

Małgorzata Kowza-Dzwonkowska^{1,2}
Wydział Turystyki i Rekreacji
Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku

Elektrostymulacja mięśni szkieletowych jako element wspomagający trening sportowy

Electromyostimulation as an element supporting sports training

Streszczenie

Cel badań: Celem badań jest przedstawienie możliwości związanych z zastosowaniem elektrostymulacji mięśni szkieletowych jako elementu wspomagającego trening sportowy. Zaletą takiej formy treningu jest wykonanie konkretnej pracy przez wybrane mięśnie, szczególnie u mniej doświadczonych zawodników, którzy nie potrafią wyeksponować konkretnego mięśnia podczas ćwiczeń. Impuls elektryczny powoduje synchroniczne uruchomienie jednostek motorycznych docelowego mięśnia przez ten sam wzór impulsów w standardowych i powtarzalnych warunkach oraz uzyskuje się znacznie wyższy poziom aktywności mięśnia wraz z upływem czasu.

Projekt / metodologia / podejście: Omówiony został wpływ elektrostymulacji (EMS) mięśni szkieletowych na tkankę mięśniową i zmiany fizjologiczne, na poprawę cech motorycznych oraz porównanie EMS do treningu sportowego.

Wyniki: Po EMS dochodzi do poprawy skoczności (Maffiuletti, Cometti et al. 2000) i wzrasta siła maksymalna mięśni (Maffiuletti, Bramanti et al. 2009). Seria odpowiednio dobranych zabiegów prowadzi do powiększenia powierzchni przekroju mięśnia, znacznego zwiększenia siły maksymalnej oraz wzrostu aktywacji mięśni (Gondin, Guette et al. 2005; Kästner, Braun et al. 2015). Krótkotrwała stymulacja mięśni o niskiej częstotliwości gwałtownie skraca czas uzyskania skurczu. Po długotrwałej stymulacji dochodzi do poprawy tego wyniku, lecz następuje to wolniej niż w początkowej fazie (Heilmann and Pette 1979). Badania potwierdzają, że po EMS dochodzi do regeneracji mięśni szkieletowych poprzez obniżenie poziomu stresu oksydacyjnego w komórkach satelitarnych mięśni oraz tworzenie się nowych miofibrilli (Di Filippo, Mancinelli et al. 2017). Jako element treningu sportowego EMS odpowiada cztero-krotnie dłuższemu treningowi o wysokiej intensywności ćwiczeń (Kemmler, Teschler et al. 2016).

Badania i praktyczne ograniczenia / implikacje: Z uwagi na doniesienia, że EMS wpływa na regenerację mięśni, można zastosować tę metodę jako element odnowy biologicznej w trakcie podróży, gdy inne formy nie są dostępne lub jako krótkotrwały trening.

¹ mgr Małgorzata Kowza-Dzwonkowska, e-mail: malgorzata.kowza-dzwonkowska@awf.gda.pl

² Opiekunem naukowym jest prof. dr. hab. Jan Jacek Kaczor (Uniwersytet Medyczny w Gdańsku, Zakład Bioenergetyki i Fizjologii Wysiłku Fizycznego).

Wnioski: Podsumowując, odpowiednio dobrana seria zabiegów elektrostymulacji mięśni szkieletowych może wpłynąć na zwiększenie siły mięśni, masy mięśniowej, skoczności, szybkości i wytrzymałość oraz na zmianę struktury włókien mięśniowych.

Słowa kluczowe: elektrostymulacja mięśni, sport, skok z zamachem, siła mięśni

Abstract

Purpose: The aim of the publication is to present the possibilities associated with the use of skeletal muscle electrostimulation as an element supporting sports training. The advantage of this form of training is the performance of specific work by select muscle, especially in less experienced players who can't isolate a particular muscle during exercise. The electric impulse causes synchronous activation of the muscle contraction in the standard and reproducible conditions, resulting in a much higher level of muscle activity over time.

Design / methodology / approach: The effect of muscle electrostimulation on muscle tissue and physiological changes, on the improvement of motor features and the EMS equation for sports training was discussed.

