

Musizieren als Therapie: von den hirnhysiologischen Grundlagen zur neurologischen Rehabilitation.

Eckart Altenmüller¹ und Sabine Schneider^{1,2},

¹ Hochschule für Musik und Theater Hannover ²Otto von Guericke Universität
Magdeburg

Schlüsselwörter: Plastizität, Neurorehabilitation, Schlaganfall, Musizieren

1 Einleitung

Um auf hohem Niveau zu musizieren, muss ein Klavierspieler komplexe Bewegungsprogramme mit höchster zeitlich-räumlicher Präzision unter auditiver Kontrolle abrufen können. Das Erlernen des Klavierspiels führt schon nach drei Wochen zu zentralnervösen plastischen Adaptationen (Bangert und Altenmüller 2003). So kommt es zu einer automatischen Kopplung der für die Sensomotorik und für das Hören zuständigen neuronalen Netzwerke (sensomotorisch-auditorische Ko-Repräsentation), deren Grundlage die synaptische Plastizität ist (Bangert et al. 2005).

Sensomotorische Kopplung und neurologische Rehabilitation. Bisher ist die Bedeutung der sensomotorischen Integration für den Wiedererwerb von Fähigkeiten während der neurologischen Rehabilitation kaum untersucht. Hummelsheim (1998) geht davon aus, dass häufige Wiederholungen der gleichen Bewegung von grundlegender Bedeutung für das motorische Lernen Gesunder ebenso wie für die Erholung motorischer Funktionen bei Patienten mit zentralen Lähmungen sind. Er zeigte anhand dreier prospektiver Studien bei Hirninfarktpatienten, dass repetitives Training einfacher Hand- und Fingerbewegungen biomechanische und funktionelle Parameter der Handmotorik deutlich verbessert und konventioneller Physiotherapie allein überlegen ist. Offensichtlich ist die sensomotorische Kopplung neben dem repetitiven Element ein wichtiger Baustein für das motorische Lernen und die Erholung motorischer Funktionen (hierzu auch Liepert, 1997).

Fazit Es sollte nun überprüft werden, ob der Mechanismus der auditiv-sensomotorischen Kopplung, also einer parallelen Aktivierung von auditiven und sensomotorischen neuronalen Netzwerken für die Rehabilitation von Feinmotorikstörungen nach Schlaganfällen nutzbar ist.

2 Patienten und Methoden

Patienten. An der Studie nahmen 62 leicht bis mittelschwer geschädigte Patienten ohne wesentliche musikalische Vorerfahrung teil. Die Patienten sollten motorische Funktionsstörungen nach Schlaganfall aufweisen und fähig sein, (1) den betroffenen Arm ohne Hilfe des gesunden und (2) den Zeigefinger ohne Hilfe der gesunden Hand zu bewegen. Diese, aus einem Neurologischen Rehabilitationszentrum stammenden, Patienten wurden zwei Gruppen zugeordnet: einer Kontrollgruppe (n = 30), die herkömmliche Therapien (Physio- und Ergotherapie) erhielt und einer Trainingsgruppe (n = 32), die zusätzlich zu den

konventionellen Verfahren am musikunterstützten Training teilnahm. In jeder Gruppe waren neben der überwiegenden Zahl an rechtshändigen Patienten jeweils ein Links- und ein Beidhänder (Oldfield, 1971). Schwere Amnesien, psychiatrische oder weitere neurologische Erkrankungen galten als Ausschlusskriterien. Die Patienten erhielten zu Beginn des Forschungsvorhabens detaillierte Erklärungen über die Inhalte und die Verfahrensweise.

Evaluation der motorischen Funktionen. Die Prä- und Post-Diagnostik der motorischen Funktionen erfolgte sowohl in der Trainings- als auch in der Kontrollgruppe mit Hilfe folgender Verfahren:

(1) 3D-Bewegungsanalyse (CMS 50, Zebris, Isny)

Zur Quantifizierung der Präzision der Bewegungen wurde dieses auf Ultraschall basierende Verfahren genutzt. Details des Messprocedures, der Position der Marker (Sender) sowie der Auswertungssoftware wurden in Anlehnung an Hermsdörfer (1996, 1999) übernommen.

