

Zaangażowanie Autorów

- A – Przygotowanie projektu badawczego
B – Zbieranie danych
C – Analiza statystyczna
D – Interpretacja danych
E – Przygotowanie manuskryptu
F – Opracowanie piśmiennictwa
G – Pozyskanie funduszy

Author's Contribution

- A – Study Design
B – Data Collection
C – Statistical Analysis
D – Data Interpretation
E – Manuscript Preparation
F – Literature Search
G – Funds Collection

Maciej Płaszewski

Wydział Fizjoterapii, Wyższa Szkoła Administracji Towarzystwa Szkolnego
im. M. Reja, Bielsko-Biała

Zmiany częstości skurczów serca pod wpływem ćwiczeń izometrycznych i rosyjskiej stymulacji mięśni prostowników stawu kolanowego

Heart rate changes following isometric exercise of the knee extensor and Russian stimulation

Słowa kluczowe: kinezyterapia, elektrostymulacja przezskórna, akcja serca
Key words: kinesiotherapy, transdermal electrostimulation, pulse rate

STRESZCZENIE

Wstęp. Ćwiczenia izometryczne powodują większy wzrost częstości skurczów serca niż porównywalne wysiłki dynamiczne. Ma to znaczenie dla pacjentów ze schorzeniami sercowo-naczyniowymi. Alternatywą ćwiczeń izometrycznych jest elektrostymulacja nerwowo-mięśniowa. W pracy porównano wzrost akcji serca w wyniku obu rodzajów wysiłków statycznych mięśni prostowników kolana.

Materiał i metody. Badano 65 zdrowych osób (33 mężczyzn, 32 kobiety) w wieku 20-22 ($x = 20,94$) lat. W kolejności losowej, co 48 godzin, prowadzono ćwiczenia izometryczne i rosyjską elektrostymulację. Wykonywano pomiary tensometryczne najwyższych wartości sił każdego skurczu. Akcję serca mierzono przed i po wysiłku.

Wyniki. Podczas ćwiczeń siła kolejnych skurczów malała i wynosiła w pierwszym i ostatnim powtórzeniu 380,7 N ($\pm 63,9$) i 349,2 N ($\pm 51,9$) oraz 635,3 N ($\pm 120,0$) i 562,1 N ($\pm 102,7$), odpowiednio u kobiet i mężczyzn. Podczas stymulacji wyniki analogicznych pomiarów wyniosły kolejno 126,7 N ($\pm 84,5$) i 137,63 N ($\pm 70,1$) oraz 282,2 N ($\pm 102,81$) i 262,2 N ($\pm 117,7$). Częstość skurczów serca wzrosła po ćwiczeniach u kobiet o 52,2 uderzeń na minutę, a różnice istotne statystycznie utrzymywały się do 2 min. po wysiłku. U mężczyzn wzrost akcji serca wyniósł 56,9 ud/min, a różnice były istotne do 3 min. po wysiłku. Po elektrostymulacji akcja serca wzrosła u kobiet o 12,9 ud/min ($p < 0,001$), a u mężczyzn o 9,9 ud/min ($p < 0,001$). U obu płci wykazano brak istotnych różnic częstości skurczów serca w kolejnych pomiarach w stosunku do wartości spoczynkowych.

Wnioski. U młodych, zdrowych kobiet i mężczyzn intensywne ćwiczenia izometryczne prostowników kolana prowadzą do znacznie większego i dłuższego trwającego wzrostu akcji serca niż typowa rosyjska elektrostymulacja.

SUMMARY

Background. Isometric exercise leads to a greater heart rate increase than comparable dynamic exertion, which is of considerable importance in cardiovascular disorders. Neuromuscular electrical stimulation is an alternative to isometric exercise. We compared heart rate increases following both kinds of static exertion of the knee extensors.

Material and methods. 65 healthy volunteers (33 males, 32 females) 20-22 years of age (mean 20.94) completed the trial. Isometric exercise and electrical stimulation were performed randomly, with a 48-hour rest period. The peak contraction forces were measured at each repetition. The heart rate was recorded at baseline and post-exertion.