Findings: EMS improves the jumping ability (Maffiuletti, Cometti et al. 2000), the maximum muscle strength has also increased (Maffiuletti, Bramanti et al. 2009). Short-term stimulation of low-frequency muscles dramatically shortens the time of getting a contraction. After prolonged stimulation, this result is improved, but it is slower than in the initial phase (Heilmann and Pette 1979). A series of suitable treatments leads to the enlargement of the area of the muscle section, a significant increase in the maximum strength and increase in muscle activation (Gondin, Guette et al. 2005, Kästner, Braun et al. 2015). Recently, it has been shown that EMS regenerates skeletal muscle by reducing the oxidative status in satellite cells muscle hypertrophy and the formation of new myofibrils (Di Filippo, Mancinelli et al. 2017). EMS as a sports training is similar to 4-fold longer training with high intensity exercises (Kemmler, Teschler et al. 2016).

Research and practical limitations / implications: Due to reports that EMS affects muscle regeneration, you can use this method as part of wellness during the journey, when other forms are not available or as a short-term training.

Originality / value: In summary, a properly selected series of skeletal muscle electrostimulation may affect muscle strength, muscle mass, jumping, speed and endurance as well as changing the structure of muscle fibers.

Keywords: electrical muscle stimulation, sport, counter movement jump, muscle strength

1. Wstęp

Elektrostymulacja (EMS) mięśni polega na wzbudzeniu mimowolnego skurczu mięśni przy zastosowaniu prądu impulsowego. Skurcz mięśni uzyskiwany jest przy częstotliwości powyżej 10 Hz (McAuley, Rothwell et al. 1997). EMS jako dodatkowy element treningu siłowego została po raz pierwszy zastosowana w 1970 roku w byłym Związku Radzieckim. Po serii 16 zabiegów zaobserwowano poprawę wytrzymałości o 40% (Kots and Chilon 1975). Wywołało to duże zainteresowanie wśród wielu sportowców i badaczy. Mimo, że od blisko 50 lat prowadzone są różne badania nad skutecznością EMS w sporcie, nie ma pewności jak ten element treningu należy wykorzystywać. Odpowiedni dobór metod treningowych w sporcie wyczynowym jest najważniejszy. Powinien on zapewnić podniesienie poziomu sportowego poprzez osiąganie lepszych wyników. W zależności od specyfiki dyscypliny sportowej może on zwiększać siłę, moc, szybkość i wytrzymałość rozumianych jako cechy sprawności fizycznej człowieka (Buśko 2006; Mastalerz 2008). Trenerzy i naukowcy nieustannie w tym celu poszukują nowych metod treningowych. Możliwość zastosowania sprawdzonego uzupełniającego treningu w postaci elektrostymulacji mięśni była by nieocenionym narzędziem dla doświadczanego trenera. Wiadomo, że zabiegi te zwiększają masę mięśniową (Heilmann and Pette 1979) i siłę mięśni (Benito, Lara et al. 2010). Potwierdzono, że EMS stosowany w fizjoterapii poprawia wytrzymałość oraz siłę mięśni, wykazano, że po EMS w większym stopniu wzrasta wytrzymałość mięśni niż po odpowiednio dobranych ćwiczeniach (Buśko 2006). Należy jednak pamiętać, że nadmierne zwiększenie siły mięśni niesie ze sobą pewne możliwości wystąpienia obrażenia w stawach i aparacie więzadłowym (Benito-Martinez, Matrinez-Amat et al. 2013).

2. Wpływ elektrostymulacji mięśni na tkankę mięśniową

Po EMS uzyskuje się znacznie wyższy poziom aktywności mięśnia z upływem czasu, niż po jakimkolwiek reżimie ćwiczeń, wymuszając na nich pełny potencjał adaptacyjny (Pette 2006). Potwierdzają to badania przeprowadzone w laboratorium Pettego, w których zastosowano długotrwałą elektrostymulację o niskiej częstotliwości, trwającą 4 godziny 7 razy w tygodniu, przez okres 10 tygodni, u sportowców wysokiego wyczynu na mięśniu czworogłowym. Zmiany adaptacyjne w mięśniach mężczyzn zaobserwowano w postaci znacznego wzrostu włókien wolno kurczliwych (MHCI) o 10%, $p < 0,05$ oraz istotnego zmniejszenia włókien szybko kurczliwych (MHCIId/x) o 20%, $p < 0,01$. Włókna MHCIa pozostały niezmienione. Doszło również do wzrostu aktywności syntazy cytrynianowej (CS) na poziomie 9%, $p < 0,005$ i zmniejszenia aktywności dehydrogenazy aldehydu 3-fosfoglicerynowego (GAPDH) o 7%, $p < 0,01$. Wzrost CS i spadek GAPDH aktywności wskazują na zwiększenie zdolności mięśni do wysiłku o charakterze tlenowym. Wykazano również, że wynikiem długotrwałej elektrostymulacji jest transformacja włókien szybko do wolno kurczliwych. (Nuhr, Crevenna et al. 2003). W innym badaniu wskazano, że krótkotrwała stymulacja mięśni o niskiej częstotliwości trwająca od 2 do 13 dni gwałtownie skraca czas uzyskania skurczu. Po długotrwałej stymulacji

