

FORSCHUNGSBERICHT

der
Medizinischen Hochschule Hannover
Sportphysiologie ,/ Sportmedizin

*Veränderungen des EMG Leistungsspektrums
während hochintensiver willkürlicher Muskelaktivität
in Zusammenhang mit Veränderungen der
Blutchemischen Größen*

Autoren:

V Shushakov
N Maassen

VERÄNDERUNGEN DES EMG LEISTUNGSSPEKTRUMS WÄHREND HOCHINTENSIVER WILLKÜRLICHER MUSKELAKTIVITÄT IN ZUSAMMENHANG MIT VERÄNDERUNGEN DER BLUTCHEMISCHEN GRÖSSEN

Vladimir Shushakov and Norbert Maassen

Sportsphysiologie /Sportsmedizin, Medizinische Hochschule Hannover
chouchakov.vladimir@mh-hannover.de

EINLEITUNG

Das Phänomen der Verschiebung des EMG- Leistungsspektrums hin zu niedrigeren Frequenzen während einer ermüdenden Kontraktion zeigt eine gute Reproduzierbarkeit und wird deswegen, manchmal zusammen mit der Zunahme der EMG-Amplitude, als Indikator der peripheren Ermüdung benutzt (Muscle Fatigue Index) (1-3), da sich dieser Effekt parallel zu Abnahme der Muskelkraft entwickelt. Als Hauptursache dieser Spektrumsverschiebung wird meistens eine Abnahme der Muskelfaserleitgeschwindigkeit (ELG) gesehen, wobei allerdings auch Veränderungen der Feuerungsrate der Motoneurone eine kleine Rolle zugeschrieben wird (3). Die Hauptrolle für die Verschiebungen des EMG- Spektrums wird wegen der guten Übereinstimmung der Veränderungen beider Größen in den Änderungen der Muskelfaserleitgeschwindigkeit gesehen (1,4). Außerdem gibt es mathematische Simulationen, die diese Theorie unterstützen (z. B. Stegeman & Linssen 1992 (5)). Allerdings sind die Mechanismen, die während der Muskelaktivität zu einer Abnahme der Muskelfaserleitgeschwindigkeit führen könnten, nicht geklärt. In diesem Zusammenhang werden in der Regel eine Abnahme des Muskel pH (6,7) so wie eine Erhöhung der extrazellulären Kaliumkonzentration (8-10) diskutiert. Es gibt experimentelle Daten über die hemmenden Einflüsse der erhöhten extrazellulären Kaliumkonzentration (11,12) oder der Muskelazidose (12,13) auf die ELG. In der Arbeit von Brody et al. (13) wurde eine gute Korrelation zwischen den Veränderungen des EMG - Spektrums und ELG während der Manipulation des pH-Wertes in der Badelösung gezeigt. Es fehlen jedoch solche Daten aus in vivo Experimenten. Deswegen war das Ziel unserer Studie die Zusammenhänge zwischen pH-Wert, Kaliumkonzentration und Parametern der evozierten und willkürlichen EMG - Signale an Menschen zu untersuchen.

METHODIK

9 Probanden nahmen an der handergometrischen Untersuchung teil. Nach 15 min. dynamischer Arbeit mit 7,5 Kg (Aufwärmphase) mussten die Versuchspersonen 6-mal eine einminütige, statische Arbeit an einem Griff, an dem ein Korb mit Gewichten hing, leisten. Gewichte zwischen 5 und 30 kg sollten während der Arbeitsphase auf konstantem Niveau gehalten werden. Die Gewichte wurde mit einer Abstufung von 5 kg zufällig variiert. Die Arbeitsphasen waren durch vierminütige Pausen getrennt. Der Säuren-Basen-Status und die Konzentration der Elektrolyte wurden im cubitalvenösen Blut bestimmt. Die evozierten (M-Welle) und willkürlichen (EMG) EMG-Signale wurden von der Unterarmmuskulatur mit Oberflächenelektroden bipolar abgeleitet. Der RMS-Wert (RMS) und die mediane Frequenz des Leistungsspektrums (MF) wurden für das willkürliche EMG-Signal berechnet. M-Wellen wurden durch supramaximale Stimulation der motorischen Endplatte mit konstantem, rechteckigen Stromimpuls von 1,5 ms Dauer ausgelöst. Für die M-Wellen wurden Amplitude, Fläche, Dauer bis zum Maximum (Tmax) und die Zeit zwischen den zur motorischen Endplatte proximalen und distalen Ableitstellen (\square T) bestimmt.