Results. Contraction forces decreased in subsequent repetitions. The first and last repetitions in females and males were measured at 380.7 N (± 6.9), 349.2 N (± 51.9), 635.3 N (± 120.0) and 562.1 N (± 102.7), respectively. The corresponding data for electrically evoked contraction forces were as follows: 126.7 N (± 84.5), 137.63 N (± 7.1), 282.2 N (± 102.81) and 262.2 N (± 117.7). Heart rate increased immediately after exercise in females by 52.2 beats/min, and significant differences ($p < 0.001$, $p < 0.01$) existed for 2 minutes during recovery. In males the increase was 56.9 beats/min, and the differences were significant ($p < 0.001$, $p < 0.01$) for 3 minutes post-exercise. Heart rate increased immediately after stimulation by 12.9 beats/min ($p < 0.001$) in females and by 9.9 beats/min ($p < 0.001$) in males.

Conclusions. In young, healthy males and females, intensive isometric exercise leads to a greater and more prolonged heart rate increase than does Russian electrical stimulation.

Liczba słów/Word count: 2160

Tabele/Tables: 0

Ryciny/Figures: 8

Piśmiennictwo/References: 21

Adres do korespondencji / Address for correspondence

dr Maciej Płaszewski

Wydział Fizjoterapii WSA, e-mail: plaszewski@wp.pl

43-300 Bielsko-Biała, ul. A. Frycza Modrzewskiego 12, tel./fax: (0-33) 811-10-43,

Otrzymano / Received

17.01.2005 r.

Zaakceptowano / Accepted

23.05.2005 r.

WSTĘP

Zwyrodnieniom kolana mogą towarzyszyć zaniki mięśnia czworogłowego uda, a zwłaszcza mięśnia obszernego przyśrodkowego. Dlatego stosuje się wysiłki statyczne – ćwiczenia izometryczne i/lub elektrostymulację nerwowo-mięśniową. Wysiłki wolicjonalne statyczne powodują większy wzrost częstości skurczów serca niż porównywalne wysiłki dynamiczne [1]. Ma to znaczenie dla pacjentów ze współtowarzyszającymi schorzeniami sercowo-naczyniowymi [2]. W niektórych przypadkach (unieruchomienia, stany po operacji więzadeł) ruch w stawie jest niemożliwy lub przeciwwskazany. Wtedy alternatywą ćwiczeń izometrycznych może być elektrostymulacja nerwowo – mięśniowa [3]. Brak jest porównań wpływu ćwiczeń izometrycznych o typowej metodyce do stymulacji według metody Kots'a (rosyjska stymulacja) [4,5,6]. W pracy porównano wielkość zmian częstości skurczów serca w wyniku ćwiczeń izometrycznych dowolnych i rosyjskiej stymulacji mięśni prostowników kolana.

MATERIAŁ I METODY

Badano 65 zdrowych, aktywnych fizycznie osób (33 mężczyzn, 32 kobiety) w wieku 20-22 ($x = 20,94$) lat. Wykonywano ćwiczenia izometryczne (5 sekund skurcz, 10 sekund przerwa, 10 powtórzeń, maksymalny wysiłek) [4] i elektrostymulację (10 sekund skurcz do granicy tolerancji, 50 sekund przerwa), losowo, co 48 godzin [5]. Zastosowano tzw. rosyjską stymulację (rosyjski prąd, prąd Kots'a: prąd sinusoidalnie zmienny o częstotliwości 2500 Hz, bipolarny, płynący w pakietach 50 Hz [5, 6]. Wykonywano po-

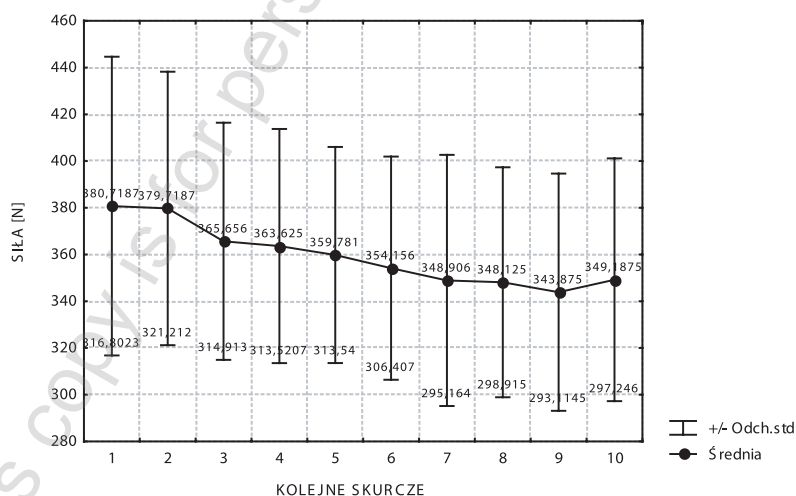
miary tensometryczne najwyższych wartości sił podczas każdego powtórzenia. Częstość skurczów serca mierzono przed wysiłkiem (pomiar spoczynkowy), bezpośrednio po wysiłku oraz co minutę, przez kolejne 5 minut. Do pomiarów sił zastosowano tensometryczny przetwornik siły S2/1000 N ze wzmacniaczem pomiarów MVD 2510, klasa dokładności 0.1, firmy Hottinger Baldwin Messtechnik, elektrostymulację wykonywano urządzeniem Sonicator 992 Plus firmy Mettler Electronics, a do pomiarów częstości skurczów serca służył aparat Polar Sport Tester GBR 165020 A.

