dann meist zu milden Formen. Aufgrund der Sprachdominanz der linken Hemisphäre ist die Apraxie in vielen Fällen mit einer Aphasie verbunden. In der Untersuchung sind daher Artefakte durch mangelndes Instruktionsverständnis auszuschließen, indem z. B. das pantomimisch darzustellende Werkzeug als Foto oder als reales Objekt gezeigt wird. Des Weiteren liegt bei vielen Patienten eine rechtsseitige Parese oder eine Plegie vor, so dass der Test standardmäßig auf der nicht-paretischen, linken Seite durchgeführt wird.

Das Vorliegen einer Apraxie hat einen hohen prognostischen Wert für das Outcome eines Patienten mit linksseitigem Schlaganfall [5, 21, 25]. Es ist daher naheliegend, dass sich apraktische Störungen ungünstig auf die alltäglichen Aktivitäten auswirken.

Man könnte nun folgern, dass bei Apraxie Störungen der Pantomime mit Defiziten in der realen Ausführung der Handlung einhergehen. Es wurden theoretische Erklärungsmodelle für Apraxien vorgeschlagen, die mit dieser Hypothese vereinbar sind [14, 33]. Hiernach besteht ein zentrales Defizit darin, dass die Repräsentation der jeweiligen Handlung durch die Hirnschädigung gestört ist oder durch eine Störung der zu- und abführenden neuronalen Verbindungen nicht abgerufen werden kann. Diese Repräsentation wurde als visuokinästhetisches räumliches Engramm bezeichnet und als spezifisch für die jeweilige Handlung angesehen. Die Vorstellung einer festen Repräsentation für spezifische Handlungen lässt eine kontextunabhängige Störung erwarten. Die Pantomime einer Handlung wäre demnach genauso gestört wie deren reale Ausführung.

Klinische Studien sprechen aber gegen eine derartig rigide Beziehung zwischen Pantomime und realer Ausführung. Patienten mit gestörter Pantomime gelingt die jeweilige Handlung bedeutend besser und in vielen Fällen sogar vollständig fehlerfrei, wenn sie mit einem realen Werkzeug

ausgeführt wird [1, 3, 8, 9, 24, 32, 36]. Beispielsweise verbesserten in unserer eigenen Untersuchung der Pantomime des Gebrauchs von zwölf Alltagsobjekten zehn Patienten mit Apraxie ihren Leistungsscore von 9,6 auf 20,0 Punkte (von maximal 21), wenn die Patienten die Werkzeuge und die dazugehörigen Objekte (Hammer und Nagel, Zitrone und Zitronenpresse) tatsächlich benutzen konnten [9].

Im Rahmen der genannten Erklärungsmodelle kann die Leistungsverbesserung durch einen vereinfachten Abruf bzw. eine vereinfachte Konzeption der Handlungsrepräsentation bei realer Ausführung begründet werden. Dabei könnte das sensorische Feedback über die Geometrie, die Oberflächenstruktur, das Gewicht oder den Massenschwerpunkt des Werkzeugs den Abruf der Repräsentation erleichtern. Zusätzlich wird durch das vorliegende Werkzeug oder Objekt die Zahl möglicher Handlungen eingeschränkt, so dass dadurch der Zugriff möglicherweise vereinfacht wird. Diese Erklärung führt zu zwei Vorhersagen: Zumindest schwere Störungen der Pantomime sollten sich abgeschwächt auch bei der realen Ausführung zeigen. Die Charakteristika der Fehler sollten übereinstimmen, da ja die zugrundeliegende Störung unabhängig vom Kontext der Ausführung ist. Befunde, die zeigen, dass auch bei der realen Ausführung keine normale Leistung erreicht wird, unterstützen die erste Vorhersage [1, 3, 26, 37]. Weniger kompatibel mit der Annahme sind dagegen Beobachtungen von Dissoziationen zwischen normaler fehlerfreier Ausführung mit realen Werkzeugen und erheblichen Störungen der Pantomime [9, 36].

Die unterschiedlichen Befunde können auf einer Anzahl verschiedener Ursachen beruhen. Neben der Variabilität zwischen den Patientengruppen und dem Unterschied zwischen Gruppenstatistik und Einzelfallbetrachtung kommen vor allem auch methodische Aspekte in Frage. So kann die Auswahl der Aufgaben die Leistung erheblich beeinflussen. Ein Deckeneffekt in den Leistungen gesunder Kontrollpersonen bzw. in den Messparametern kann dazu führen, dass Defizite der Patienten nicht sichtbar werden bzw. nicht beschrieben werden können. Die Sensitivität des Beobachtungsverfahrens bestimmt, ob auch kleinere Abweichungen erfasst werden können.

Technische Verfahren der Bewegungsanalyse können einen Teil der Probleme lösen und eröffnen neue Einblicke in die Leistungen der Patienten. Hierbei werden die Bewegungen mit adäquaten Messgeräten registriert, so dass sie im Nachhinein rekonstruiert und hinsichtlich unterschiedlicher geometrischer und kinematischer Aspekte analysiert werden können. Auf diese Weise werden objektive und sensitive Daten gewonnen, die präzise Analysen zwischen Probandengruppen, Ausführungsbedingungen und unterschiedlichen Leistungsaspekten einer Bewegung ermöglichen. Im Folgenden wird die Anwendung kinematischer Bewegungsanalysen zur Aufklärung des Zusammenhangs zwischen Pantomime und realer Ausführung bei Apraxie vorgestellt.

