

Szymankiewicz-Szukała A., Wincek A., Bara M., Bartoszyk M., Szada-Borzyszkowska A., Duszkiewicz J., Dymecki M., Graczyk P., Strzykała M., Kopaszewski J., Maziukiewicz D., Petryka M., Szumińska J. Evaluation of the optimal parameters for excitation of monosynaptic reflex arc elements in studies of H-reflex for electrotherapy purposes. *Issue Rehabil. Orthop. Neurophysiol. Sport Promot.* 2016; 17: 47–60. doi 10.19271/IRONS-00023-2016-17

EVALUATION OF THE OPTIMAL PARAMETERS FOR EXCITATION OF MONOSYNAPTIC REFLEX ELEMENTS ARC IN STUDIES OF H-REFLEX FOR ELECTROTHERAPY PURPOSES

Agnieszka Szymankiewicz-Szukała
Agnieszka Wincek
Michał Bara
Monika Bartoszyk
Anna Szada-Borzyszkowska
Joanna Duszkiewicz
Mateusz Dymecki
Paulina Graczyk
Marika Strzykała
Jarosław Kopaszewski
Damian Maziukiewicz
Mateusz Petryka
Julita Szumińska
Department of Pathophysiology of Locomotor Organs University of Medical Sciences

SUMMARY

Introduction

Reports of world literature on new techniques and effectiveness of electrotherapy applied to nerves and muscles estimate it at about 60% (Dimitrijevic 2008). Functional diagnosis (studies of electroneurography and electromyography) and the clinical picture of the patient may influence for the type of electrotherapy procedures, the selection of safe and effective nerve stimulation parameters adapted to the functional capabilities of the damaged structures in the nervous and muscle systems.

Aim

The aim of the study was to determine the optimal intensity of electrical pulses and their frequency during the selective electrical stimulation of sensory Ia fibers in the median nerve based on the examination of

OKREŚLENIE OPTYMALNYCH PARAMETRÓW POBUDZENIA STRUKTUR MONOSYNAPTYCZNEGO ŁUKU ODRUCHOWEGO DLA CELÓW ELEKTROTHERAPII NA PODSTAWIE BADAŃ ODRUCHU H

Agnieszka Szymankiewicz-Szukała
Agnieszka Wincek
Michał Bara
Monika Bartoszyk
Anna Szada-Borzyszkowska
Joanna Duszkiewicz
Mateusz Dymecki
Paulina Graczyk
Marika Strzykała
Jarosław Kopaszewski
Damian Maziukiewicz
Mateusz Petryka
Julita Szumińska
Zakład Patofizjologii Narządu Ruchu, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu

STRESZCZENIE

Wstęp

Doniesienia literatury światowej dotyczące nowych technik i skuteczności elektroterapii nerwów i mięśni oszacowują ją na około 60% (Dimitrijevic 2008). Diagnoza funkcjonalna (badania elektromiograficzne i electroneurograficzne) oraz obraz kliniczny chorego mogą wpłynąć na dostosowanie rodzaju procedury elektroterapii, dobór bezpiecznych i efektywnych parametrów stymulacji nerwów dostosowanych do możliwości funkcjonalnych uszkodzonych struktur układu nerwowego jak i mięśniowego.

Cele

Celem pracy było określenie optymalnego natężenia impulsów elektrycznych oraz ich częstotliwości podczas selektywnej elektrostymulacji włókien czuciowych grupy Ia nerwu pośrodkowego na podstawie badania

individual parameters of H-reflex in healthy volunteers.

Material and methods

Twenty one healthy volunteers underwent the sEMG study (surface electromyography) from the abductor pollicis brevis muscle to determine the average value of the amplitude of the electromyogram before and after selective electrical stimulation applied to group Ia afferent fibers of the median nerve. Selection of electrical stimulation parameters was based on analysis of induced H-reflex from abductor pollicis brevis muscles after electrical stimulation of the median nerve. The duration of single electrical stimulation session was set at 10 minutes, algorithm of stimulation series consisted of a train of three individual electrical monopolar pulses with a duration of 0.5 ms at interval of 7 ms and frequency of about 20 Hz.