mięśni trwających nawet 75-90 dni dochodzi do poprawy tego wyniku, lecz następuje to wolniej niż w początkowej fazie. Potwierdzono, że po długotrwałej stymulacji dochodzi do modyfikacji w retikulum sarkoplazmatycznym włókien szybko kurczliwych, upodabniając je do włókien wolno kurczliwych (Heilmann and Pette 1979). Wskazuje to na dobry kierunek zmian i adaptację włókien mięśniowych na zwiększoną pracę wywołaną impulsem elektrycznym.

EMS kończyn dolnych przeprowadzony u seniorów wpływa na regenerację mięśni szkieletowych poprzez obniżenie statusu oksydacyjnego w komórkach satelitarnych. Zwiększa się liczba jąder we włóknie mięśniowym i powierzchnia przekroju poprzecznego mięśni oraz fenotyp włókien mięśniowych. Wykazano zwiększone wskaźniki proliferacji komórek satelitarnych i komórek miogennych wraz ze wzrostem wolnych stężeń Ca^{2+} w cytoplazmie i ekspresją genów miogenicznych MYOD i MYOG. Produktem ekspresji MYOD jest **białko MyoD**, czynnik transkrypcyjny aktywujący inne geny, których białkowe produkty są typowe dla komórek mięśniowych. W wyniku EMS dochodzi do regeneracji włókien mięśniowych i znacznie poprawiła się siła mięśni szkieletowych oraz mobilność osób starszych (Di Filippo, Mancinelli et al. 2017). Wyniki tych badań potwierdzają, że EMS wpływa na hipertrofię mięśniową oraz tworzenia się nowych miofibrili.

3. Wpływ parametrów zabiegu EMS na cechy motoryczne

Wyniki badań potwierdzają, że elektrostymulacja mięśni czworogłowych o częstotliwości 150 Hz z impulsie trwającym 0.35 s i przerwą 3-12 s, wykonywanych dwa razy w tygodniu po 12 przez okres 8 tygodni poprawia wysokość skoku po zeskoku ze skrzyni średnio o 11,2 % ($p < 0,001$) (Benito, Lara et al. 2010). Te same parametry elektrostymulacji zostały zastosowane w innym badaniu z użyciem testu skoczności w postaci trójskoku ale, nie zaobserwowano poprawy wyników (Benito-Martinez, Matrinez-Amat et al. 2013). Wskazuje to na konieczność dobrego dobrania rodzaju testu. Po 4 tygodniach EMS, odbywających się 3 razy w tygodniu po 16-minut, na mięśniu dwugłowym uda, nie doszło do poprawy wysokości wyskoku z zamachem, ale poprawiła się wysokość skoku z przysiadu o 14 % ($p < 0,01$). Z kolei po 8 tygodniach takich zabiegów skok z zamachem uległ znacznej poprawie średnio o 18% ($p < 0,01$) a skok z przysiadu poprawił się średnio o 17% ($p < 0,01$) (Maffiuletti, Cometti et al. 2000). Wynika z tego, że wydłużenie czasu stosowania EMS do 8 tygodni wpłynęło na znaczną poprawę skoczności. Pozostaje pytanie czy zwiększenie ilości zabiegów w tygodniu i dłuższy czas zabiegu EMS wpłynie w większym stopniu na poprawę uzyskanych rezultatów. Przeprowadzono badanie gdzie zastosowano większą liczbę zabiegów do 16 oraz częstotliwość do 4 razy w tygodniu i zmianie uległ czas trwania zabiegu do 34 minut. W pomiarach skoczności w wysokości skoku z zamachem i skoku z przysiadu nie zaobserwowano zmian zaraz po zakończeniu wszystkich sesji i 2 tygodnie później (Herrero, Izquierdo et al. 2006). Jednak po zastosowaniu 16-nasto minutowego treningu EMS 3 razy w tygodniu tylko przez 3 tygodnie doszło do poprawy wysokości skoku z zamachem, ale dopiero po dwóch (o 5.3%) i trzech tygodniach (o 6.4% $p < 0.05$) od zakończenia zabiegów. Również po dwóch i trzech tygodniach wzrosła siła maksymalna mięśni (Maffiuletti, Bramanti et