Methoden

Dreidimensionale Bewegungsmesssysteme registrieren die räumliche Position ausgewählter Körperstellen mit einer ausreichend hohen zeitlichen Auflösung, so dass die Bewegungen nach deren Ausführung rekonstruiert werden können. Auf diese Weise können Bewegungspfade im Raum (Trajektorien), Raumwinkel, Gelenkwinkel, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen berechnet werden. Abbildung 1 zeigt ein derartiges Messsystem. Es handelt sich um ein akustisches System, das auf Laufzeitmessung von Ultraschallimpulsen basiert. Die Impulse werden von kleinen aktiven Markern (Durchmesser 10 mm, Höhe 8 mm, Gewicht ca. 3 g), die auf den interessierenden Körperstellen befestigt werden, ausgesendet und von drei Mikrofonen in einem Messaufnehmer empfangen. Mittels der Schallgeschwindigkeit kann der Abstand des Markers von den Mikrofonen **und aus deren räumlicher Konfiguration die dreidimensionale Position in einem X-Y-Z-Koordinatensystem berechnet werden [bitte prüfen]**. Dies geschieht beispielsweise mit einer Abtastrate von 66 Hz für drei Marker.

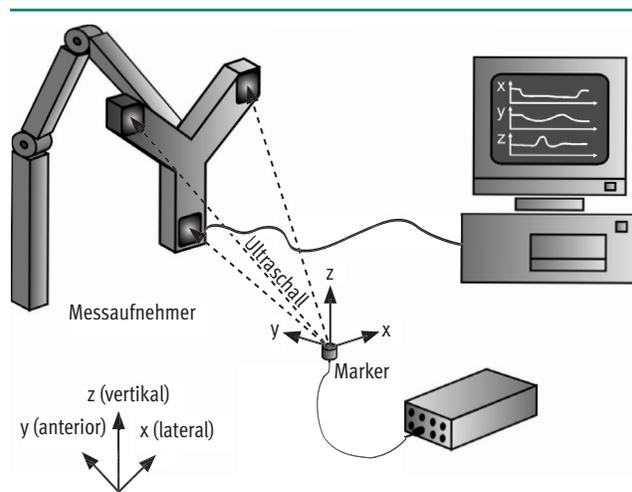


Abb. 1: Beispiel für ein dreidimensionales Bewegungsmesssystem (CMS, Zebris)

Es existiert eine Anzahl alternativer Messsysteme, die auf optischen, elektro-optischen oder auch induktiven Prinzipien beruhen. Allen ist gemeinsam, dass bestimmte Körperstellen markiert werden (z. B. mit reflektierendem Material, LEDs, Induktionsspulen) und deren Position in einem Koordinatensystem bestimmt wird. Die Systeme unterscheiden sich durch Betriebsaufwand, Anschaffungskosten, Tolerierbarkeit von Kabelverbindungen zu den Markern, maximale Zahl an Markern, maximale Messfrequenz, räumlicher Messbereich und Gefahr von Mess-Artefakten (siehe [15]).

Resultate

Abbildung 2 zeigt das Beispiel einer dreidimensionalen Bewegungsmessung beim Gebrauch eines Hammers. Die Bewegung wurde bei einem Patienten mit Apraxie (männlich, 48 J., linksseitiger Mediateilinfarkt mit fronto-temporo-parietalen Läsionen) und einer gesunden Kontrollperson bei pantomimischer und realer Ausführung mit der linken Hand registriert. Bei dieser Messung wurde ein induktives Messsystem (Liberty, Polhemus) mit Markern (kleine Elektromagnete, die sich in einem externen Magnetfeld bewegen) an zwei Stellen des linken Arms und am Hammerkopf (bei realer Ausführung) eingesetzt. Bei der realen Ausführung wurde ein Holzbolzen (Durchmesser 8 mm, Länge 50 mm) mit einem Gummihammer in eine Holzbohrung gehämmert. Die Trajektorien in Abbildung 2 stellen die Bewegungen der Marker dar, wobei die proximalen Marker durch Linien verbunden sind (»Strichfiguren«), die die Bewegung des Unterarms wiedergeben.

Die Kontrollperson führte die Bewegung weitgehend in der sagittalen Ebene aus. Wie Abbildung 2 zeigt, wurde dabei die Pantomime mit erheblich größerer Bewegungsamplitude des Unterarms ausgeführt als die reale Hämmerbewegung. Die Trajektorie des Hammerkopfs bei der realen Ausführung war relativ variabel, was möglicherweise mit der Benutzung der nicht-dominanten linken Hand zu tun hatte. Der Patient, der die Handlung ebenfalls mit der linken, nicht-paretischen Hand ausführte, produzierte deutlich kleinere Amplituden als die Kontrollperson. Im Fall der Pantomime besaß die Unterarmbewegung Komponenten