W celu oceny istotności różnic pomiędzy wartościami spoczynkowymi i powysiłkowymi częstości skurczów serca, w poszczególnych grupach, zastosowano test Fischera dla porównań zaplanowanych. Porównywano wartości częstości skurczów serca z kolejnych pomiarów powysiłkowych do wartości spoczynkowych. Jako istotne statystycznie przyjęto różnice uzyskanych wielkości na poziomach $p < 0.001$, $p < 0.01$ oraz $p < 0.05$.

WYNIKI

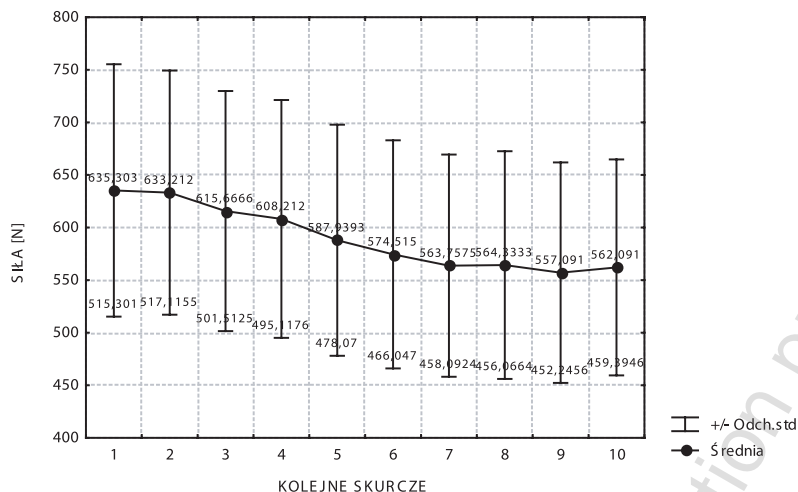
Podczas ćwiczeń dowolnych siła kolejnych skurczów była coraz mniejsza i wynosiła w pierwszym i ostatnim powtórzeniu 380,7 N ($\pm 63,9$) i 349,2 N ($\pm 51,9$) oraz 635,3 N ($\pm 120,0$) i 562,1 N ($\pm 102,7$), odpowiednio u kobiet i mężczyzn. Podczas stymulacji wyniki analogicznych pomiarów wyniosły kolejno 126,7 N ($\pm 84,5$) i 137,63 N ($\pm 70,1$) oraz 282,2 N ($\pm 102,81$) i 262,2 N ($\pm 117,7$). Wartości sił osiągniętych w kolejnych skurczach ćwiczeń i stymulacji, u kobiet i mężczyzn, przedstawiają Ryc. 1-4.

Częstość skurczów serca była u kobiet natychmiast po ćwiczeniach izometrycznych wyższa od war-

