

Untersuchungen zur Leistungsoptimierung des Musculus quadriceps femoris mit der transkraniellen Magnetstimulation

M. Neumann

Frühere Studien zeigten, dass die Paarung der transkraniellen Magnetstimulation mit einer freiwilligen maximalen Kontraktion zu Langzeiteffekten in Form einer Steigerung der isometrischen Kraft führt (15). Das Ziel dieser Arbeit ist es, genau diese Effekte auch an aktiven Sportlern nachzuweisen.

Dazu wurden Untersuchungen an acht freiwilligen Sportlern, die aus unterschiedlichen Sportdisziplinen kommen, durchgeführt. Im Experiment wurde zunächst synchron während der isometrischen maximalen freiwilligen Kontraktion mit der TMS und zu einem anderen Messzeitpunkt asynchron nach der maximalen freiwilligen Kontraktion mit TMS stimuliert. Als Ergebnis einer Varianzanalyse mit Messwiederholung offenbarte sich ein klarer Haupteffekt von TMS Bedingung ($F=7,731$; $p=0,027$; partielles $\text{Eta}^2=0,524$). Damit konnte die Hypothese bestätigt werden, dass es möglich ist, bei Sportlern die Leistung bei der isometrischen Anspannung des Musculus quadriceps femoris durch die TMS noch zu steigern.

Key words: transcranial magnetic stimulation, long-term potentiation, maximal voluntary contraction

Einleitung

Seit der Einführung der transkraniellen Magnetstimulation von Barker (1985) als eine nicht-invasive Methode der Gehirnstimulation, wurde diese als ein Werkzeug der Modulation der kortikalen Erregbarkeit genutzt. Dabei basiert das grundlegende Prinzip der Magnetstimulation am menschlichen Gehirn auf der elektromagnetischen Induktion. Die elektromagnetische Induktion entsteht bei der Bildung eines Wechselmagnetfeldes in einem elektrischen Leiter, durch den ein Strom induziert wird (11).

In Abhängigkeit von den verwendeten Parametern der transkraniellen Magnetsti-



Abb. 1: Proband, der mit einer konischen Doppelpule auf dem Kraftmessstuhl stimuliert wird, während er sein Knie maximal isometrisch streckt (MVC). Die dabei entstandenen Drehmomente werden aufgezeichnet.

mulation (TMS), konnte eine nachhaltige Verstärkung der kortikalen Erregbarkeit erzielt werden. Dies wird durch frühere Studien bestätigt, die bei der Anwendung der TMS einen motorischen Lerneffekt demonstrierten (5). Dieser motorische Lerneffekt

wurde bereits zu therapeutischen Zwecken verwendet. So konnte zum Beispiel bei Schlaganfallpatienten durch den Einsatz von TMS eine Verbesserung der Regeneration im Bereich der Motorik und somit eine Verbesserung des Beschwerdebildes festgestellt werden (8). Aber auch bei Spastiken und Ticks kam TMS zur Anwendung, was zu einer Abschwächung der Symptome führte (3). Ein weiteres therapeutisches Anwendungsgebiet der TMS ist die Parkinsonsche Krankheit (6). Auch hier brachte die Anwendung von TMS eine Verbesserung der Motorik, welche sich in der Verbesserung des Ganges äußerte (9).

Bei der vorliegenden Untersuchung ist das Ziel, eine Verbesserung der motorischen Fähigkeit Kraft zu erreichen. Dabei soll der bedeutende Effekt der Langzeitpotenzierung ausgenutzt werden (7, 10, 13, 14, 16). LTP wird ausgelöst, wenn ein synaptischer Eingang der Pyramidenzellen des Hippokampus durch eine hochfrequente Serie von Aktionspotenzialen stark aktiviert wird. Dadurch wird die synaptische Übertragung an diesen Zellen eventuell tagelang beträchtlich gebahnt gefunden. Genau diesen Effekt nutzte auch Urbach, 2001 aus (15). In seinem Experiment wurde bei untrainierten Probanden angestrebt, durch die Paarung der isometrischen Kraft des M. quadriceps femoris mit der TMS eine Kraftsteigerung zu erzielen. Eine Weiterführung dieses Experimentes stellt die nun folgende Untersuchung dar, wobei diese nicht mehr an untrainierten Probanden durchgeführt wird, sondern direkt an aktiven Sportlern, bei denen durch einen hohen Grad an Ausdauer keine Kraftsteigerung mehr zu erwarten ist. Nur durch eine gezielte Beeinflussung direkt über das motorische Gehirn können hier noch Verbesserungen erzielt werden. Ob und wie dieses Ziel erreicht werden konnte, soll nun folgend dargelegt werden.