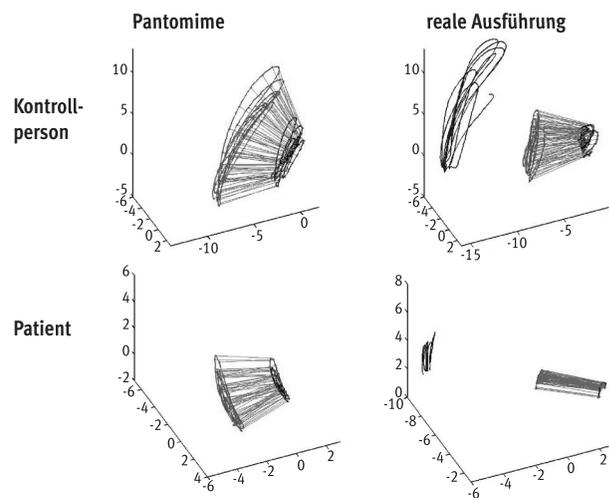


Abb. 2: Beispiel einer dreidimensionalen Bewegungsmessung des Gebrauchs eines Hammers bei einem Patienten mit Apraxie und einer Kontrollperson. Dargestellt sind die Trajektorien von circa acht Bewegungszyklen bei pantomimischer und realer Ausführung. Die Drehung des Koordinatensystems entspricht einer Perspektive von lateral, mit leichter Drehung nach vorne und oben. Die dargestellten Trajektorien entsprechen von rechts nach links: Unterarm-Markern (ca. Mitte), Handgelenk (leicht distal) und Hammerkopf (nur bei realer Ausführung). Die »Strichfiguren« geben die Bewegung des Unterarms wieder (20,8 ms zwischen je zwei Linien).

ten nach lateral und medial, so dass sie deutlich von den normalen Bewegungen in der Sagittalachse abwich. Bei der realen Ausführung war keine Richtungsabweichung erkennbar, allerdings sind die Amplituden so gering, dass der Patient erheblich mehr Schläge benötigte als die Kontrollperson.

Derartige Einzelfallbetrachtungen lassen keine gesicherten Schlüsse zu, zumal für derartige Handlungen eine erhebliche Variabilität zu erwarten ist. Notwendig sind daher Untersuchungen an größeren Stichproben von Patienten.

Die Arbeitsgruppe von *Poizner* führte als Erste kinematische Bewegungsanalysen bei einer Anzahl apraktischer Patienten durch [3, 26, 27, 28]. Dabei kam ein opto-elektronisches System (Optotrack, Northern Digital) mit vier Markern auf Hand und Arm zum Einsatz. In zwei Studien wurde die Bewegung »Brot schneiden« unter den vier Ausführungsbedingungen »verbales Kommando«, »mit Werkzeug«, »mit Objekt« und »mit Werkzeug und Objekt« bei drei apraktischen Patienten mit der nicht-paretischen linken Hand eingehend untersucht [3, 26]. Dabei wurden unterschiedliche Leistungsparameter analysiert, die räumlichen, zeitlichen und zeitlich-räumlichen Bewegungsaspekten zugeordnet wurden. In allen Aspekten zeigten sich bei den Patienten klare Abweichungen im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen. Die Bewegungstrajektorien des Handgelenks der Patienten waren weniger planar und linear und weniger in der Sagittalebene ausgerichtet. Die Amplituden der Patienten waren kürzer, die Geschwindigkeiten verringert und die Bewegungszeiten verlängert. Die bei repetitiven, räumlichen Bewegungen normalerweise vorhandene zeitliche Synchronisation zwischen starken Krümmungen und Geschwindigkeitsminima war bei den Patienten verändert, allerdings bei deutlich unregelmäßigeren Bewegungen im Vergleich zu den Kontrollpersonen. Schließlich war die Koordination der Gelenkwinkel von Handgelenk, Ellbogen und Schulter gestört. Veränderte Bewegungsparameter der Patienten waren bei allen Ausführungsbedingungen offensichtlich, also auch dann, wenn das Brot real mit dem Messer geschnitten wurde. Nach Angabe der Autoren resultierten kleine dreieckige Brotscheiben aus den Aktionen der Patienten. Amplituden, Geschwindigkeiten und Bewegungsdauern unterschieden sich allerdings bei der realen Ausführung zwischen Patienten und Kontrollpersonen nicht und die Defizite bei der realen Ausführung wurden im Vergleich zu den pantomime-ähnlichen Ausführungsbedingungen als bedeutend geringer eingeschätzt.

Die Autoren interpretierten ihre Ergebnisse als Hinweis auf eine Schädigung der visuo-kinästhetischen räumlichen Repräsentation der Handlung oder auf eine Störung des Zugriffs auf die Repräsentation als Folge der Hirnschädigung. Da diese Störung alle Ausführungsbedingungen betrifft, sind nach der Logik auch bei der tatsächlichen Ausführung charakteristische Fehler zu erwarten, möglicherweise abgeschwächt durch sensorische Hinweisreize.

Wir haben eine vergleichbare repetitive Handlung, nämlich die Ausführung einer Sägebewegung, an einer größeren Stichprobe von neun apraktischen Patienten mit dreidi-

mensionaler Bewegungsmessung untersucht [17]. Die Bewegungen wurden mit der ipsi-läsionalen, linken Hand sowohl pantomimisch als auch unter Benutzung einer Handsäge und eines Holzblocks durchgeführt. In einer weiteren Bedingung sollten die Probanden während der Bewegung einen Holzstab halten, der im groben Ausmaß dem Griff der Säge ähnelte. Diese Bedingung resultiert aus Beschreibungen einer massiven Verbesserung einzelner Patienten bei der Benutzung solcher neutralen Objekte in der Pantomime [36]. Die Bewegungen wurden mit dem in Abbildung 1 beschriebenen Messsystem registriert. Die Analyse konzentrierte sich auf einen Marker auf dem Handgelenk.