al. 2009). Istotne może być dokonanie pomiarów po dwóch i trzech tygodniach od zakończenia EMS, ponieważ do poprawy rezultatów może dojść po fazie odpoczynku. Na możliwość poprawy rezultatów może mieć znaczący wpływ częstotliwości zastosowanego prądu w EMS. Potwierdzono że po zastosowaniu prądu o częstotliwości 40 Hz lub stosowniu łącznie częstotliwości 80 Hz i 20 Hz z 6 sekundową długością skurczu i przerwy w zabiegu trwającym po 30 min dochodzi do poprawy siły mięśni. Po zastosowaniu dwóch częstotliwości jednocześnie poprawa siły mięśni była wyższą (Cometti, Babault et al. 2016). Dowodzi to, że każdy z parametrów elektrostymulacji mięśni (czas, częstotliwość prądu, czas trwania skurczu oraz przerwy, czas trwania zabiegu, częstotliwość wykonywania EMS w tygodniu) ma istotne znaczenie w możliwości osiągnięcia zamierzonego rezultatu. Daje to możliwość tworzenia niemal nieskończenie wielu rodzajów protokołów zabiegowego w celu poszukiwania tych rzeczywiście skutecznych w wybranej dyscyplinie sportowej.

Filipovic i współpracownicy zauważyli, że najczęściej w badaniach nad EMS wybierano mięsień czworogłowy lub inne mięśnie górnych części kończyny dolnej (Filipovic, Kleinöder et al. 2011). Po EMS czworogłowego uda dochodzi do powiększenia powierzchni przekroju mięśnia, znacznego zwiększenia siły maksymalnej (o 27% $p=0,001$) oraz wzrostu aktywacji mięśni (o 6% $p=0,001$). Efekt ten był spowodowany 18-nasto minutowym EMS odbywającym się 4 razy w tygodniu przez 4 tygodnie ze skurczami trwającymi 6,25 s i przerwą 20 s (Gondin, Guette et al. 2005; Kästner, Braun et al. 2015).

4. EMS w porównaniu do treningu sportowego

Bardzo istotne jest odniesie treningu EMS do konkretnego rodzaju ćwiczeń. Próbowano to osiągnąć porównując EMS prostownika kolana wywołujący 64-skurcze trwające 1 sekundę do ćwiczeń polegających na wykonaniu po 80-skurczy koncentrycznych i ekscentrycznych z 70% obciążeniem maksymalnej siły skurczu, w tym samym tempie. Treningi były przeprowadzone 4 razy w tygodniu przez 4 tygodnie. Okazało się, że moc maksymalna znacząco wzrosła w obu grupach, ale tylko po EMS poprawiła się wysokość skoku z zamachem. Badanie wskazuje, że aby uzyskać podobny efekt poprawy siły mięśni, jak po treningu sportowym można zastosować EMS, w którym mięsień wykonuje o 20% mniej skurczy (Herrero, Martín et al. 2010).

Elektrostymulacją całego ciała może być stosowana jako alternatywa dla aktywności fizycznej lub jako element treningu sportowego. W badaniach Kemmlera i wsp. zastosowano 20-minutowy program treningowy polegający na elektrostymulacji całego ciała (8-12 grup mięśniowych z elektrodami założonymi na ramionach, górnej części pleców, najszerszym grzbiecie, dolnej części pleców, klatce piersiowej, brzuchu, pośladkach, udach oraz 4 dowolnych) o częstotliwości 85 Hz, z impulsem o szerokość 350 μ sec o długości skurczu trwającym 6 sekund z 4 sekundami przerwy. Treningi te odbywały się 2 razy w ciągu 3 tygodni, przez okres roku. Wykazano, że EMS poprawia maksymalną siłę mięśni w skurczu izometrycznym kończyn dolnych oraz dochodzi do zatrzymania utraty masy

mięśniowej (Kemmler and von Stengel 2013). Zmniejszeniu uległa ilość brzusznej masy tłuszczowej oraz istotnie poprawiła się maksymalna siła mięśni prostownika pleców w skurczu izometrycznym (Kemmler, Engelke et al. 2012).

