

---

## Aufgabenspezifische Ermüdung im Sportschießen

Albert Gollhofer, Christian Leukel & Wolfgang Taube

Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

### Problem

Das Erlernen von (komplexen) Bewegungen ist essentieller Bestandteil menschlicher Existenz. Verbesserungen im Bewegungsverhalten werden immer durch den Vergleich der intendierten Bewegung (Soll) mit sensorischen Rückmeldungen über die tatsächlich ausgeführte Bewegung (Ist = Feedback) erzielt. Dabei kann die ausgeführte Bewegung auf unterschiedliche Arten rückgemeldet werden. Eine sehr effiziente Form des Feedbacks ist das sogenannte verstärkende extrinsische Feedback, welches Rückmeldungen durch quantitative Leistungsparameter bezeichnet (wie „gut“ wurde die Bewegung tatsächlich ausgeführt). In vergangenen Studien wurde festgestellt, dass qualitative Unterschiede des verstärkenden Feedbacks bei gleicher Bewegungsausführung zu einem unterschiedlichen Ermüdungsverhalten führte (Mottram et al., 2005). Die Aufgabe bei diesen Studien war, eine submaximale isometrische Kontraktion der Finger- oder Ellenbogenbeugermuskulatur so lange als möglich aufrecht zu erhalten. Einmal wurde die Stärke der Kontraktion über die erzielte Kraft der Testperson rückgemeldet, in einem zweiten Fall bekam die Testperson Feedback auf Basis der Gelenkwinkelstellung. Bei Letzterem ermüdeten die Testpersonen wesentlich früher als bei der kraftkontrollierten Kontraktion. Da Bewegung und somit Ermüdung immer Vorgänge innerhalb des Zentralnervensystems einschließen, wurden in mehreren Studien die neuronalen „Ursachen“ des veränderten Ermüdungsverhaltens erforscht. Eine kürzlich durchgeführte Studie kam zum Schluss, dass primär Mechanismen auf Ebene des Rückenmarks und weniger Mechanismen auf Ebene des Gehirns verantwortlich für die unterschiedliche Ermüdbarkeit bei kraft- und positionskontrollierten Kontraktionen sind (Klass et al., 2008). Leider wurden in der gerade genannten Studie Limitierungen der angewendeten Methode (in der Studie wurden überschwellige transkranielle Reize appliziert) übersehen, was die Aussagekraft der Ergebnisse schmälert. Aus diesem Grund war der Ansatz der vorliegenden Arbeit, mithilfe von verbesserten Methoden nochmals zu prüfen, ob ein veränderter Beitrag des Gehirns (spezifisch der Motorkortex) zumindest teilweise erklären kann, warum Unterschiede in der neuromuskulären Aktivierung bei positions- versus kraftkontrollierten Kontraktionen bestehen. Ist tatsächlich ein Unterschied auf Ebene des Gehirns festzustellen, so sollte sportpraktisches Training, z. B. bei Sportlerinnen und Sportlern, die kraftkontrolliert trainieren und positionskontrolliert den Wettkampf bestreiten, überdacht werden.

## Methode

Zehn gesunde Versuchspersonen (2 Frauen und 8 Männer,  $26 \pm 1,9$  Jahre alt) nahmen an diesem Experiment teil. Alle Versuchspersonen gaben ihr schriftliches Einverständnis vor dem Versuch, die Studie wurde von der lokalen Ethikkommission genehmigt.

Die Versuchspersonen nahmen in einen Stuhl vor einen Computerbildschirm Platz. In allen Fällen wurde der nicht-dominante Arm getestet. Die Aufgabe für die Versuchspersonen bestand darin, mit Daumen und Zeigefinger gegen einen Widerstand zu drücken (Pinch). Der Unterarm war auf einem Tisch fixiert. Mit einem Kraftaufnehmer (Tekscan, Inc. South Boston, MA) wurde die aufgebrachte Kraft aufgezeichnet. Darüber hinaus wurde der Gelenkwinkel zwischen Daumen und Zeigefinger mit einem Goniometer (Penny & Giles) erfasst. Beide Signale, Kraft und Gelenkwinkel, wurden mit einem von links nach rechts laufenden Cursor auf dem Computerbildschirm abwechselnd dargestellt. Die Versuchspersonen führten randomisiert entweder kraftkontrollierte Kontraktionen (rückgemeldet auf dem Bildschirm war die erzeugte Kraft) oder positionskontrollierte Kontraktionen (rückgemeldet auf dem Bildschirm war die Gelenkposition) mit 20 % ihrer isometrischen Maximalkraftleistung aus. In der vorliegenden Arbeit war der untersuchte Zielmuskel der M. interosseus dorsalis (metacarpi I).