Die Analyse der pantomimischen Bedingungen belegte erhebliche Abweichungen der Bewegungsrichtung der Patienten von der anterior-posterioren Achse, entlang der gesunde Kontrollpersonen ihre Sägebewegungen ausführten. Während dementsprechend bei den Kontrollpersonen der relative Bewegungsanteil entlang der anterior-posterioren Achse in allen Fällen nahezu 100% betrug, lagen in der Bedingung »Pantomime« sechs und in der Bedingung »Pantomime plus neutrales Objekt« sieben der neun Patienten unter dem Kontrollbereich (Abb. 3). In anderen Bewegungsparametern wie mittlere Amplitude und Dauer der repetitiven, vorwärts und rückwärts gerichteten Bewegungen war kein Unterschied zwischen Patienten und Kontrollpersonen erkennbar. Allerdings waren in beiden Gruppen die realen Sägebewegungen durch deutlich kürzere Amplituden und Bewegungsdauern gekennzeichnet. Im Vergleich der mittleren maximalen Geschwindigkeiten der Vor- und Rückbewegungen fand sich eine Verlangsamung der Patienten, die spezifisch für die reale Ausführung war. Diese hatte eine Entsprechung in dem Trend zu einer verringerten Flüssigkeit der realen Bewegung bei den apraktischen Patienten. Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Fehler in der Bewegungsrichtung in den pantomimischen Bedingungen und der reduzierten Geschwindigkeit

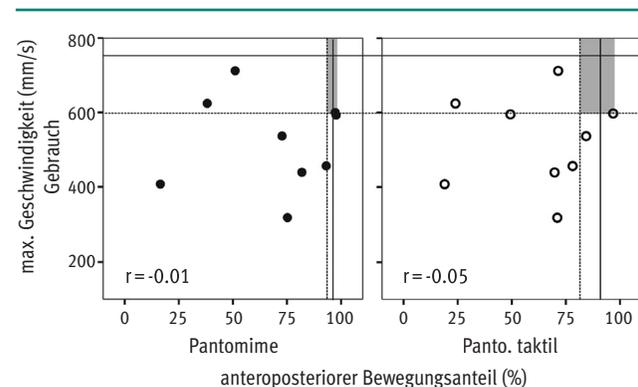


Abb. 3: Vergleich der typischen Fehler von neun apraktischen Patienten bei der Pantomime und der tatsächlichen Ausführung von Sägebewegungen. Ordinate: posterior/anteriorer Bewegungsanteil in den Bedingungen »Pantomime« und »Panto. taktil«, Abszisse: max. Geschwindigkeit der realen Bewegungen, durchgezogene und gestrichelte Linie: Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall von neun gesunden Kontrollpersonen, grauer Bereich: Normbereich, modifiziert nach Hermsdörfer et al., *Neuropsychologia* 44, 2006 [19]

im Gebrauch. Eine gemeinsame Ursache für beide Störungsmuster hätte eine Korrelation der Störungsintensität in beiden Ausführungsbedingungen erwarten lassen. Eine derartige Korrelation war allerdings nicht zu beobachten. Mehrere Befunde der Studie legen den Schluss nahe, dass die pantomimische Darstellung der Handlung und deren reale Ausführung sehr unterschiedlich gesteuert werden. So unterschieden sich beide Bedingungen auch bei gesunden Probanden, die Störungen von Patienten betrafen in den beiden Bedingungen unterschiedliche Bewegungsaspekte und es bestand keine Korrelation zwischen der Schwere der Fehler in beiden Bedingungen. Die Manipulation des neutralen Objekts führte zu keiner Verringerung der apraktischen Fehler in der Pantomime.

Neben der Sägebewegung haben wir die Handlung »Glas greifen und trinken« bei einer größeren Stichprobe von 17 Patienten mit linksseitigen Hirnschädigungen bei unterschiedlichen Ausführungsbedingungen untersucht [22]. Hinzu kamen zehn Patienten mit rechtsseitigen Schädigungen. Alle Patienten wurden auf der ipsi-läsionalen Seite untersucht und es wurde jeweils eine seitengleiche Kontrollgruppe zugeordnet. Die Durchführung erfolgte sowohl als Pantomime als auch mit einem realen, halbgefüllten Glas. Im Abstand von 30 cm vor der Startposition befand sich ein Untersetzer, auf dem entweder das Glas stand oder auf dem sich die Probanden das Glas vorstellen sollten. Die Bewegungen wurden mit dem in Abbildung 1 dargestellten Messsystem unter Verwendung von drei Markern auf den Fingernägeln von Daumen und Zeigefinger und auf dem Handgelenk registriert. Der räumliche Abstand zwischen den distalen Markern gibt Aufschluss über die Öffnung der Hand in Antizipation des zu greifenden Glases und die Trajektorie des proximalen Handgelenkmarkers über den Transport der Hand zur Position des Glases.

Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Bewegungsparameter bei einer Patientin und einer typischen Kontrollperson vom Startpunkt bis zur realen bzw. vorgestellten Position des Glases für je drei Durchgänge der pantomimischen Darstellung der Greifbewegung, der real ausgeführten Greifbewegung und der Wiederholung der Pantomime. Die Bewegungstrajektorien der Kontrollperson in der Sagittal- und Horizontalebene sind leicht gekrümmt und die Bewegungsgeschwindigkeit zeigt das typische glockenförmige und eingipflige Profil, das bei routinierten zielgerichteten Bewegungen zu erwarten ist. Unter allen Bedingungen öffnet sich die Hand im Verlauf der Vorwärtsbewegung und erreicht einen vergleichbaren Abstand zwischen den Fingern. Interessanterweise ist die Variabilität zwischen den drei Versuchen bei der pantomimischen Bedingung höher als bei der realen Ausführung. Vor allem bei der Wiederholung der Pantomime (Panto 2) fällt auf, dass die Überöffnung der Hand im Bewegungsverlauf weitgehend fehlt und die Handöffnung mit sehr unterschiedlichen Latenzen nach dem Start der Transportbewegungen beginnt. Die Trajektorien des Patienten haben einen sehr ähnlichen Verlauf wie die der Kontrollperson mit geringer Variabilität zwischen den drei dargestellten Durchgängen. Die maximalen Ge-

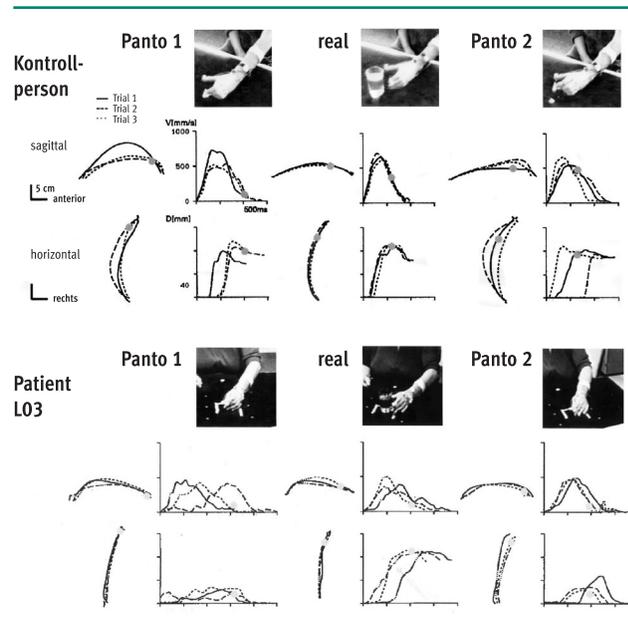


Abb. 4: Geometrische und kinematische Charakteristika von Greifbewegungen einer apraktischen Patientin und einer gesunden Kontrollperson. Drei Bewegungen wurden jeweils für die drei Ausführungsbedingungen »Pantomime« (Panto 1), »reale Ausführung« (real) und »Wiederholung der Pantomime« (Panto 2) untersucht. Folgende Bewegungsparameter sind jeweils dargestellt: Trajektorie des Handgelenkmarkers in der Sagittal- und Horizontalebene (links), Geschwindigkeitsprofil des Handgelenks (oben) und Handöffnung (unten) bis zum Ende der Transportbewegung (vgl. [24]).

schwindigkeiten sind allerdings reduziert und die Bewegungsdauern verlängert, die Geschwindigkeitsprofile sind erheblich unregelmäßiger als bei der Kontrollperson. Der augenscheinlichste Unterschied ist aber das weitgehende Fehlen der Handöffnung in den beiden Pantomimebedingungen, während sich die Hand bei der realen Durchführung auf das normale Maß öffnet. Die relativ langsame Öffnung der Hand hat ihren Grund vermutlich in der langsamen Transportbewegung.

Die Befunde für die Kontrollperson und den Patienten in Abbildung 4 können als exemplarisch für die jeweiligen Gruppen angesehen werden. Verlangsamungen des Handtransports waren in allen Bedingungen und im Gruppenmittel vor allem in einem Zeitintervall am Ende der Bewegung offensichtlich. Allerdings war die Verlangsamung des Transports in der Gruppe der Patienten mit rechtshirnigen Schädigungen noch ausgeprägter als bei den linkshirnig geschädigten Patienten. Der für die Gruppe der linkshirnigen Patienten charakteristischste Bewegungsparameter war die maximale Handöffnung, die in beiden Durchgängen der Pantomime, nicht aber bei der realen Ausführung, massiv verringert war. Interessanterweise zeigte sich auch bei den anderen Gruppen eine, wenn auch geringere, Reduktion der maximalen Handöffnung bei Pantomime im Vergleich zu der realen Ausführung. In der Gruppe der linkshirnig geschädigten Patienten korrelierte die Reduktion der maximalen Handöffnung mit dem Schweregrad der Apraxie aus einem Pantomimetest mit zehn Items.

Die Studie belegte somit bei apraktischen Patienten eine Störung der pantomimischen Ausführung der Handlung, die sich bei der Ausführung unter realistischen Bedingungen nicht zeigte. Darüber hinaus waren auch bei gesunden Kontrollpersonen charakteristische Unterschiede zwischen den Ausführungsbedingungen erkennbar.