Z innych badań wynika, że po 16 tygodniach elektrostymulacji mięśni całego ciała trwających około 30 minut w tygodniu (20 min EMS, 3 razy w ciągu 2 tygodni) dochodzi do podobnych zmiany w składzie ciała i sile mięśni jak po 120 minutach tygodniowo ćwiczeń o wysokiej intensywności (Kemmler, Teschler et al. 2016). Na podstawie Można stwierdzić, że EMS krótszy nawet trzykrotnie przynosi podobne rezultaty jak trening sportowy.

5. Zmiany fizjologiczne po EMS

Zaobserwowano, że po pierwszych zabiegach EMS całego ciała poziom kinazy kreatynowej (CK) we krwi kilkakrotnie wzrósł. Po kolejnych zabiegach obserwowano również znaczny wzrost CK pomimo, że zabiegi były wykonywane tylko jeden raz w tygodniu po 20 min. Dopiero po 10 zabiegach poziom CK zaczął się stabilizować z poziomu bazowego 278 ± 155 U/L do poziomu $17,6 \pm 14,7$ U/L (Kemmler, Teschler et al. 2015). Badacze proponują by elektrostymulację mięśni całego ciała zaczynać od krótszych zabiegów i stopniowo je wydłużać do optymalnego czasu. W innym ośrodku naukowym badano stosowanie 31 treningów EMS dwa razy w tygodniu po 20 minutowy. W dwóch grupach badanych elektrostymulowano górne części ciała (mięśnie tułowia i barków) lub dolne części ciała (mięśnie pośladków i nóg). W obydwu grupach odnotowano istotną statystycznie poprawę badanych parametrów jak zwiększony pobór tlenu i zwiększona pojemność wyrzutową serca. Van Buuren i wsp... sugeruje, że EMS może być alternatywą dla pacjentów z przewlekłą niewydolnością serca, którzy nie mogą podejmować konwencjonalnych form treningu fizycznego (van Buuren, Mellwig et al. 2014). EMS o niskiej częstotliwości może zostać zastosowana jako element regeneracji po intensywnym wysiłku fizycznym ponieważ istotnie wpływa na zmniejszenie CK w krwi, poprawia wysokość skoku z zamachem i zmniejszenie odczuwania bolesności mięśniowej po 24 h od treningu sprinterskiego (Taylor, West et al. 2015). Daje to możliwość zastosowania tej metody jako elementu odnowy biologicznej w trakcie podróży, gdy inne formy regeneracji nie są dostępne.

6. Wnioski

Podsumowując odpowiednio dobrana seria zabiegów elektrostymulacji mięśni szkieletowych może wpłynąć na zwiększenie siły mięśni, masy mięśniowej, skoczności, szybkości i wytrzymałość oraz na zmianę struktury włókien mięśniowych. Jakkolwiek istnienia doniesienia w których nie zaobserwowano podobnych zmian w wyniku EMS.