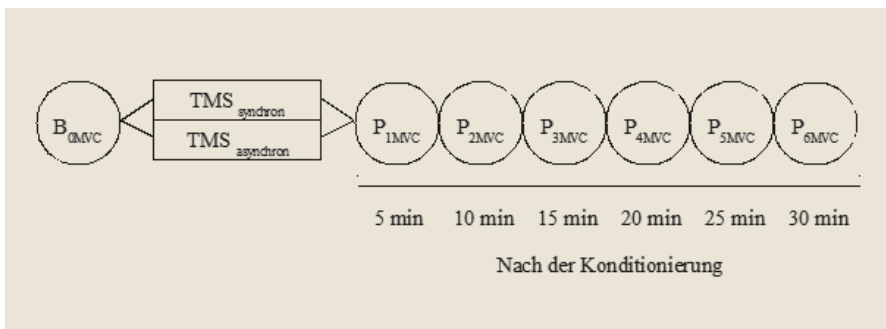


Abb. 2: Der experimentelle Ablauf für das Experiment (PAS = TMS und MVC)

Material und Methoden

Probanden

An dem Experiment nahmen acht gesunde freiwillige männliche Probanden teil, die alle Rechtshänder und zwischen 22 und 29 Jahre alt waren. Die Studie wurde als doppelte Crossover-Studie durchgeführt. Alle experimentellen Vorgehensweisen sind von einer lokalen Ethikkommission überprüft worden und jeder Proband gab seine schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie.

Untersuchungsablauf (Abb. 2)

Jeder Proband nahm in vorgeschriebener Reihenfolge an zwei Experimenten teil. Die beiden Teilerperimente fanden mindestens in einwöchigem Abstand statt.

Experiment

Für das Experiment mussten sich die Probanden in aufrechter Position in einen Spannkraftmessstuhl setzen, wobei die Hüfte und das Knie um jeweils 90° gebeugt waren. Der Körper wurde an der Stuhllehne sicher fixiert und der linke Unterschenkel jedes Probanden am Kraftmessstuhl (s. Abb. 1). Gemessen wurde über einen analogen Dehnmessstreifen. Das Experiment wurde mit zwei unterschiedlichen Konditionen durchgeführt. Entweder wurde TMS während der MVC gegeben (sync) in der Sitzung A1 oder nach der Kontraktion (async) in der Sitzung A2 (s. Abb. 2). Die Auswahl der Anordnung der experimentellen Konditionen war zufällig, vier Probanden begannen mit Sitzung A1, vier mit Sitzung A2, bei der die TMS während der maximalen willkürlichen

Kontraktion (MVC) einsetzte. Den Probanden wurde nicht mitgeteilt, dass es einen Unterschied zwischen den beiden Sitzungen gibt. Auch der Assistent, der das verbale Anfeuern für die MVC durchführte, wurde nicht darüber in Kenntnis gesetzt, um welche experimentelle Kondition es sich handelte. Der Abstand zwischen den beiden Sitzungen betrug eine Woche. Das Kraftsignal wurde verstärkt, analog-digital gewandelt mit 1kHz und in Knieextensionsmoment umgewandelt. Für die transkranielle Magnetstimulation wurden ein High Power Magstim 200 Stimulator und eine konische Doppelspule (Magstim company, Wales) verwendet, um die monophasischen TMS zu geben. Die Stimuli wurden mit 140% der motorischen Ruheschwelle (RMT) gegeben, die mit der maximum-likelihood-threshold-hunting-Prozedur (1) ermittelt wurde. Bei diesem Verfahren wird über sichtbare Twitches zur Darstellung des Erfolges die jeweilige Reizstärke ermittelt. Die Spule wird dabei annähernd 1 cm lateral auf den Vertex über den rechten Motor-kortex mit der induzierten fortlaufenden Flussrichtung von posterior nach anterior angebracht.

Der experimentelle Ablauf für das Experiment:

1. Die Ermittlung der initialen MVC:

Die Probanden mussten drei kurze, maximale, willkürliche Kontraktionen (MVC) durchführen.

2. MVC gepaart mit TMS:

Nach fünf Minuten wurden wieder drei kurze maximale Kontraktionen (MVC) zusammen mit der transkraniellen Magnetstimulation durchgeführt. Die Magnetstimulation wird einmal während der MVC gegeben (sync) wie in Sitzung A1 oder nach der MVC (async) wie in Sitzung A2 (s. Abb. 2). Der Abstand zwischen den Sitzungen betrug eine Woche.

3. Messung nach der gepaarten

Stimulation:

Es wurde nachfolgend in Abständen von 5 Minuten nach 5, 10, 15, 20 und 25 Minuten drei MVC durchgeführt und gemessen.