Diskussion

Die von uns durchgeführten Studien belegen eine erhebliche Anzahl von Verhaltensunterschieden zwischen der pantomimischen Darstellung einer Handlung und deren realer Ausführung. Gesunde Probanden produzieren die Bewegungen mit unterschiedlichen geometrischen und kinematischen Charakteristika in beiden Ausführungsbedingungen. Im Vergleich der Bedingungen entsprechen die Bewegungscharakteristika der Pantomime einer symbolischen Darstellung der jeweiligen Handlung. So könnte man die größere Amplitude bei der pantomimischen Sägebewegung als Versuch ansehen, das Charakteristikum der Bewegungen, nämlich die repetitiven Vor- und Rückbewegungen, möglichst deutlich darzustellen [17]. Die Intention liegt in diesem Fall nicht in der physikalischen Genauigkeit, sondern im kommunikativen Aspekt. Ebenso kann der Befund einer geringeren maximalen Handöffnung der gesunden Kontrollpersonen beim Greifen gedeutet werden: Zur symbolischen Darstellung des Greifens nach dem Glas genügt die Öffnung der Hand bis zum Glasdurchmesser; eine Überöffnung macht nur bei einer realen Ausführung Sinn, da hierdurch ein bequemes Greifen des realen Glases ohne hohe Präzisionsanforderung möglich ist (s. a. [10, 22]). Die Befunde bei den gesunden Probanden legen daher nahe, dass Pantomimen nicht den tatsächlichen Gebrauch antizipieren, sondern die charakteristischsten Aspekte der Handlung betonen. Dies spricht für zumindest teilweise getrennte Repräsentationen von Pantomime und realer Ausführung.

Apraxie bei der Pantomime von Werkzeug- und Objektgebrauch äußerte sich in der Greifaufgabe vor allem durch die fehlende oder zu geringe Handöffnung [22], bei der Einzelfalldarstellung zum Gebrauch des Hammers und bei der Gruppenanalyse zum Sägen [17] vor allem in einer falschen Bewegungsrichtung. Es ist anzunehmen, dass in Abhängigkeit von der spezifischen Aufgabe erheblich mehr Fehlertypen auftreten können (s. Einleitung und [3, 26]). Es ist zu beachten, dass die Ursache der Störungen von Bewegungsgeometrie und Kinematik auf mehreren Ebenen liegen kann. Auf einer bewegungsnahen Ebene könnte beispielsweise die koordinierte Ansteuerung von Gelenken gestört sein oder die Fähigkeit, eine intendierte Bewegungsrichtung durch adäquate Muskelaktivierung zu realisieren. Als Gegenpol wäre eine Störung der Bewegungsplanung auf konzeptueller Ebene anzusehen. Störungen der Ausführung wären dann Konsequenzen einer nur vagen unpräzisen Repräsentation, auf die beispielsweise mit einer unsicheren, verlangsamten Ausführung oder mit der Produktion von zufällig assoziierten Bewegungen oder

Bewegungskomponenten reagiert wird [18]. Unsere Erklärung für die Richtungsfehler apraktischer Sägebewegungen war, dass angesichts eines gestörten Abrufs der komplexeren Zweigelenksbewegung in Schulter und Ellbogen eine einfachere Bewegung in der Schulter (Rotation) ausgeführt wird, wobei das am meisten saliente Merkmal der Handlung, nämlich die repetitiven Bewegungen, reproduziert wurde [17].

Die spezifischen Pantomimefehler der Patienten waren beim tatsächlichen Gebrauch nicht erkennbar. Bei der Beurteilung dieses Befundes muss allerdings beachtet werden, dass seitwärts gerichtete Bewegungen beim Versuch zu sägen und eine nicht vorhandene Handöffnung beim Greifen die Bewegung im Ansatz verhindern würden. Die physikalischen Einschränkungen der Aufgabe machen damit ein Auftreten der typischen Pantomimefehler unmöglich. Dies betrifft nicht nur die beiden dargestellten Aufgaben, sondern sehr viele Aktivitäten des alltäglichen Lebens. Diese Überlegung unterstreicht wiederum die Diskrepanz zwischen pantomimischer und realer Ausführung.

Interessanterweise zeigte sich bei der Analyse der Sägebewegungen in der Gruppe der apraktischen Patienten keine Korrelation zwischen dem Richtungsfehler der Pantomime und der herabgesetzten Geschwindigkeit bei der tatsächlichen Ausführung. Dies deutet auf eine unabhängige Störung der Bewegungsausführung bei den Patienten hin. Diese Störung betrifft weniger räumliche Aspekte, sondern die kinematischen Aspekte Geschwindigkeit und Flüssigkeit. In der Tat wurden Störungen der ipsi-läsionalen Hand bei zielgerichteten Bewegungen bereits oft beschrieben [4, 11, 16, 20, 38]. In vielen Fällen sind Patienten mit linksseitigen Hemisphärenschädigungen stärker betroffen als Patienten mit rechtsseitigen Schädigungen. Die Geschwindigkeitsdefizite der realen Sägebewegung könnten Ausdruck einer spezifischen Störung der Bewegungskontrolle bei Schädigungen der linken dominanten Hemisphäre sein, die vor allem durch die komplexen Anforderungen der Aufgabe zum Tragen kommt. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese Störungen unabhängig von den typischen Manifestationen einer Apraxie sind.