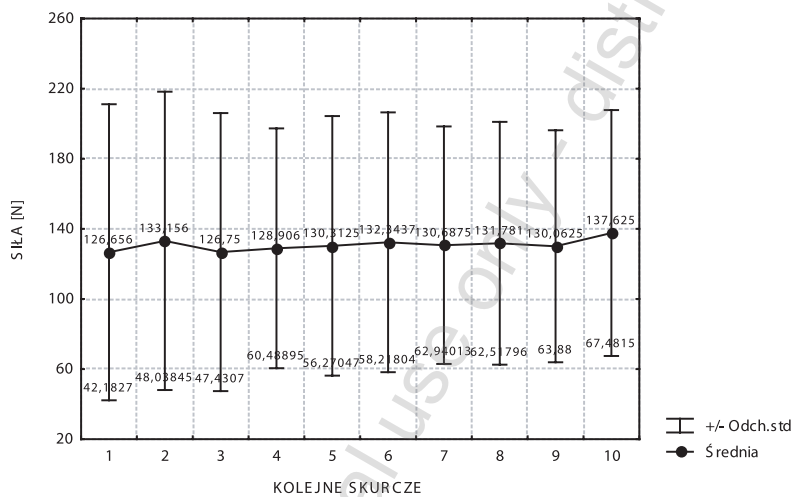


Ryc. 1. Siła skurczów mięśni prostowników kolana podczas ćwiczeń izometrycznych u kobiet

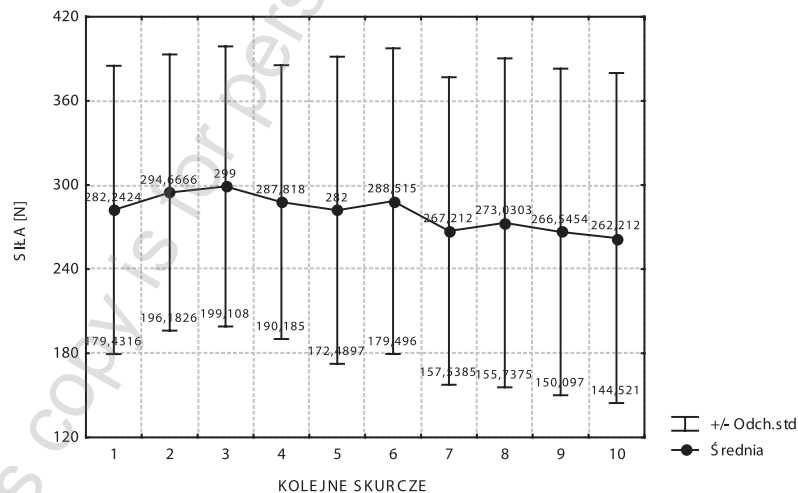
Fig. 1. Force of knee extensor contraction during isometric exercise in females



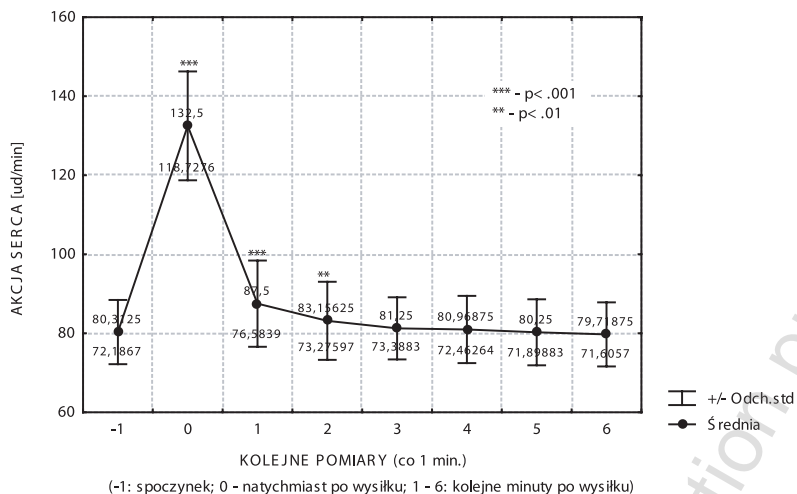
Ryc. 2. Siła skurczów mięśni prostowników kolana podczas ćwiczeń izometrycznych u mężczyzn
 Fig. 2. Force of knee extensor contraction during isometric exercise in males