Die Datenanalyse erfolgte über jeweils fünf Bewegungszyklen für jeden Durchgang. Über drei Durchgänge wurde im Anschluss gemittelt. Im Folgenden sind die Ergebnisse für das Tapping des Zeigefingers dargestellt. Hierbei sind aus den Diagrammen folgende Maße ersichtlich:

1. Frequenz [FREQ]: Anzahl vollständiger wiederholter Bewegungen/Zeit
2. Regelmäßigkeit („smoothness“) der Geschwindigkeitsänderung im Verlauf der Bewegungen [NIV]. Idealerweise ist dieser Wert 1.
3. Maximale Winkelgeschwindigkeit über die einzelnen Bewegungen gemittelt [VMAX] in °/s.

(2) Action Research Arm Test – ARAT (Carroll, 1965; Lyle, 1981)

Dieses Verfahren besteht aus folgenden Untertests: Greifen, Spitz- und Präzisionsgriff sowie Grobe Bewegungen. Die einzelnen Aufgaben sind hierarchisch nach dem Schwierigkeitsgrad gegliedert. Maximal waren 57 Punkte erreichbar.

(3) Armparese Score (Wade et al., 1983)

Sieben einfache Aufgaben sollen mit der betroffenen Hand bzw. mit beiden Händen zusammen bearbeitet werden z.B. Öffnen eines Glases, mit Lineal und Bleistift eine Linie ziehen, Haare kämmen. Für jede erfüllte Aufgabe gab es einen Punkt.

(4) Box & Block Test (Mathiowetz et al., 1985)

Dieser Test, bestehend aus einer zweigeteilten Box und 150 Würfeln, misst grobmotorische Bewegungsaspekte. Hierbei galt es, eine Minute lang einzelne Würfel jeweils mit der betroffenen und gesunden Hand von einer Seite der Box zur anderen zu transportieren. Die Anzahl der transportierten Würfel wurde gezählt.

(5) Nine Hole Pegboard Test (NHPT, Parker et al., 1986)

Die Aufgabe der Patienten bestand darin, 9 Dübel in der gleichen Anzahl von Löchern so schnell wie möglich zu platzieren. Die für diese Aufgabe benötigte Zeit wurde gemessen.

Konventionelle Therapien. Die Patienten der Trainings- und Kontrollgruppe nahmen zu jeweils gleichen Anteilen an folgenden Standardtherapien teil: Einzel-Physiotherapie, Einzel-Ergotherapie, Feinmotorikgruppe, Knetgruppe und Armgruppe (Details in Tabelle 1).

****Tabelle 1 hier****

Musikunterstütztes Training. Die Patienten der Trainingsgruppe erhielten 15 Einheiten von jeweils 30 Minuten über 3 Wochen im Einzeltraining zusätzlich zu den Standardtherapien. Die Kontrollpatienten nahmen an den konventionellen Therapien teil. Um sowohl fein- als auch grobmotorische Aspekte zu trainieren, wurden zwei unterschiedliche Eingabemedien (MIDI-Klavier, programmierbare „Drum-Pads“) vorgesehen. Die Drum-Pads (nummeriert mit 1-8) wurden so programmiert, dass sie bei Betätigung jeweils einen Klavierton (g, a, h, c, d, e, f, g') produzierten, so dass die Probanden nur ein anderes Eingabemedium hatten (grobmotorisch), aber der auditive Teil im Vergleich zum Klavier gleich blieb. Die Konfiguration/Positionierung der einzelnen Pads konnte an den Patienten angepasst werden. Entsprechend wurde das MIDI-Klavier so arrangiert, dass 8 weiße Tasten (g, a, h, c, d, e, f, g') vom Patienten gespielt werden konnten. Das Trainingsprogramm, das im Rahmen einer Pilotuntersuchung auf seine Praktikabilität geprüft wurde, setzt den Schwerpunkt auf die motorische Funktionstätigkeit bei sukzessiver Erhöhung des Schwierigkeitsgrades der einzelnen Übungen im Rahmen einer Einzeltherapie. Durch die unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten der Aufgaben (Baukastensystem) werden die Patienten Schritt für Schritt, beginnend mit der paretischen Extremität hin zum Zusammenspiel von paretischer und gesunder gefördert (siehe Abb. 1). Entsprechend den interindividuellen Schädigungsmustern wurden einige Patienten nur an den Drum-Pads (n = 2) oder nur am MIDI-Klavier (n = 16) trainiert, während die anderen Aufgaben an beiden Instrumenten (n = 14; 15 Minuten pro Instrument pro Einheit) übten. Jede einzelne Aufgabe wurde zuerst vom Trainingsleiter (S.S.) vorgespielt und vom Patienten direkt im Anschluss wiederholt. Hierbei stand der Trainingsleiter neben bzw. hinter dem Patienten und unterstützte die betroffene Extremität, falls erforderlich. Alle Aufgaben wurden mehrfach wiederholt. (Für nähere Informationen zum Trainingsmanual kontaktieren Sie bitte die Autoren.)