ERGEBNISSE

Die größten Veränderungen des pH-Wertes (von $7,36 \pm 0,01$ auf $7,30 \pm 0,03$; $p < 0,005$) fanden während der Aufwärmphase statt. Während der Arbeit mit Gewichten unter 20 kg wurde das pH nach den Arbeitsphasen alkalischer (z. B. $7,32 \pm 0,02$

bei 5 kg) und saurer nur bei den hohen Gewichten ($7,25 \pm 0,04$ bei 30 kg). Die Fläche der M-Welle ist zum Anfang der ersten Arbeitsphase um $24,9 \pm 19,6\%$ ($p < 0,01$) gestiegen. Die Kaliumkonzentration im Plasma stieg in Abhängigkeit vom Gewicht an. Der größte Anstieg war $+2,5$ mmol/l nach der Arbeitsphase mit 30 kg.

Die MF wies zwar einen engen Zusammenhang mit der Kaliumkonzentration auf, aber es gab keine Korrelation zwischen MF und ELG ($r^2 = 0,02$) oder zwischen ELG und Kaliumkonzentration. Die Veränderungen des pH-Wertes zeigten keinen Zusammenhang weder mit der ELG noch mit der MF.

DISKUSSION

Im Gegensatz zu der in der Literatur verbreiteten Meinung über einen engen Zusammenhang zwischen den MF und ELG (1,4,14,15), konnte in unseren Experimenten keine Abhängigkeit der MF von den Veränderungen der ELG nachgewiesen werden. Es wurde auch keine bedeutende Rolle der Veränderungen des pH-Wertes bzw. der Kaliumkonzentration für die Veränderungen der ELG gefunden. Nach der Literatur soll die hemmende Wirkung der pH -Abnahme bzw. der Zunahme der extrazellulären Kalium durch die langsame Inaktivierung der Natriumkanäle in Folge einer Depolarisation erfolgen. Zu diesem Effekt kam es in unseren Versuchen wegen der kurzen Arbeitsdauer und der Hyperpolarisation während der Aufwärmphase offensichtlich nicht. Nach unserer Meinung sind die Veränderungen der MF in unserer Studie auf Veränderungen in der Rekrutierung unterschiedlicher Muskelfasertypen zurückzuführen. Es ist bekannt, dass schnelle und langsame Muskelfasertypen unterschiedliche ELG aufweisen. Die ELG kann in schnellen Muskelfasern im Vergleich mit den langsamen doppelt so hoch sein (16). Das heißt, dass eine Abnahme des Anteiles der schnellen Muskelfasern am EMG-Signal (Amplitude oder Frequenz) zur Abnahme im hochfrequenten Bereich des EMG-Spektrums führt. Folglich kann die Ursache der Linkverschiebung der MF in der Abnahme der Feuerungsrate in schnellen motorischen Einheiten liegen. Die Reduzierung der Feuerungsrate während andauernder intensiver Muskelaktivität wurde an m. adductor pollicis (17), an m. extensor digitorum (18) und an m. biceps brachii (19) gezeigt. Diese Muskeln besitzen einen großen Anteil schneller Muskelfasern, was auch auf die in unseren Versuchen getestete Fingerbeugemuskulatur zutrifft (z. B. im m. flexor carpi radialis ist der Anteil der FT-Muskelfaser 59,1% (20)). Dagegen zeigen Muskeln mit überwiegend langsamen Muskelfasern eher eine stabile Feuerungsrate während der 30 s der MVC (21). Die Ursache für die Abnahme der Feuerungsrate könnte eine durch Akkumulation von Stoffwechselprodukten hervorgerufene Aktivierung von Muskelafferenzen mit kleinen Durchmessern sein, die die Motoneurone hemmen (19,22-24). Auch eine Adaptation der Motoneurone an die Erregung kommt bei solchen Belastungen in Frage (25-27). Außerdem könnte eine Zunahme der Rekrutierung der langsamen Muskelfasern zur Abnahme der MF führen.