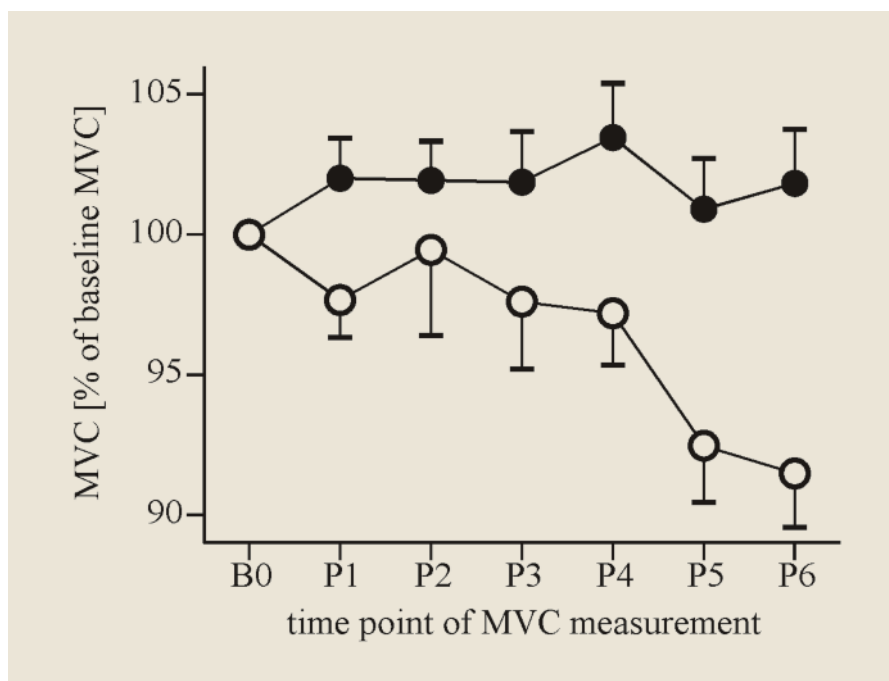


Abb. 3: Vergleich der maximalen MVC von 8 Probanden des Experiments im zeitlichen Verlauf von 5 Minuten, Symbol schwarzer Punkt: TMS synchron mit MVC Symbol: schwarzer Punkt durchsichtig: TMS asynchron mit MVC

Statistische Auswertung

Die relativen MVC-Veränderungen wurden mit den unterschiedlichen TMS-Konditionen (TMS sync, TMS async) in einer 2-Fak-



toren-Varianzanalyse mit Messwiederholung verglichen. Die dazu verwendeten Faktoren waren die TMS-Konditionen (sync und async) und die Zeit (P1, P2, P3, P4, P5, P6). Falls notwendig wurde die Zahl der Freiheitsgrade in der Varianzanalyse mit Messwiederholung mit Hilfe des Greenhouse-Geisser Verfahrens korrigiert.

Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für die Messung der Probanden im Experiment. Es zeigt sich eine leichte relative Steigerung von MVC bei den Anwendungen, bei denen TMS synchron konditioniert wurde, welche während des Verlaufes des Erfassungszeitraumes abfällt. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung offenbart einen klaren Haupteffekt von TMS Bedingung ($F=7,731$; $p=0,027$; partielles $\eta^2=0,524$). Es ist ein Haupteffekt von Zeit während der MVC ($F=3,918$; $p=0,049$; partielles $\eta^2=0,359$) zu sehen, was darauf schließen lässt, dass die MVC während des Erfassungszeitraumes fällt. Bei der Zeitbehandlungsinteraktion konnte nach dem Einsatz des Greenhouse-Geisser Verfahrens ($F=1,808$; $p=0,137$; partielles $\eta^2=0,205$) eine leichte Tendenz festgestellt werden.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass sieben von acht Probanden eine Steigerung des Drehmomentes erreichen. Damit lässt sich belegen,

dass es möglich ist die maximale Kraft eines Sportlers zu steigern. Das Ergebnis konnte direkt über den motorischen Kortex erzielt werden. Was diese Ergebnisse nicht aufzeigen, ist der mögliche Einsatz zur Leistungsoptimierung in einer Sportart. Diese Fragestellung könnte möglicherweise durch eine Fortführung der experimentellen Reihe geklärt werden.

Es muss bei diesem Ergebnis die Bedeutung der motorischen kortikalen Plastizität und der synaptischen Plastizität bei LTP-artigen Effekten beachtet werden. Ziemann (2004) verweist darauf, dass die TMS-Effekte vom funktionellen Status des motorischen Kortex abhängig sind, was zu einer Vorstellung von Responder und Nonresponder führt. Dieses würde einen gezielten Einsatz im Sportbereich noch erschweren (17).