Results

The change of sEMG amplitude parameter recorded from the abductor pollicis brevis muscle, comparing its average value from three tests before and after electrical stimulation. The average value of the amplitude significantly increased at about $405\mu\text{V}$ ($p = 0.05$).

Conclusions

The study verified the hypothesis that an electrical pulse of precisely established selective parameters applied to the group Ia afferent fibers in median nerve causes a change in the activity of motor neurons, resulting in the muscle contraction parameter changes recorded with sEMG method.

Keywords: H-reflex, electromyography, electroneurography, nerve electrostimulation

indywidualnych parametrów odruchu H u zdrowych ochotników.

Materiał i metody

W badaniach wzięło udział $N = 21$ zdrowych ochotników, którzy zostali poddani badaniu sEMG (elektromiografii powierzchniowej) z mięśnia odwodziciela krótkiego kciuka, w celu określenia średniej wartości amplitudy elektromiogramu przed i po selektywnej elektrostymulacji włókien aferentnych typu Ia nerwu pośrodkowego. Dobór parametrów elektrostymulacji dokonano na podstawie analizy wywołanego odruchu H z mięśnia odwodziciela krótkiego kciuka po stymulacji elektrycznej nerwu pośrodkowego. Czas pojedynczej elektrostymulacji ustalono na 10 minut, algorytm serii stymulacji składał się z pakietu trzech pojedynczych impulsów elektrycznych, monopolarnych o czasie trwania 0,5 ms, pomiędzy którymi występowała przerwa 7 ms, z częstotliwością około 20 Hz.

Wyniki

Analizie poddano zmianę parametru amplitudy sEMG z mięśnia odwodziciela krótkiego kciuka, porównując jej średnią wartość z trzech prób przed i po elektrostymulacji. Średnia wartość amplitudy wzrosła w sposób istotny statystycznie o około $405\mu\text{V}$ ($p = 0,05$).

Wniosek

W pracy zweryfikowano hipotezę, że impuls elektryczny o ściśle określonych, selektywnych parametrach aplikowany do włókien aferentnych grupy Ia nerwu pośrodkowego, wywołuje zmianę w czynności motoneuronów, co wpływa na zmianę parametrów skurczu mięśnia rejestrowanych metodą sEMG.

Słowa kluczowe: odruch H, elektromiografia, elektroneurografia, elektrostymulacja nerwu

Date received: 30th June 2016

Date accepted: 10th November 2016

Data otrzymania: 30 czerwca 2016

Data zaakceptowania: 10 listopada 2016

Introduction

The creation of sophisticated techniques for treatment and rehabilitation after injuries in the peripheral nervous system becomes increasingly important. It was estimated that in Poland there were treated approximately 500 patients with the partial damage of brachial plexus and this number is growing. The consequence of constant civilization development is the growing number of traffic accidents that could result in the damage to brachial plexus, especially vulnerable to these injuries are motorcyclists. Undertaking the more frequent extreme sports challenges also promotes the development of injury including damage within the shoulder. Kim and co-workers (2004) showed that the most common causes of brachial plexus which require surgery are avulsions (49%), mechanical damages at the level of clavicle (15%), and open fractures of mechanical origins. The damages represent more axonotmesis than neurotmesis type (Coene 1993; Belzberg *et al.* 2004).

Technology development and improvement of knowledge about the functioning of the nervous system, should help to increase the effectiveness of electrical stimulation in patients with nerve injuries. The first step to improving its effectiveness is to optimize the parameters of electrotherapy, which provide optimal stimulation of neuromuscular structures and thus accelerate the regeneration of damaged elements and a faster return of their functions. Patients with partial damage to the fibers of brachial plexus after trauma require the comprehensive physiotherapy, which includes treatments for both kinesiotherapy and physiotherapy, particularly in the field of electrotherapy. It is extremely important to implement these procedures as soon as possible to prevent the axonal degeneration

