

Die Spiegelneuronen und ihre Rolle in der Neurorehabilitation

NeuroGeriatric 2011; 8 (2): 51–54
© Hippocampus Verlag 2011

F. Hamzei, S. Grieshammer

Moritz-Klinik GmbH & Co. KG, Bad Klosterlausnitz

Zusammenfassung

In den letzten Jahren konnten Grundlagen erarbeitet werden, welche perspektivisch neue Behandlungsoptionen in der Neurorehabilitation erwarten lassen. Vielversprechend ist der Ansatz des Videotraining zusätzlich zum physischen Training auf der Basis des Spiegelneuronensystems. Perspektivisch muss es gelingen, die bisherigen Forschungsergebnisse weiter auszubauen und tragfähige bzw. praktikable Therapieansätze zu entwickeln, welche die Möglichkeit eines breiten Einsatzes in der Neurorehabilitation erlauben.

Schlüsselwörter: Spiegelneuronen, Videotraining, Neurorehabilitation

Die Klassifikation der Spiegelneuronen

Die »Spiegelneuronen« (»mirror neurons«) hießen zunächst »monkey see, monkey do neurons« [4, 8, 17]. Ihre Entdeckung gelang zufällig im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen mit Primaten zur Erforschung der Steuerzentren komplexer Hand- und Fingerbewegungen in der Area F5 des ventralen prämotorischen Kortex. Diese Neuronen waren nicht nur bei der Ausübung objektbezogener Greifbewegung aktiv, sondern überraschender Weise auch beim Beobachten dieser Bewegung. Somit besitzen diese Neuronen eine motorische und eine visuelle Eigenschaft, weshalb sich im weiteren Verlauf der Name »Spiegelneuronen« (»mirror neurons«) durchsetzte. In den letzten Jahren konnte sogar eine weitere Eigenschaft dieser Neuronen nachgewiesen werden, denn das charakteristische Geräusch einer objektbezogenen Bewegung aktivierte diese Neuronen ebenfalls [12]. Somit versammelt diese Neuronenklasse multimodale Informationen (visuell und akustisch), die aus unterschiedlichen Hirnregionen in dieser Zelle vereint werden, und besitzt ferner eine motorische Eigenschaft.

Die Eigenschaften der Spiegelneuronen konnten bei weiteren Untersuchungen auch in anderen Hirnarealen reproduziert werden, beispielsweise im inferioren parietalen Kortex [7]. Vom gegenwärtigen Wissensstand über die Verteilung der Spiegelneuronen geht man von einem Netzwerk aus, daher wurde der Begriff »Spiegelneuronensystem« oder »mirror neuron system« (MNS) eingeführt.

Die Bedeutung der Spiegelneuronen

Über die Bedeutung der Spiegelneuronen wird nach wie vor spekuliert. So vermutet man, dass die Spiegelneuronen für die Imitation einer Bewegung verantwortlich sind, da sie einerseits bei der Bewegung selbst und bei der

Betrachtung dieser Bewegung aktiv werden [11]. Calvo-Merino und Kollegen zeigten, dass die fMRT-Aktivierung von professionellen Tänzern im Vergleich zu Nichttänzern stärker war, wenn der eigene spezielle Tanzstil beobachtet wurde [2]. Somit vermuten sie, dass die Spiegelneuronen zum Verständnis der Handlung des Gegenübers beitragen. Die Spiegelneuronen reagieren weniger auf die Kinematik einer Körperbewegung, sondern vielmehr werden die beobachteten Bewegungen mit den intern präsentierten abgeglichen [2].

Die Vermutung, dass die Rahmenbedingung (Kontext der Bewegung) wichtig für die Aktivierung des Spiegelneuronensystems ist, wird auch von anderen Gruppen unterstützt [11]. Untermauert wird diese Hypothese durch die Arbeit von Umiltà und Kollegen. Die Untersuchung der Spiegelneuronen beim Affen mittels Einzelneuronableitung konnte zeigen, dass diese Neuronen weiterhin aktiv sind, wenn das Ziel der Bewegung bei einer objektbezogenen Greifbewegung für den Affen bedeckt wird, sodass die Intention der Bewegung ausreichend ist, um diese Neuronenklasse zu aktivieren [18].

Gerade diese Rolle der Spiegelneuronen (»action understanding«, Verständnis der Intention des Gegenübers) wird jedoch kritisiert [9]. Es wird einerseits bezweifelt, dass Affen beim Beobachten einer objektbezogenen Greifbewegung die tiefergehende Absichten des Gegenübers verstehen. Ferner gibt es bislang keinen direkten Nachweis einer menschlichen Gehirnzelle mit den charakteristischen Eigenschaften der »mirror neurons«.