Somit ist klar, dass die Diskrepanzen zwischen unseren Daten und den Daten aus der Literatur teilweise dadurch erklärt werden können, dass die in vitro Versuche von Anfang an alle zentralen Einflüsse ausschließen. Das betrifft auch die in vivo Versuche, in denen die Muskelkontraktion durch eine elektrische Stimulation hervorgerufen wurde. So fanden denn auch Bigland-Ritchie et al. (28) für eine willkürliche Kontraktion keinen Zusammenhang zwischen den Veränderungen der MF

und ELG. Außerdem werden die in vivo Versuche nicht selten unter unphysiologischen Bedingungen durchgeführt. Zum Beispiel wurde gezeigt, dass die Effekte von Veränderungen des pH-Wertes bzw. der Kaliumkonzentration sehr stark temperaturabhängig sind (29,30). Die meisten Ergebnisse, die eine große Wirkung dieser Effekte für die Muskeleerregbarkeit zeigen, wurden bei niedrigen Temperaturen gewonnen.

ZUSAMMENFASSUNG

Unsere Ergebnisse zeigen erstens, dass die Abnahme der ELG in unserer Untersuchung eine sekundäre oder gar keine bedeutende Rolle für die Ermüdung spielte, zweitens, dass die möglichen Wirkungen der geänderten [K⁺], [Na⁺] und [H⁺] auf die ELG einander kompensieren könnten oder von anderen Faktoren (z. B. ein Temperaturanstieg oder eine Aktivierung von Na/K-ATPase) kompensiert wurden, und drittens, dass die MF nicht grundsätzlich von der ELG abhängig ist. Nach unse-

rer Meinung wurden die Verschiebungen der MF in unserer Untersuchung durch die Veränderungen der Rekrutierung unterschiedlicher Muskelfasertypen hervorgerufen.

LITERATUR

1. Bigland-Ritchie et al. *Exp Neurol.* 64(2):414-427, 1979.
2. Bigland-Ritchie et al. *J.Appl.Physiol* 51: 1300-1305, 1981.
3. Kössler et al. *Z Gesamte Hyg* 36(7):354-356, 1990.
4. Kranz et al. *J.Appl.Physiol* 55:392-399, 1983.
5. Lindstrom et al. *J.Appl.Physiol* 43:750-754, 1977.
6. Lindstrom et al. *Electromyography* 10:341-356, 1970.
7. Merletti et al. *J Appl Physiol* 69(5):1810-1820, 1990.
8. Mortimer et al. *Am J Physiol* 219(5):1324-1329, 1970.
9. Moxham et al. *J Appl Physiol* 53(5):1094-1099, 1982.
10. Petrofsky, *Aviat Space Environ Med* 52(9):545-550, 1981.
11. Stulen & DeLuca, *IEEE-Trans-Biomed-Eng* 28(7): 515-523, 1981.

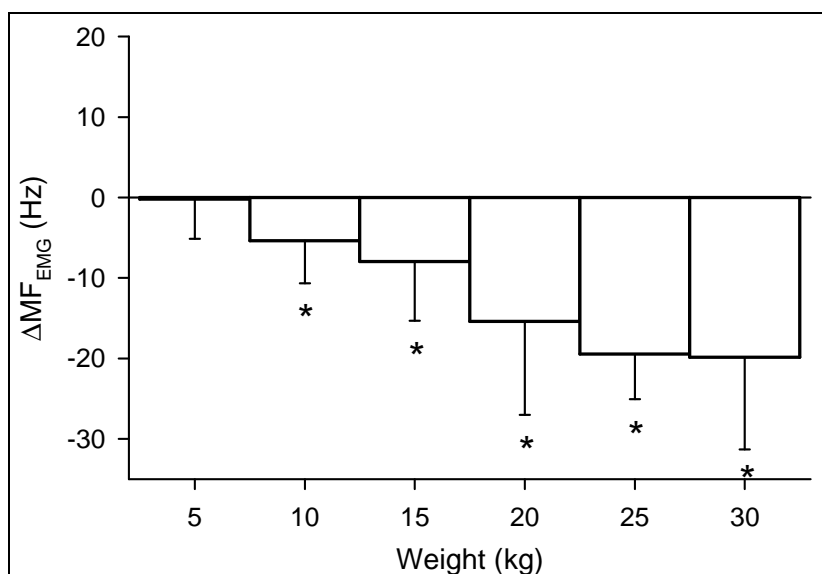


Abb. 1: Die MF nahm während der Arbeitsintervalle intensitätsabhängig ab. Die maximale Veränderung war 20 Hz oder mehr als 20 % während der Arbeit mit 30 kg..