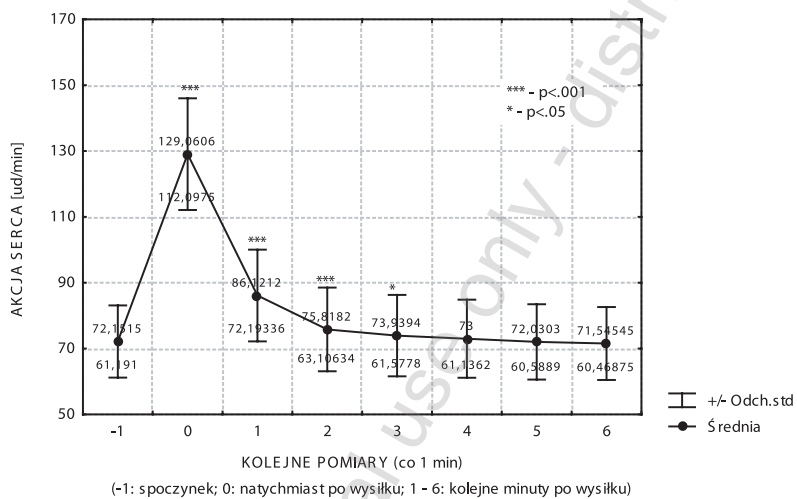
Ryc. 3. Siła mięśni prostowników kolana podczas elektrostymulacji u kobiet
 Fig. 3. Force of knee extensor contraction during electrical stimulation in females



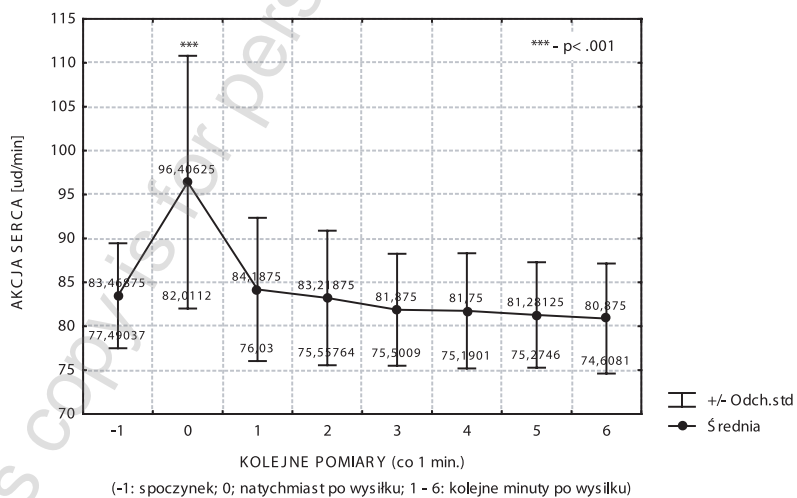
Ryc. 4. Siła mięśni prostowników kolana podczas elektrostymulacji u mężczyzn
 Fig. 4. Force of knee extensor contraction during electrical stimulation in males



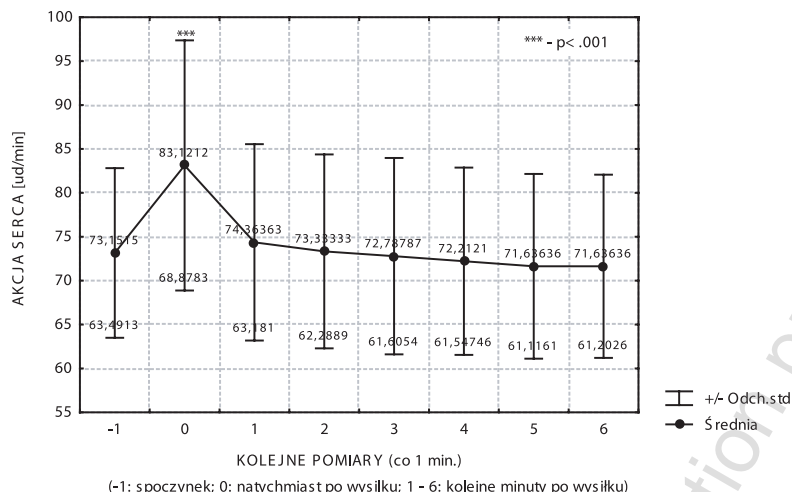
Ryc. 5. Częstość skurczów serca przed i po ćwiczeniach izometrycznych u kobiet
 Fig. 5. Heart rate before and after isometric exercise in females



Ryc. 6. Częstość skurczów serca przed i po ćwiczeniach izometrycznych u mężczyzn
 Fig. 6. Heart rate before and after isometric exercise in males



Ryc. 7. Częstość skurczów serca przed i po elektrostymulacji u kobiet
 Fig. 7. Heart rate before and after electrical stimulation in females



Ryc. 8. Częstość skurczów serca przed i po elektrostymulacji u mężczyzn
 Fig. 8. Heart rate before and after electrical stimulation in males

tości spoczynkowych średnio o 52,2 ud/min, a podwyższone wartości tego parametru ($p < 0.001$, $p < 0.01$) utrzymywały się do 2 min. po wysiłku (Ryc. 5).