Die Lokalisation der Spiegelneuronen beim Menschen

Nach der Entdeckung der Spiegelneuronen wurden unzählige Imaging-Studien beim Menschen durchgeführt, die ebenfalls ein entsprechendes MNS untersuchten. Viele dieser Studien konnten eine Aktivierung in einem großen

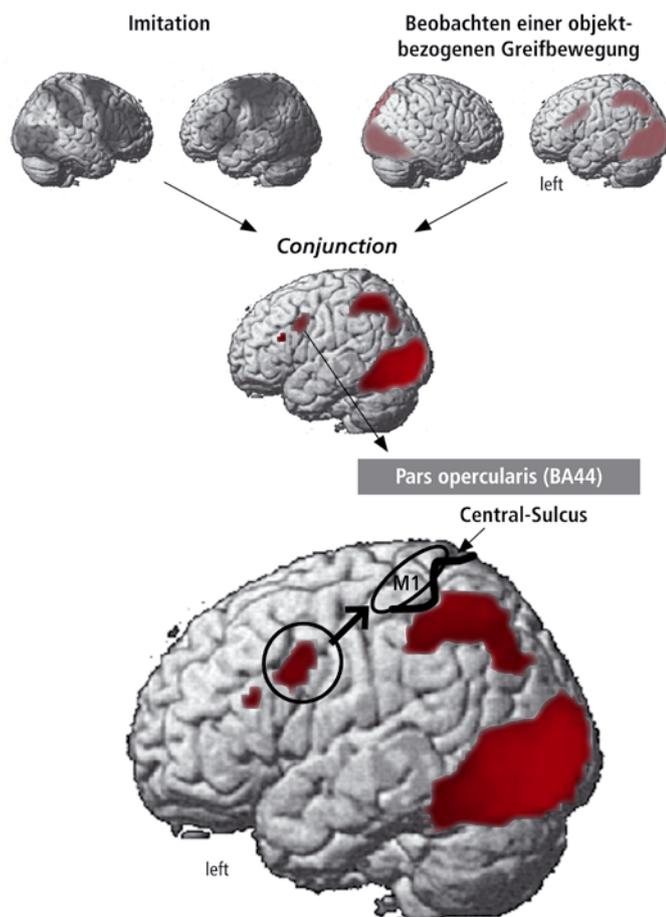


Abb. 1: Spiegelneuronen besitzen die Fähigkeit, dass eine einzelne Zelle eine multimodale Aufgabe (motorisch, akustisch und visuell) übernehmen kann. Da eine Einzelneuronenableitung der menschlichen Nervenzelle nicht möglich ist, werden indirekte Techniken (Imaging-Methoden) benutzt, um Areale darstellen zu können, die diese Modalitäten vereinen, z. B. eine motorische Aufgabe wie die Imitation und eine visuelle wie das Beobachten einer Greifbewegung. In der hier präsentierten funktionellen MRT (fMRT) führten die Probanden diese beiden Aufgaben durch: Einmal beobachteten Probanden eine objektbezogene Greifbewegung (in hellrot), des Weiteren führten sie eine Imitation dieser Bewegung durch (in schwarz). Die Conjunction-Analyse (Darstellung der gemeinsamen Aktivierung aus schwarz und hellrot) zeigt ein breites Netzwerk, welches bei beiden Aufgaben aktiv ist. Insbesondere der pars opercularis des inferioren frontalen Gyri (auch als Brodmann-Areal 44, BA44 bezeichnet) ist von besonderem Interesse für die Neurorehabilitation, da BA44 funktionell-anatomisch sehr eng mit dem primären motorischen Kortex (M1) verknüpft ist (unteres Bild, Pfeil).

Netzwerk, bestehend u. a. aus dem ventralen prämotorischen Kortex und dem rostralen Anteil des Lobulus parietalis inferior, lokalisieren [15].

Metaanalysen zeigen, dass Brodmann-Area 44 im Bereich des pars opercularis des inferioren frontalen Gyri während des Beobachtens einer Bewegung und bei der Imitation dieser Bewegung aktiv ist [3, 13]. Dieses Areal wird zu dem ventralen prämotorischen Kortex gezählt, und es wird in Konsens angenommen, dass BA44 das homologe Areal zu area F5 des Affen darstellt. Diese Begründung wird auch dadurch untermauert, dass in diesem Bereich ein analoger zytoarchitektonischer Aufbau zwischen Menschen und Affen besteht [1]. Eine Aktivierung im BA45 (pars triangularis des inferioren frontalen Gyri) ist ebenfalls beim Beobachten einer objektbezo-

genen Bewegung nachweisbar [3]. Ihre Bedeutung in diesem Zusammenhang wird noch diskutiert.