Ein Ansatz, um die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den Repräsentationen von pantomimischen und realen Handlungen aufzudecken, sind bildgebende Verfahren bei gesunden Probanden. Derartige Messungen mit funktioneller Kernspintomographie sind allerdings durch die Gefahr von Bewegungsartefakten, durch die Notwendigkeit nicht-ferromagnetischer Materialien und durch die artifizielle Untersuchungssituation erschwert. Wir haben kürzlich beide Ausführungsbedingungen in einem event-related fMRI-Design verglichen [19]. In der frühen Planungsphase des pantomimischen oder realen Gebrauchs ausgewählter Werkzeuge oder manipulierbarer Objekte zeigte sich bei den gesunden Probanden eine großflächige Aktivierung in frontalen (mittlerer und inferiorer Gyrus frontalis, ventraler und dorsaler prämotorischer Cortex), parietalen (inferiorer und superiorer Parietallappen) und temporalen Arealen (mittlerer und superiorer Gyrus tem-

poralis), wie sie typischerweise im Kontext derartiger zielgerichteter Handlungen aktiviert werden (vgl. Übersicht in [23]). In dieser Phase vor Bewegungsbeginn war jedoch keine pantomime-spezifische Aktivität feststellbar. In der Ausführungsphase kam es zu erheblicher Mehraktivität beim »quasi-realen« Gebrauch, mit einer kleinvolumigen pantomime-spezifischen Aktivierung im linken intra-parietalen Sulcus. Die fMRI-Messung konnte damit keine separate Aktivierung für die Planung von Pantomimen isolieren. Wenn man von möglichen Einflüssen durch die oben erwähnten Schwierigkeiten bei fMRT-Untersuchungen absieht, würde dies bedeuten, dass in der Bewegungsplanung nicht nach den Bedingungen der Ausführung unterschieden wird oder dass die beteiligten Netzwerke sehr ähnlich sind.

Eine Interpretation der fMRI-Befunde ist, dass in frühen Planungsphasen Pantomimen und reale Ausführung identisch repräsentiert sind und erst im Moment oder kurz vor Ausführungsbeginn das motorische Programm erstellt wird, das dann auch die spezifischen physikalischen Charakteristika der jeweiligen Ausführungsbedingung berücksichtigt. Nach diesem Konzept gelingt den Patienten die Erstellung des motorischen Programms, wenn dieses durch die Aufgabenanforderungen determiniert und durch sensorisches Feedback getriggert wird. Fehlt diese Struktur und soll eine eher symbolische Bewegung programmiert werden, so scheitern Patienten aufgrund von Störungen spezifischer links-lateralisierter Prozesse.

Weitere Untersuchungen der Kinematik apraktischer Bewegungen sind notwendig, um Assoziationen und Dissoziationen zwischen pantomimischer und realer Ausführung von Werkzeuggebrauch genauer zu beschreiben. Das individuelle Störungsmuster wird vermutlich wesentlich von der Lokalisation der Hirnschädigung bestimmt. Daher wird in unseren zukünftigen Studien die Analyse der Läsionen einen wichtigen Bestandteil darstellen. Ziel sind genauere Aussagen und Vorhersagen über die alltäglichen sensomotorischen Leistungen eines apraktischen Patienten, die die Selbständigkeit und Wiedereingliederung wesentlich bestimmen.

Danksagung

Die Arbeiten der Arbeitsgruppe im Bereich Apraxie werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Dank an *Dr. Yong Li* für seine Unterstützung bei der Analyse und Darstellung der Daten.