Auf der anderen Seite ist der Einsatz für die Rehabilitation zur schnelleren Kraftsteigerung auch eine Fragestellung, deren wissenschaftliche Überprüfung sinnvoll ist. Es gibt weitere Faktoren, die bei der Durchführung von TMS-Experimenten beachtet werden müssen, wie die Bedeutung der motorischen kortikalen Plastizität und der synaptischen Plastizität bei LTP-artigen Effekten.

Oftmals werden die Ergebnisse von Experimenten wie die hier vorliegenden TMS-Effekte wegen Fehlern im experimentellen Ablauf in Frage gestellt. Die vorliegende Untersuchung weist im experimentellen Ablauf jedoch keinerlei Unterschiede zu bereits durchgeführten Studien auf (4, 13, 14, 15, 17).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Anwendung der transkraniellen Magnetsimulation viele Möglichkeiten offen hält und in Bereichen zur Anwendung kommen wird, die heute noch undenkbar sind.

Verwendete Abkürzungen

transcranial magnetic stimulation = TMS
maximal voluntary contraction force = MVC
Long term potentiation = LTP

Literatur

1. Awiszus, F. (2003). TMS and threshold hunting. *Supplements to Clinical Neurophysiology*, 56, 13-23.
2. Barker, A.T., Jalinous, R. & Freeston, I.L. (1985). Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet*, 1, 1106-1107.
3. Bhidayasiri, R. & Bronstein, J.M. (2005). Improvement of cervical dystonia: possible role of transcranial magnetic stimulation simulating sensory tricks effect. *Med. Hypotheses*, 64, 941-945.
4. Butefisch, C. M., Khurana, V., Kopylev, L., & Cohen, L. G. (2004a). Enhancing encoding of a motor memory in the primary motor cortex by cortical stimulation. *J.Neurophysiol.*, 91, 2110-2116.
5. Butefisch, C. M., Khurana, V., Kopylev, L., & Cohen, L. G. (2004b). Enhancing encoding of a motor memory in the primary motor cortex by cortical stimulation. *J.Neurophysiol.*, 91, 2110-2116.
6. Cantello, R., Tarletti, R., & Civardi, C. (2002). Transcranial magnetic stimulation and Parkinson's disease. *Brain Research Reviews*, 38, 309-327.
7. Charlton, C. S., Ridding, M. C., Thompson, P. D., & Miles, T. S. (2003). Prolonged peripheral nerve stimulation induces persistent changes in excitability of human motor cortex. *Journal of the Neurological Sciences*, 208, 79-85.
8. Hummel, F., Celnik, P., Giraux, P., Floel, A., Wu, W. H., Gerloff, C. et al. (2005). Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain*, 128, 490-499.
9. Lefaucheur, J. P., Drouot, X., Von Raison, F., Menard-Lefaucheur, I., Cesaro, P., & Nguyen, J. P. (2004). Improvement of motor performance and modulation of cortical excitability by repetitive transcranial magnetic stimulation of the motor cortex in Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*, 115, 2530-2541.
10. Ridding, M. C. & Uy, J. (2003). Changes in motor cortical excitability induced by paired associative stimulation. *Clinical Neurophysiology*, 114, 1437-1444.

11. *Rothwell, J.C. (1997)*. Techniques and mechanisms of action of transcranial stimulation of the human motor cortex. *J. Neurosci. Methods*, 74, 113-122.
12. *Stefan, K., Kunesch, E., Benecke, R., Cohen, L. G., & Classen, J. (2002)*. Mechanisms of enhancement of human motor cortex excitability induced by interventional paired associative stimulation. *Journal of Physiology*, 543, 699-708.
13. *Stefan, K., Kunesch, E., Cohen, L. G., Benecke, R., & Classen, J. (2000)*. Induction of plasticity in the human motor cortex by paired associative stimulation. *Brain*, 123, 572-584.
14. *Stefan, K., Wycislo, M., & Classen, J. (2004)*. Modulation of associative human motor cortical plasticity by attention. *Journal of Neurophysiology*, 92, 66-72.
15. *Urbach, D. & Awiszus, F. (2001)*. Stimulus strength related effect of transcranial magnetic stimulation on maximal voluntary contraction force of human quadriceps femoris muscle. *Experimental Brain Research*, 142, 25-31.
16. *Wassermann, E. M. & Lisanby, S. H. (2001)*. Therapeutic application of repetitive transcranial magnetic stimulation: a review. *Clinical Neurophysiology*, 112, 1367-1377.
17. *Ziemann, U. (2004)*. TMS Induced Plasticity in Human Cortex. *Reviews in the Neurosciences*, 253-266



Dr. phil. Mathias Neumann
 Schenkendorfstr. 5
 39108 Magdeburg
 dr.mathias.neumann@gmx.de