Die Beteiligung des Motorkortex bei der Kontraktion wurde mithilfe der sogenannten unterschweligen Transkraniellen Magnetstimulation (subTMS) im M. interosseus dorsalis erfasst (Davey et al., 1994). Ziel der subTMS ist es, hemmende intrakortikale Neurone künstlich durch magnetische Induktion zu erregen, die den Output des Motorkortex zur Muskulatur hemmen. Die Hemmung wird durch Oberflächenelektromyographie erfasst. Die Hemmung des Output des Motorkortex ist nur dann zu sehen, wenn der Motorkortex den Muskel tatsächlich ansteuert (Hemmung = aktive Beteiligung des Motorkortex bei der Kontraktion). In unserer Studie wurde die subTMS bei kraft- und positionskontrollierten Kontraktionen appliziert.

## Ergebnisse

Das wichtigste Ergebnis der Studie war eine signifikant vergrößerte Hemmung durch subTMS bei den positionskontrollierten Kontraktionen im Vergleich zu kraftkontrollierten Kontraktionen. Diese Hemmung wurde im Zielmuskel m. interosseus dorsalis durch Oberflächenelektromyographie erfasst und berechnet. Um die Hemmung sichtbar zu machen wird das individuell gemittelte Elektromyogramm über 80 einzelne Versuche mit subTMS vom gemittelten Elektromyogramm ohne subTMS subtrahiert (Davey et al., 1994). Die Hemmung im Oberflächenelektromyogramm dauerte  $9,30 \pm 4,36$  ms (Mittelwert und Standardabweichung) für die Kontraktionen mit Feedback bezüglich der Kraft und  $13,90 \pm 7,51$  ms für die Kontraktionen mit Feedback über die Gelenkposition ( $F = 7,284$ ,  $P = 0,02$ ).

## Diskussion

Die vorliegende Studie konnte nachweisen, dass die Beteiligung des Gehirns bei positions- und kraftkontrollierte Kontraktionen unterschiedlich ist. Die muskuläre Hemmung durch subTMS fiel bei positionskontrollierten Kontraktionen stärker aus als bei kraftkontrollierten Kontraktionen. Eine stärkere Hemmung ist wahrscheinlich das Ergebnis einer stärkeren Beteiligung des Gehirns bei der Kontraktion. Aufgrund dieser Befunde wird vermutet, dass Testpersonen aufgrund der stärkeren Beteiligung des Motorkortex schneller bei positionskontrollierten Kontraktionen ermüden. In diesem Zusammenhang sind frühere Arbeiten zu erwähnen, die verändertes Aktivitätsverhalten von Nervenzellen des motorischen Kortex eng in Verbindung mit muskulärer Ermüdung brachten (Gandevia, 2001).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind neben dem grundsätzlichen Erkenntnisgewinn von praktischer Relevanz. Dies wird beispielsweise bei der Trainingsgestaltung von Athletinnen und Athleten im Schießsport ersichtlich. Die Wettkampfübung von Sportschützen ist positionskontrolliert, das vorbereitende Krafttraining jedoch nicht. Folglich sollte aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die Trainingsgestaltung überdacht und ein positionskontrolliertes Krafttraining ausgeführt werden.

## Literatur

- Davey, N.J., Romaguere, P., Maskill, D.W. & Ellaway, P.H. (1994). Suppression of voluntary motor activity revealed using transcranial magnetic stimulation of the motor cortex in man. *Journal of physiology*, 477, 223-235.
- Gandevia, S.C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological reviews*, 81, 1725-1789.
- Klass, M., Levenez, M., Enoka, R.M. & Duchateau, J. (2008). Spinal mechanisms contribute to differences in the time to failure of submaximal fatiguing contractions performed with different loads. *Journal of neurophysiology*, 99, 1096-1104.
- Mottram, C.J., Jakobi, J.M., Semmler, J.G. & Enoka, R.M. (2005). Motor-unit activity differs with load type during a fatiguing contraction. *Journal of neurophysiology*, 93, 1381-1392.
- Penny & Giles, 665 North Baldwin Park Boulevard, City of Industry, CA 91746.