****Abbildung 1 hier****

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der 3D-Bewegungsanalyse sind für das Zeigefingertapping in den drei Parametern Frequenz, NIV (Regelmäßigkeit der Geschwindigkeitsänderung im Verlauf der Bewegung) und VMAX in Abbildung 2a bis c für 54 Patienten (23 Kontroll- vs. 31 Trainingspatienten) dargestellt. Die Anzahl vollständiger Fingertapping-Bewegungen pro Sekunde (Frequenz, Abb. 2a) ist in der Trainingsgruppe signifikant gestiegen (Wechselwirkung Gruppe x Zeitpunkt, $F_{1,52} = 24,57$; $p < 0,001$), während in der Kontrollgruppe keine Veränderung ersichtlich ist. Abbildung 2b zeigt, dass sich die Trainingsgruppe signifikant in der Regelmäßigkeit der Geschwindigkeitsänderung im Verlauf der Bewegung (NIV) verbessert hat (Wechselwirkung Gruppe x Zeitpunkt, $F_{1,52} = 10,81$; $p = 0,002$). Auch die maximale Winkelgeschwindigkeit VMAX (Abb. 2c) ist bedeutsam in der Trainingsgruppe zum zweiten Messzeitpunkt gestiegen (Wechselwirkung Gruppe x Zeitpunkt, $F_{1,52} = 9,01$; $p = 0,004$). Dieser Effekt ist in der Kontrollgruppe nicht erkennbar.

****Abbildungen 2a-c hier****

Die Ergebnisse weiterer vor und nach dem Training durchgeführter Messungen werden in den folgenden Abbildungen 3a bis d für alle 62 Patienten dargestellt:

****Abbildungen 3a-d hier****

Im Box & Block Test (Abb. 3a) ergibt sich ein deutlicher Leistungszuwachs der Trainingsgruppe zum zweiten Messzeitpunkt (Wechselwirkung Gruppe x Zeitpunkt, $F_{1,60} = 41,36$; $p < 0,001$). Bei den Kontrollpatienten zeigt sich kaum eine Veränderung. Auch im Nine Hole Pegboard Test (Abb. 3b) ist eine deutliche Verbesserung der Trainings- gegenüber der Kontrollgruppe im Prä-Post-Vergleich ersichtlich ($F_{1,60} = 36,33$; $p < 0,001$). Im Action Research Arm Test unterscheiden sich die Ergebnisse der Trainingsgruppe von denen der Kontrollpatienten zum zweiten Messzeitpunkt bedeutsam ($F_{1,60} = 17,86$; $p < 0,001$). Gleiches gilt für den Armparese Score nach Wade ($F_{1,60} = 11,78$; $p = 0,001$).

4 Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie haben deutlich gezeigt, dass Patienten, die unter einer Funktionsbeeinträchtigung der oberen Extremität leiden, deutlich von der musikunterstützten Therapie mit 15 Trainingseinheiten über 3 Wochen, die zusätzlich zu den herkömmlichen Standardtherapien gegeben wurde, profitieren. Die Trainingsgruppe zeigte signifikante Verbesserungen in Bezug auf den Bewegungsspielraum (Action Research Arm Test, Armparese Score), die Geschwindigkeit der Bewegung (Box & Block Test, Nine Hole Pegboard Test, die Parameter Frequenz und VMAX der 3D-Bewegungsanalyse) und die Qualität der Bewegungen (Parameter NIV Regelmäßigkeit der Geschwindigkeitsänderung im Verlauf der Bewegung). Von großer Bedeutung ist, dass die verwendete Testbatterie Verfahren mit hoher ökologischer Validität beinhaltet (z.B. Action Research Arm Test, Armparese Score nach Wade) und so ein Transfer der erworbenen Fähigkeiten in die Alltagskompetenz und -leistung der betroffenen Patienten erreicht wird.