U mężczyzn wzrost częstości skurczów serca po ćwiczeniach izometrycznych, w stosunku do wartości sprzed wysiłku, wyniósł średnio 56,9 ud/min, a istotne różnice względem wartości spoczynkowych ($p < 0.001$, $p < 0.01$) wykazały trzy kolejne pomiary – do 3 min. po wysiłku (Ryc. 6).

Po elektrostymulacji u kobiet akcja serca była natychmiast po wysiłku wyższa od wartości spoczynkowych o 12,9 ud/min ($p < 0,001$), a u mężczyzn o 9,9 ud/min ($p < 0,001$). U obu płci wykazano brak istotnych różnic częstości skurczów serca w kolejnych pomiarach, w stosunku do wartości sprzed wysiłku (Ryc. 7 i 8).

DYSKUSJA

Obserwowany znacząco wyższy wzrost częstości skurczów serca w wyniku ćwiczeń wolicjonalnych może wynikać zarówno z większej siły skurczów mięśni niż podczas elektrostymulacji, jak też z odrębnych mechanizmów fizjologicznych obu rodzajów pracy mięśniowej. Przepuszczalnie podczas stymulacji ma miejsce odwrócona kolejność rekrutacji jednostek motorycznych, a co za tym idzie wzrasta zapotrzebowanie metaboliczne pracujących mięśni i szybciej następuje ich zmęczenie [7,8,9,10,11,12,13]. Znane są różnice biomechaniczne i topograficzne, a także odrębności mechanizmów kontroli układu nerwowego pomiędzy wolicjonalnymi i wzbudzonymi skurczami izometrycznymi mięśnia czworogłowego [11,14,15,16,17]. Wpływ na wielkość perfuzji mają nie tylko siła, czas trwania i częstość, ale również rodzaj skurczu izometrycznego [1,2,3,18]. Pro-

wadzano badania dotyczące reakcji układu sercowo – naczyniowego na skurcze stymulowane. Wykazano zależność intensywności stymulacji i zapotrzebowania metabolicznego pracujących jednostek motorycznych oraz wielkości wzrostu przepływu krwi [7,15, 19,20]. Wybiórcza powierzchniowa aktywacja jednostek motorycznych podczas elektrostymulacji osłabia wpływ mechaniczny skurczu mięśnia na naczynia krwionośne (pompa mięśniowa), w porównaniu do skurczów wolicjonalnych o podobnej sile [21]. Dostępne badania porównujące zmiany akcji serca pod wpływem stymulacji i ćwiczeń dowolnych dotyczyły innej niż w badaniach własnych metodologii. Carington i wsp. [14] badali zmiany akcji serca u osób z niewielką niewydolnością mięśnia sercowego pod wpływem pojedynczych zgięć grzbietowych stopy. Zarówno po stymulacji, jak i ćwiczeniach dowolnych stwierdzili nieznaczny i krótkotrwały wzrost akcji serca. Leyk i wsp. [15] odnotowali znaczący wzrost akcji serca w wyniku ćwiczeń (również zginanie grzbietowe stopy) i brak istotnych zmian tego parametru po elektrostymulacji. Wyniki badań własnych korespondują częściowo z tymi obserwacjami. Wydaje się, że elektrostymulacja może być wartościową alternatywą dla ćwiczeń izometrycznych dowolnych, ze względu na umiarkowanie dużą intensywność pracy mięśniowej i brak obciążenia mięśnia sercowego. Wskazane są jednak dalsze badania, zwłaszcza dotyczące pomiarów zmian ciśnienia tętniczego krwi.

WNIOSKI

1. Pomiary tensometryczne wykazały prawidłowy, intensywny przebieg ćwiczeń izometrycznych wolicjonalnych i elektrostymulacji.

2. U zdrowych młodych osób – zarówno kobiet, jak i mężczyzn – intensywne ćwiczenia izometryczne prostowników kolana prowadzą do znacznie większego i dłużej trwającego wzrostu akcji serca niż rosyjska elektrostymulacja o typowej metodyce.
3. Niewielki i krótkotrwały wzrost częstości skurczów serca świadczy o mniejszym obciążeniu układu sercowo – naczyniowego i przewadze lokalnych mechanizmów regulacji przepływu krwi podczas zabiegu rosyjskiej elektrostymulacji.