Wstęp

Stworzenie coraz doskonalszych technik leczenia i rehabilitacji osób po uszkodzeniu obwodowego układu nerwowego nabiera coraz większego znaczenia. Oszacowano, że w Polsce, co roku leczonych jest około 500 chorych z częściowym uszkodzeniem splotu ramiennego i liczba ta wykazuje tendencję rosnącą. Konsekwencją nieustanęgo rozwoju cywilizacji jest rosnąca liczba wypadków komunikacyjnych, w których może dochodzić do uszkodzenia splotu ramiennego, szczególnie narażonymi na te urazy są motocykliści. Częstsze podejmowanie ekstremalnych wyzwań sportowych również sprzyja rozwojowi kontuzji w tym uszkodzeń w obrębie barku. Kim i współpracownicy (2004) wykazali, że najczęstszą przyczyną uszkodzenia splotu ramiennego wymagającą leczenia chirurgicznego są awulsje (49%), urazy mechaniczne na poziomie obojczyka (15%), otwarte złamania oraz przecięcia mechaniczne. Powstałe rodzaje uszkodzeń reprezentują bardziej charakter axonotmesis aniżeli neurotmesis (Coene 1993, Belzberg *i wsp.* 2004).

Rozwój technologii i poprawa wiedzy o funkcjonowaniu układu nerwowego, powinna przyczynić się do zwiększenia skuteczności elektrostymulacji u chorych z uszkodzeniem nerwów. Pierwszym krokiem do poprawy jej skuteczności jest optymalizacja parametrów elektroterapii, które zapewniają optymalne pobudzenie struktur nerwowo – mięśniowych, a co za tym idzie przyspieszenie regeneracji uszkodzonych struktur oraz szybszy powrót ich funkcji. Chorzy po częściowym uszkodzeniu włókien splotu ramiennego w następstwie urazu wymagają kompleksowej fizjoterapii, która obejmuje zarówno zabiegi kinezyterapeutyczne, jak i fizykoterapeutyczne, szczególnie z zakresu elektroterapii. Niezwykle istotne jest wdrożenie tych procedur najwcześniej jak to możliwe, aby zapobiec degeneracji

and atrophic changes of myocytes. Properly selected therapeutic procedures can help more patients with functional recovery of motor and sensory impairments, comparable to that represented before the injury.

Research on electrical stimulation of nerves and muscles was devoted to effects on the muscle system after stimulation of the motor neurons axons and selecting individual parameters of electrical stimulation that could optimally stimulate these fibers (Lisiński *et al.* 2008). Previous attempts to establish the parameters of electro-stimulating selectively Ia fibers and induce effective stimulation of all the elements in monosynaptic reflex arch were described Gajewska-Woźniak *et al.* (2013) in experimental studies on rats. These studies have shown that stimulation leads to secretion of BDNF agent at the level of spinal cord and NT3 peripherally, which is related with the phenomenon of tendon and muscle receptors stimulation. In the present study, the attempt was undertaken to determine the optimal parameters for electrical stimulation of Ia type afferent fibers, where stimulation may cause stimulation of the entire monosynaptic reflex arch in healthy people.

Aim

The aim of the study was to develop a method to select the most optimal intensity of electrical impulses and their frequencies for the selective electrical stimulation designed to stimulate the Ia sensory fibers of the median nerve, based on the examination of individual parameters in H-reflex in healthy volunteers.

It was assumed that a visible sign of the effectiveness of such a electrostimulation procedure will be:

- a. Changing the motor units activity assessed by sEMG recording during the maximal muscle's contraction, indicating a positive functional response in

aksonów oraz zmianom zanikowym miocytów. Odpowiednio dobrane procedury terapeutyczne mogą pomóc większej liczbie chorych na powrót funkcji ruchowej i czuciowej porównywalnej do tej, jaką reprezentowali przed urazem.