Die Frage ist nun, welcher Mechanismus für die enormen Funktionsverbesserungen bei den Trainingspatienten verantwortlich ist. Neben einer sensomotorischen Kopplung als möglichem physiologischen Mechanismus eines verbesserten motorischen Lernens hat das musikgestützte Training nach Erfahrungen aus der Pilotstudie noch andere Vorteile: Einerseits kann der Patient über die auditorische Kontrolle die Präzision seiner motorischen Aktionen nachvollziehen, andererseits kann die Präzision der motorischen Aktionen auch quantitativ durch den an die Eingabemedien angeschlossenen Steuercomputer erfasst werden. Darüber hinaus ist das Verfahren für die Betroffenen auf Grund der starken emotionalen Tönung des Musizierens sehr motivierend. Eine weitere Erklärung könnte darin bestehen, dass das Trainingsprogramm intensiv und fortwährend wiederholt über 3 Wochen täglich zusätzlich zu den Standardtherapien angeboten wurde und eine höhere Trainingsfrequenz zu besseren Leistungen führt. Um diese Frage zu beantworten, haben wir eine weiterführende Studie initiiert, in der die Patienten, die am musikunterstützten Training teilgenommen haben mit einer zweiten Interventionsgruppe, die Constraint-induced Movement Therapy (CI Therapie) erhalten hat, verglichen werden sollen. Darüber hinaus wurden zur Objektivierung im Verlauf bei allen Patienten ereigniskorrelierte Hirnpotentiale (Bereitschaftspotential) und ereigniskorrelierte Desynchronisationen / Synchronisationen registriert (siehe Bangert et al., 2001; Bangert & Altenmüller, 2003).

Mit freundlicher Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (AL 269/7-1).

Literatur

- Bangert, M. et al. (2001). On practice: how the brain connects piano keys and piano sounds. *Ann N Y Acad Sci (United States)*, 930: 425-428.
- Bangert, M. & Altenmüller, E. (2003). Mapping Perception to Action in Piano Practice: A longitudinal DC-EEG-study. *BMC Neuroscience*, 4: 26-36.
- Bangert, M., Peschel, T., Rotte, M., Drescher, D., Hinrichs, H., Schlaug, G., Heinze, HJ., Altenmüller, E. (2005). Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: Evidence from fMRI conjunction. *Neuroimage*: doi.org/10.1016/(2005).
- Carroll, D.A. (1965). A quantitative test of upper extremity function. *Journal of Chronic Diseases*, 18: 479-491.
- Hermisdörfer et al. (1996). Dreidimensionale Bewegungsmessung zur Analyse der Handfunktion. *EKN-Report 1/1996*.
- Hermisdörfer et al. (1999). Comparative analysis of diadochokinetic movements. *J Electromyogr Kinesiol*, 9: 283-295.
- Hummelsheim, H. (1998). Die Rehabilitation der zentral paretischen Hand: Bewegungswiederholung und sensomotorische Kopplung. *Neurol. Rehabilitation*, 4 (2): 64-70.
- Liepert, J. (1997). Plastizität im motorischen System – Nachweis mittels transkranieller Magnetstimulation. *Neurol. Rehabilitation*, 3 (4): 213-217.
- Lyle RC (1981). A performance test for assessment of upper limb function in physical rehabilitation treatment and research. *Int. J. Rehab. Research*, 4: 483- 492.
- Mathiowetz et al., (1985). Adult norms for the Box and Block Test of Manual Dexterity. *Am. J. Occ. Therapy*, 39 (6): 386-391.
- Oldfield RC (1971). The assessment and analysis of handedness. *The Edinburgh Inventory. Neuropsychologia*, 9: 97-113.
- Parker VM et al. (1986). Loss of arm function after stroke: measurement, frequency and recovery. *Int. Rehabil. Med.*, 8: 69-73.
- Wade et al. (1983). The hemiplegic arm after stroke : measurement and recovery. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 46: 521-524.