Die Lokalisation der Spiegelneuronen im menschlichen prämotorischen Kortex (BA44) ist ein wichtiger Aspekt für die Neurorehabilitation, denn dieses Areal ist funktionell und anatomisch sehr eng mit dem primären motorischen Kortex (M1) verbunden. Beispielsweise konnte nachgewiesen werden, dass das Beobachten einer Bewegung zu einer erhöhten Exzitabilität der M1-Neuronen führt [6].

Die Bedeutung der Spiegelneuronen für die Neurorehabilitation

Aufgrund dieser engen Verbindung des PMv (BA44) zu M1 kann angenommen werden, dass von über das Spiegelneuronensystem aufbauender Neurorehabilitation ein therapeutischer Nutzen für Patienten zu erwarten wäre. Die derzeitigen Bemühungen zielen auf die praktikable Umsetzung der gewonnen Erkenntnisse in ein therapeutisch anwendbares Behandlungskonzept. Denn zusätzlich zum Training kann eine erhöhte Erregbarkeit von M1 allein durch Beobachten einer Greifbewegung (zum Beispiel beim Anschauen eines Videos mit einer objektbezogenen Greifbewegung) zu einer verbesserten Funktion führen.

Videotraining

In einer Pilotstudie untersuchten Ertelt und Mitarbeiter den Effekt des Beobachtens von Greifbewegungen [5]. Eine Gruppe von chronischen Schlaganfallpatienten beobachtete Videos mit objektbezogenen Greifbewegungen mit anschließendem Training der betroffenen Seite (n=8 Patienten). Die Kontrollgruppe im Gegensatz beobachtete Videos mit abstrakten Objekten und einem Training der betroffenen Hand (n=7 Patienten). Die Gruppe Patienten, die Videos anschaute, zeigte im Vergleich zu der Kontrollgruppe eine funktionelle Besserung, die einherging mit einer fMRT-Aktivitätssteigerung u. a. im ventralen prämotorischen Kortex. Betrachtet man den personellen Aufwand, um eine Funktionsverbesserung zu erzielen, so liegt der ökonomische Vorteil dieser Therapiemethode auf der Hand. Hieraus resultieren jedoch verschiedene Fragen:

1. Welche Gruppe von Patienten profitiert nicht vom zusätzlichen Beobachten von Videos? Ist das MNS nach links lateralisiert und haben somit Patienten mit linksseitiger Schädigung im Versorgungsgebiet der Arteria cerebri media mit Beteiligung des ventralen prämotorischen Kortex ein negatives prädiktives Outcome auf diese Form der Therapie? Müssen die Patienten in der Lage sein, die beobachteten Videos bewusst wahrnehmen zu können?
2. Gilt diese Form des Trainings für Patienten mit einer moderaten Handfunktion, die das Beobachtete aktiv trainieren, oder kann diese Trainingsform bei wesentlich schwererer Handparese ebenfalls eingesetzt werden?

In einer Pilotstudie untersuchten wir, ob das zusätzliche Beobachten eines Videotraining den Effekt eines intensiven Trainings des Beines im Vergleich zu einer Kontrollgruppe verbessern kann. In der Tat zeigte die Gruppe von Patienten, die zusätzlich zum Training des Beines täglich dreimal zehn Minuten Videos mit Beinbewegung gesunder Probanden beobachtete, ein signifikant besseres Outcome.

Spiegeltherapie

Es wird vermutet, dass der Erfolg einer Spiegeltherapie mit den Spiegelneuronen zusammenhängt [14, 16]. Denn es wird spekuliert, dass das Betrachten der Hand im Spiegel ebenfalls die Spiegelneuronen aktiviert. Das Konzept hinter der Spiegeltherapie beruht auf der Beobachtung von in einem Spiegel sichtbaren Bewegungsabläufen der aktiv bewegbaren Extremität. Dabei sitzt der von einer Hemiparese betroffene Patient einem Spiegel gegenüber, welcher senkrecht zur Körperachse platziert ist. Der Betroffene blickt von der motorisch gesunden Seite aus in den Spiegel, und die betroffene obere Extremität befindet sich hinter diesem. Bei der nun folgenden Bewegung der nicht betroffenen Körperseite entsteht der Eindruck, die gelähmte Extremität bewege sich. Es wird vermutet, dass dabei das Spiegelneuronensystem entscheidend aktiviert werden kann. Eine entsprechende Studie liegt jedoch bislang nicht vor.