Literatur

- Buxbaum LJ, Giovannetti T, Libon D: The role of the dynamic body schema in praxis: evidence from primary progressive apraxia. *Brain Cogn* 2000; 44: 166-191
- Buxbaum LJ, Sirigu A, Schwartz MF, Klatzky R: Cognitive representations of hand posture in ideomotor apraxia. *Neuropsychologia* 2003; 41: 1091-1113
- Clark MA, Merians AS, Kothari A et al: Spatial planning deficits in limb apraxia. *Brain* 1994; 117: 1093-1106
- Fisk JD, Goodale MA: The effects of unilateral brain damage on visually guided reaching: hemispheric differences in the nature of the deficit. *Exp Brain Res* 1988; 72: 425-435
- Giaquinto S, Buzzelli S, Difrancesco L et al: On the Prognosis of Outcome After Stroke. *Acta Neurol Scand* 1999; 100: 202-208
- Goldenberg G: Apraxia. In: Goldenberg G, Miller B (eds): *Handbook of Clinical Neurology – Neuropsychology and Behavior*. Elsevier, Edinburgh 2007
- Goldenberg G: Apraxie. *Neuropsychologie. Grundlagen, Klinik, Rehabilitation*. Urban & Fischer, München/Jena 2002, 123-148
- Goldenberg G, Hagmann S: Tool use and mechanical problem solving in apraxia. *Neuropsychologia* 1998; 36: 581-589
- Goldenberg G, Hentze S, Hermsdörfer J: The effect of tactile feedback on pantomime of tool use in apraxia. *Neurology* 2004; 63: 1863-1867
- Goodale MA, Jakobson LS, Keillor JM: Differences in the visual control of pantomimed and natural grasping movements. *Neuropsychologia* 1994; 32: 1159-1178
- Haaland KY, Harrington DL: Limb-sequencing deficits after left but not right hemisphere damage. *Brain Cogn* 1994; 24: 104-122
- Hartmann K, Goldenberg G, Daumüller M, Hermsdörfer J: It takes the whole brain to make a cup of coffee: the neuropsychology of naturalistic actions involving technical devices. *Neuropsychologia* 2005; 43: 625-637
- Heilman KM, Rothi LJJ: Apraxia. In: Heilman KM, Valenstein E (eds): *Clinical Neuropsychology*. Oxford University Press, Oxford/New York 1993, 141-163
- Heilman KM, Rothi LJJ, Valenstein E: Two forms of ideomotor apraxia. *Neurology* 1982; 32: 342-346
- Hermsdörfer J: Bewegungsmessung zur Analyse von Handfunktionen. Vorschlag einer standardisierten Untersuchung. *EKN-Beiträge für die Rehabilitation*. Books On Demand, Norderstedt 2002
- Hermsdörfer J, Blankenfeld H, Goldenberg G: The dependence of ipsilesional aiming deficits on task demands, lesioned hemisphere, and apraxia. *Neuropsychologia* 2003; 41: 1628-1643
- Hermsdörfer J, Hentze S, Goldenberg G: Spatial and kinematic features of apraxic movement depend on the mode of execution. *Neuropsychologia* 2006; 44: 1642-1652
- Hermsdörfer J, Mai N, Spatt J, Marquardt C, Veltkamp R, Goldenberg G: Kinematic analysis of movement imitation in apraxia. *Brain* 1996; 119: 1575-1586
- Hermsdörfer J, Terlinden G, Mühlau M, Goldenberg G, Wohlschlagel AM: Neural representations of pantomimed and actual tool use: Evidence from an event-related fMRI study. *NeuroImage* 2007; 36: T109-118
- Hermsdörfer J, Ullrich S, Marquardt C, Goldenberg G, Mai N: Prehension with the ipsilesional hand after unilateral brain damage. *Cortex* 1999; 35: 139-161
- Heugten CMv, Dekker J, Deelman BG, Vandijk AJ, Stehmannsaris FC, Kinebanian A: Measuring Disabilities in Stroke Patients with Apraxia – A Validation-Study of an Observational Method. *Neuropsychological Rehabilitation* 2000; 10: 401-414
- Laimgruber K, Goldenberg G, Hermsdörfer J: Manual and hemispheric asymmetries in the execution of actual and pantomimed prehension. *Neuropsychologia* 2005; 43: 682-692
- Lewis JW: Cortical networks related to human use of tools. *Neuroscientist* 2006; 12: 211-231
- Liepmann H: *Drei Aufsätze aus dem Apraxiegebiet*. Karger, Berlin 1908
- Meijer R, Ihnenfeldt DS, de Groot IJ, Van Limbeek J, Vermeulen M, de Haan RJ: Prognostic factors for ambulation and activities of daily living in the subacute phase after stroke. A systematic review of the literature. *Clin Rehabil* 2003; 17: 119-129
- Poizner H, Clark MA, Merians AS, Macauley B, Rothi LJJ, Heilman KM: Joint coordination deficits in limb apraxia. *Brain* 1995; 118: 227-242
- Poizner H, Mack L, Verfaellie M, Rothi LJJ, Heilman KM: Three-dimensional computer graphic analysis of apraxia. *Brain* 1990; 113: 85-101
- Poizner H, Merians AS, Clark MA, Macauley B, Rothi LJJ, Heilman KM: Left hemispheric specialization for learned, skilled, and purposeful action. *Neuropsychology* 1998; 12: 163-182
- De Renzi E: Apraxia. In: Boller F, Grafman J (eds): *Handbook of Neuropsychology*. Elsevier, Amsterdam/New York/Oxford 1989: 245-263
- De Renzi E, Faglioni P, Sorgato P: Modality-specific and supramodal mechanisms of apraxia. *Brain* 1982; 105: 301-312
- Rothi LJJ, Heilman KM: *Apraxia: The Neuropsychology of Action*. Psychology Press, East Sussex (UK) 1997

34. Rothi LJG, Raymer AM, Heilman KM: Limb praxis assessment. In: Rothi LJG, Heilman KM (eds): Apraxia: The Neuropsychology of Action. Psychology Press, East Sussex (UK) 1997, 61-73
35. Roy EA, Heath M, Westwood D et al: Task demands and limb apraxia in stroke. Brain Cogn 2000; 44: 253-279
36. Wada Y, Nakagawa Y, Nishikawa T et al: Role of somatosensory feedback from tools in realizing movements by patients with ideomotor apraxia. Eur Neurol 1999; 41: 73-78
37. Westwood DA, Schweizer TA, Heath MD, Roy EA, Dixon MJ, Black SE: Transitive gesture production in apraxia: visual and nonvisual sensory contributions. Brain Cogn 2001; 46: 300-304
38. Winstein CJ, Pohl PS: Effects of unilateral brain damage on the control of goal-directed hand movements. Exp Brain Res 1995; 105: 163-174

Interessenvermerk:

bitte ergänzen

Korrespondenzadresse:

Priv.-Doz. Dr. Joachim Hermsdörfer
EKN Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie
Klinikum München-Bogenhausen
Dachauer Str. 164
80992 München
e-mail: Joachim.Hermsdoerfer@extern.lrz-muenchen.de