Korrespondenzadresse des Erstautors

Dipl.-Psych., Dipl.-Mus.-Päd. Sabine Schneider, Institut für Musikphysiologie und Musiker-Medizin der HMT-Hannover, Hohenzollernstr. 47, D-30161 Hannover, Tel: 0049 511 3100 574, Fax 0049 511 3100 557, e-mail: sabine.schneider@hmt-hannover.de

Beschreibung der Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1

Übersicht der konventionellen Therapien für die oberen Extremitäten.

Abbildung 1

Bausteine des musikunterstützten Einzeltrainings.

Abbildungen 2a-c

Die Ergebnisse des Zeigefingertappings, gemessen mit der 3D-Bewegungsanalyse, zeigen in allen untersuchten Parametern signifikante Unterschiede zwischen der Trainings- und Kontrollgruppe zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Abbildungen 3a-d

Ergebnisse des Box & Block Tests, Nine Hole Pegboard Tests, Action Research Arm Tests und Armparese Score nach Wade.

Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1

Konventionelle Therapien/Standardtherapien	Trainingsgruppe Kontrollgruppe	
	Durchschnittliche Anzahl der Therapien über 3 Wochen	
Physiotherapie <i>einzel</i> n	4,20	4,75
Ergotherapie <i>einzel</i> n	7,20	7,18
Feinmotorikgruppe	4,80	4,17
Knetgruppe	3,50	4,00
Armgruppe (Wahrnehmung, Funktion, Koordination)	7,74	7,10
Summe	27,44	27,20

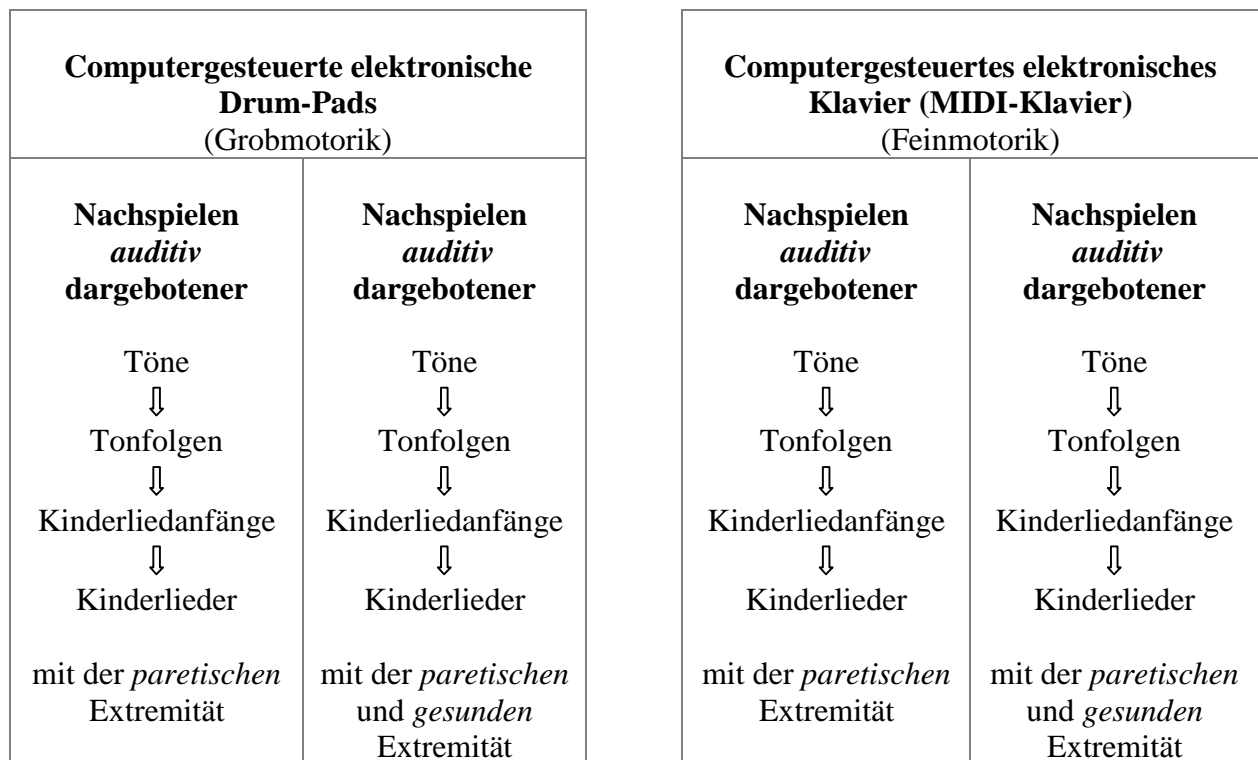
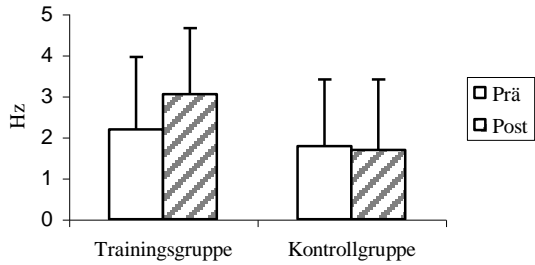