Kombinationstherapien

Derzeit stellt die aktive Beübung einer paretischen Extremität den Behandlungsstandard in der Neurorehabilitation dar. Aus den bisher gewonnenen Erkenntnissen wäre ableitbar, dass möglicherweise die Kombination aus physischer Therapie und mentaler Aktivierung, beispielsweise des Spiegelneuronensystems, zu einem noch besseren Outcome führt. Diese setzt voraus, dass die Betroffenen auch in der Lage sind, dies entsprechend umsetzen zu können. Daher ist es wichtig, in weiteren Untersuchungen Kriterien zu entwickeln, um Patientengruppen zu definieren, welche vorhersehbar von derartigen Behandlungsstrategien profitieren und welche nicht, oder welche gar aufgrund von Überforderung oder anderen Mechanismen ein eher schlechteres Outcome erwarten lassen.

Literatur

1. Binkofski F, Buccino G. Motor functions of the Broca's region. *Brain Lang* 2004; 89: 362-369.
2. Calvo-Merino B, Glaser DE, Grezes J, Passingham RE, Haggard P. Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cereb Cortex* 2005; 15: 1243-1249.
3. Caspers S, Zilles K, Laird AR, Eickhoff SB. ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *Neuroimage* 2010; 50: 1148-1167.
4. di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp Brain Res* 1992; 91: 176-180.
5. Ertelt D, Small S, Solodkin A, Dettmers C, McNamara A, Binkofski F, Buccino G. Action observation has a positive impact

on rehabilitation of motor deficits after stroke. *Neuroimage* 2007; 36 (Suppl 2): T164-173.

6. Fadiga L, Craighero L, Olivier E. Human motor cortex excitability during the perception of others' action. *Curr Opin Neurobiol* 2005; 15 (2): 213-218.
7. Fogassi L, Ferrari PF, Gesierich B, Rozzi S, Chersi F, Rizzolatti G. Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science* 2005; 308: 662-667.
8. Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 1996; 119 (Pt 2): 593-609.
9. Hickok G. Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *J Cogn Neurosci* 2009; 21: 1229-1243.
10. Iacoboni M, Molnar-Szakacs I, Gallese V, Buccino G, Mazziotta JC, Rizzolatti G. Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biol* 2005; 3: e79.
11. Iacoboni M, Woods RP, Brass M, Bekkering H, Mazziotta JC, Rizzolatti G. Cortical mechanisms of human imitation. *Science* 1999; 286: 2526-2528.
12. Keysers C, Kohler E, Umilta MA, Nanetti L, Fogassi L, Gallese V. Audiovisual mirror neurons and action recognition. *Exp Brain Res* 2003; 153: 628-636.
13. Molnar-Szakacs I, Iacoboni M, Koski L, Mazziotta JC. Functional segregation within pars opercularis of the inferior frontal gyrus: evidence from fMRI studies of imitation and action observation. *Cereb Cortex* 2005; 15: 986-994.
14. Ramachandran VS, Altschuler EL. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain* 2009; 132: 1693-1710.
15. Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci* 2004; 27: 169-192.
16. Rizzolatti G, Fabbri-Destro M, Cattaneo L. Mirror neurons and their clinical relevance. *Nat Clin Pract Neurol* 2009; 5: 24-34.
17. Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res* 1996; 3: 131-141.
18. Umilta MA, Kohler E, Gallese V, Fogassi L, Fadiga L, Keysers C, Rizzolatti G. I know what you are doing. A neurophysiological study. *Neuron* 2001; 31: 155-165.

Interessenvermerk:

Es besteht kein Interessenkonflikt.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Farsin Hamzei
Moritz-Klinik GmbH & Co. KG
Hermann-Sachse-Straße 46
07639 Bad Klosterlausnitz
E-Mail: neuro@moritz-klinik.de



Hinweis:

Diese Übersicht ist ein Vorabdruck des gleichnamigen Kapitels aus dem Buch »Motorische Therapie nach Schlaganfall« der Herausgeber Christian Dettmers und Klaus-Martin Stephan, das in Kürze im Hippocampus Verlag erscheint.

2. Mitteldeutscher Schmerztage 2011



25.–26. November 2011
Neue Weimarhalle • WEIMAR

Hausarzt und Spezialist – gemeinsam gegen den Schmerz

Schwerpunktthemen

- Rückenschmerztherapie aktuell
- Update Neuropathische Schmerzen
- Schmerzen in den Füßen
- Schmerz und Psyche

Vorläufige Inhalte

- Fachseminar für Spezialisten
- Interdisziplinäre Workshops
- Kompaktsymposium
- Programm für Hausärzte
- Reanimationskurs