PODZIĘKOWANIA

Autor dziękuje profesorowi Krzysztofowi Spodarykowi za konsultacje podczas konstrukcji i realizacji eksperymentu oraz doktorowi Januszowi Wątrobie za wskazówki dotyczące analizy statystycznej.

PIŚMIENNICTWO

1. Sjogaard G, Saltin B. Cardiovascular and metabolic responses to static contraction in man. *Acta Physiol Scand* 138: 249-258, 1990.
2. Shiotani I, Sato H, Sato H, Yokoyama H, Ohnishi H, Hisida E, Kinjo K, Nakatani D, Kuzuya T, Hori M. Muscle pump-dependent self-perfusion mechanism in legs in normal subjects and patients with heart failure. *J Appl Physiol* 92: 1647-1654, 2002.
3. Hainaut K, Duchateau J. Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med* 14: 100-113, 1992.
4. Rosławski A, Skolimowski T. Technika wykonywania ćwiczeń leczniczych. ss. 70-71. PZWL Warszawa, 1992.
5. Babkin D, Timtsenko N (eds). Notes from dr Kots' (USSR) lectures and laboratory periods, Canadian – Soviet exchange symposium on electrostimulation of skeletal muscle, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, December 6-15, 1977.
6. Ward A R, Shkuratova N. Russian electrical stimulation. The early experiments. *Phys Ther* 82: 1019-30, 2002.
7. Binder-Macleod SA, Halden EE, Jungles KA. Effects of stimulation intensity on the physiological responses of human motor units. *Med Sci Sports Exerc* 27: 556-565, 1995.
8. Currier DP. Electrical stimulation for improving strength and blood flow. [w:] Nelson RM, Currier DP (red.). *Clinical Electrotherapy*. ss. 141- 164. Appleton & Lange, Norwalk 1987.
9. Eriksen M, Waaler BA, Walloe L, Wesche J. Dynamics and dimensions of cardiac output changes in humans at the onset and at the end of moderate rhythmic exercise. *J Physiol (Lond.)* 426: 423-437, 1990.
10. Iellamo F, Legramante JM, Raimondi G, Castrucci F, Damiani C, Foti C, Peruzzi G, Caruso I. Effects of isokinetic, isotonic and isometric submaximal exercise on heart rate and blood pressure. *Eur J Appl Physiol* 75: 89-96, 1997.
11. Ogino M, Shiba N, Maeda T, Iwasa K, Tagawa Y, Matsuo S, Nishimura H, Yamamoto T, Nagata K, Basford JR. MRI quantification of muscle activity after volitional exercise and neuromuscular electrical stimulation. *Am J Phys Med Rehabil* 81: 446-451, 2002.
12. Sinacore DR, Delitto A, King DS, Rose SJ. Type II fiber activation with electrical stimulation: a preliminary report. *Phys Ther* 70: 416-22, 1990.
13. Delitto A, Snyder-Mackler L. Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation. *Phys Ther* 70: 158-164, 1990.
14. Carrington CA, Fisher WJ, Davies WJ, White MJ. Muscle afferent and central command contributions to the cardiovascular response to isometric exercise of postural muscle in patients with mild chronic heart failure. *Clinical Science* 100: 643-651, 2001.
15. Leyk D, Baum K, Wamser P, Wackerhage H, Eßfeld D. Cardiac output, leg blood flow and oxygen uptake during foot plantar flexions. *Int J Sports Med* 20: 510-515, 1999.
16. Naamani R, Hussain SN, Magler S. The mechanical effects of contractions on blood flow to the muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 71: 102-112, 1995.
17. Rowell LB, O'Leary DS. Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol* 69: 407-418, 1990.
18. Richardson D. Blood flow response of human calf muscles to static contractions at various percentages of MVC. *J Appl Physiol* 51: 929-933, 1981.
19. Carter III R, Watenpaugh DE, Wasmund WL, Wasmund SL, Smith ML. Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. *J Appl Physiol* 87: 1463-1469, 1999.
20. Knaflitz M, Merletti R, De Luca CJ. Inference of motor unit recruitment order in voluntary and electrically elicited contractions. *J Appl Physiol* 68: 1657-1667, 1990.
21. Miller BF, Gruben KG, Morgan BJ. Circulatory responses to voluntary and electrically induced muscle contractions in humans. *Phys Ther* 80: 53-60, 2000.