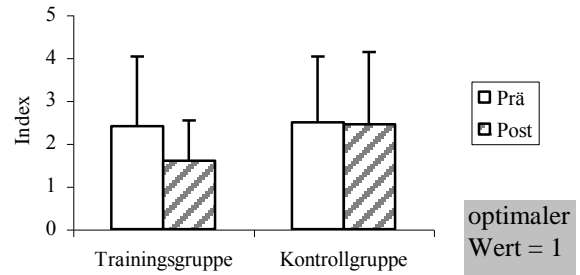
Abbildung 1

Frequenz Zeigefingertapping (Zebris)



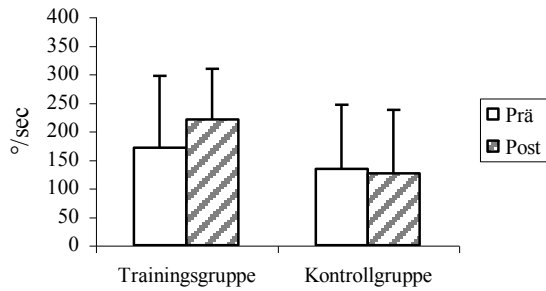
a)

NIV Zeigefingertapping (Zebris)



b)

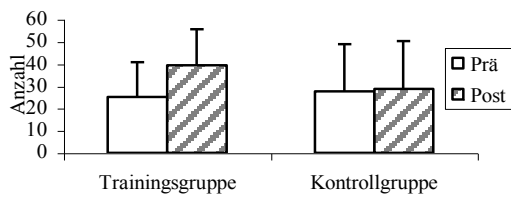
VMAX Zeigefingertapping (Zebris)



c)

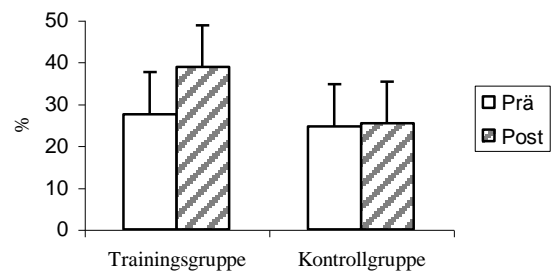
Abbildungen 2a-c

Box & Block Test

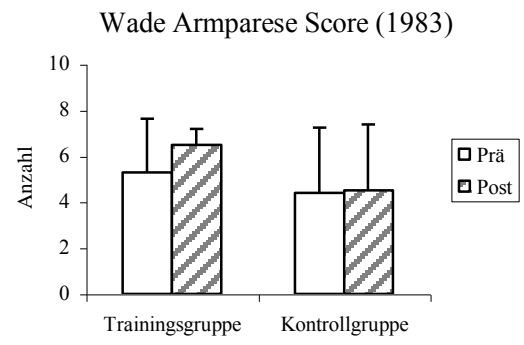
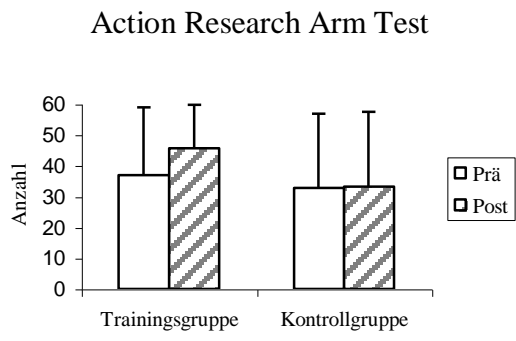


a)

Nine Hole Pegboard Test



b)



Abbildungen 3a-d

c)

d)