Literatura

- Benito-Martinez, E., A. Matrinez-Amat, et al. (2013). "Effect of combined electrostimulation and plyometric training on 30 meters dash and triple jump", *J Sports Med Phys Fitness*, Vol. 53, pp 387-395.
- Benito, E., A. Lara, et al. (2010). "Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump", *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, Vol 6, Issue 21, pp 322-324.
- Buśko, K. (2006). "Analiza wpływu programów treningu o różnej strukturze intensywności na siłę i moc maksymalną mięśni kończyn dolnych człowieka", Wydawnictwo AWF Studia i monografie, Warszawa, Vol 109.
- Cometti, C., N. Babault, et al. (2016). "Effects of Constant and Doublet Frequency Electrical Stimulation Patterns on Force Production of Knee Extensor Muscles", *PLoS One*, Vol 11, Issue 5.
- Di Filippo, E. S., R. Mancinelli, et al. (2017). "Neuromuscular electrical stimulation improves skeletal muscle regeneration through satellite cell fusion with myofibers in healthy elderly subjects", *Journal of Applied Physiology*, Vol 123, Issue 3, pp 501-512.
- Filipovic, A., H. Kleinöder, et al. (2011). "Electromyostimulation—A systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters", *The Journal of Strength & Conditioning Research*, Vol 25, Issue 11, pp 3218-3238.
- Gondin, J., M. Guette, et al. (2005). "Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture", *Medicine and science in sports and exercise*, Vol 37, Issue 8, pp 1291.
- Heilmann, C. and D. Pette (1979). "Molecular Transformations in Sarcoplasmic Reticulum of Fast Twitch Muscle by Electro-Stimulation", *European Journal of Biochemistry*, Vol. 93, Issue 3, pp 437-446.
- Herrero, A. J., J. Martín, et al. (2010). "Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance. A randomized controlled trial. Part I", *The Journal of Strength & Conditioning Research* Vol 24, Issue 6, pp 1609-1615.
- Herrero, J. and M. Izquierdo (2006). "Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time", *International Journal of Sports Medicine*, Vol 27, Issue 7, pp 533-9.
- Kästner, A., M. Braun, et al. (2015). "Two Cases of Rhabdomyolysis After Training With Electromyostimulation by 2 Young Male Professional Soccer Players", *Clinical Journal of Sport Medicine*, Vol 25, Issue 6, pp e71-e73.
- Kemmler, W., K. Engelke, et al. (2012). "Effects of Whole-Body-Electromyostimulation on Sarcopenia in Lean, Elderly Sedentary Women. The TEST-III Study", *Deutsche zeitschrift fur sportmedizin* Vol 63, Issue 12, pp 343-+.
- Kemmler, W., M. Teschler, et al. (2015). "Hohe Kreatinkinase-Werte nach exzessiver Ganzkörper-Elektromyostimulation: gesundheitliche Relevanz und Entwicklung im Trainingsverlauf", *Wiener Medizinische Wochenschrift*, Vol 165, Issue 21-22, pp 427-435.

- Kemmler, W., M. Teschler, et al. (2016). "Effects of Whole-Body Electromyostimulation versus High-Intensity Resistance Exercise on Body Composition and Strength: A Randomized Controlled Study", *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Vol 9236809, Issue 10, pp 29.
- Kemmler, W. and S. von Stengel (2013). "Whole-body electromyostimulation as a means to impact muscle mass and abdominal body fat in lean, sedentary, older female adults: subanalysis of the TEST-III trial." *Clin Interv Aging*, Vol 8, pp 1353-1364.
- Kots, Y. and V. Chilon (1975). "The training of muscular power by method of electrical stimulation", *State Central Institute of Physical Culture, Moscow*.
- Maffiuletti, N., G. Cometti, et al. (2000). "The Effects of Electromyostimulation Training and Basketball Practice on Muscle Strength and Jumping Ability", *International journal of sports medicine* Vol 21, Issue 6, pp 437-443.
- Maffiuletti, N. A., J. Bramanti, et al. (2009). "Feasibility and Efficacy of Progressive Electrostimulation Strength Training for Competitive Tennis Players", *The Journal of Strength & Conditioning Research* Vol 23, Issue 2, pp 677-682.
- Mastalerz, A. (2008). Reakcja układu mięśniowego na wysiłki o maksymalnej intensywności, *Wydawnictwo AWF, Warszawa*.
- McAuley, J., J. Rothwell, et al. (1997). "Frequency peaks of tremor, muscle vibration and electromyographic activity at 10 Hz, 20 Hz and 40 Hz during human finger muscle contraction may reflect rhythmicities of central neural firing", *Experimental Brain Research*, Vol 114, Issue 3, pp 525-541.
- Nuhr, M., R. Crevenna, et al. (2003). "Functional and biochemical properties of chronically stimulated human skeletal muscle", *European journal of applied physiology*, Vol 89, Issue 2, pp 202-208.
- Pette, D. (2006). "Skeletal muscle plasticity—history, facts and concepts", *Skeletal Muscle Plasticity in Health and Disease*, Springer Vol 1 Issue 27.
- Taylor, T., D. J. West, et al. (2015). "The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players", *Journal of Science and Medicine in Sport*, Vol 18, Issue 3, pp 328-332.
- van Buuren, F., K. P. Mellwig, et al. (2014). "Electrical myostimulation: improvement of quality of life, oxygen uptake and left ventricular function in chronic heart failure", *Rehabilitation*, Vol 53, Issue 5, pp 321-326.