Dotychczasowe badania nad elektrostymulacją nerwów i mięśni określały jej wpływ na układ mięśniowy po pobudzeniu aksonów motoneuronów, dobierając indywidualne parametry elektrostymulacji, które mogły optymalnie pobudzić te włókna (Lisiński *i wsp.* 2008). Dotychczasowe próby ustalenia parametrów elektrostymulacji pobudzając w sposób selektywny włókna Ia i wywołania skutecznego pobudzenia wszystkich elementów monosynaptycznego łuku odruchowego opisali Gajewska-Woźniak *i współpracownicy* (2013) w badaniach eksperymentalnych na szczurach. Badania te wykazały, że stymulacja ta prowadzi do wydzielania czynnika BDNF na poziomie rdzenia jak i NT3 obwodowo, co powiązane jest ze zjawiskiem pobudzenia receptorów ścięgnistych i mięśniowych. W prezentowanym obecnie badaniu podjęto próbę określenia optymalnych parametrów elektrostymulacji włókien aferentnych (typu Ia), których stymulacja powoduje pobudzenie całego monosynaptycznego łuku odruchowego u zdrowych ludzi.

Cel

Celem pracy było opracowanie sposobu doboru najbardziej optymalnego natężenia impulsów elektrycznych oraz ich częstotliwości dla selektywnej elektrostymulacji mającej na celu pobudzenie włókien czuciowych Ia nerwu pośrodkowego, na podstawie badania indywidualnych parametrów odruchu H u zdrowych ochotników.

Przyjęto założenie, że widoczną oznaką skuteczności takiej procedury elektrostymulacji będzie:

- a. Zmiana sprawności jednostek ruchowych oceniana przez rejestrację sEMG w warunkach wysiłkowych, wskazujących na pozytywną reakcję funkcjonalną

structures of monosynaptic reflex arch at the level of effector,

- b. The change, which is to be expected in the effector is the result of sensory conduction of impulses to the spinal motor cells, and from there on the recurrent way to effector via the monosynaptic simple reflex arc.

Material and methods

The study was conducted on N = 24 healthy volunteers (14 women and 10 men) aged from 23 to 29 years. The condition of the study to be performed was the lack of contraindications for electrotherapy in subject after injuries within the cervical spine, shoulder girdle and distal part of upper extremity, and other consequences of damage to the central and peripheral nervous system. Disqualifying factors were also the lack of consent to study, the presence of pacemaker, cochlear implant, pregnancy and epilepsy. Before the test, the subjects had to sign a written consent for the study. In three subject H-reflex failed to be recorded, and thus for the final analysis the results from 21 volunteers were enrolled.

Based on the examination of H-reflex there were determined the individual and optimized for each volunteer intensity of pulse for the electrical stimulation. H-reflex recording electrode was placed on the surface of abductor pollicis brevis muscle belly, the reference electrode was on the tendon distally. Ground electrode was located on the dorsal aspect of the hand. Stimulating electrode was placed on the median nerve in the wrist, the positive pole was located distally, and the negative pole proximally.

The median nerve was stimulated over the skin with electrical pulse of short duration and of low intensity. The current intensity was increased by about 0.4mA, until M and H-reflex responses were recorded.

struktur monosynaptycznego łuku odruchowego na poziomie efektor,

- b. Zmiana, której należy się spodziewać w efektorze jest wynikiem przewodzenia impulsów czuciowych do rdzeniowych komórek ruchowych, a stamtąd na drodze zwrotnej do efektor w ramach przewodnictwa odruchowego prostego łuku monosynaptycznego.

Materiał i metoda

Badanie przeprowadzono na N = 24 zdrowych ochotnikach (14 kobiet i 10 mężczyzn) w wieku od 23 do 29 lat. Warunkiem przystąpienia do badania był brak przeciwwskazań do elektroterapii u chorych po urazach w obrębie odcinka szyjnego kręgosłupa, obręczy barkowej oraz kończyny górnej w części dystalnej oraz innych następstw uszkodzeń ośrodkowego i obwodowego układu nerwowego. Czynnikiem dyskwalifikującym było brak zgody na przeprowadzenie badania obecność rozrusznika serca, implant ślimakowy, ciąża, oraz pączka. Przed przystąpieniem do badania ochotnicy musieli podpisać pisemną zgodę. U trzech badanych nie udało się zarejestrować odruchu H, a więc do analizy wyników zakwalifikowano rezultaty otrzymane u 21 badanych.

Na podstawie badania odruchu H określono indywidualne i optymalne dla każdego ochotnika natężenie impulsu do elektrostymulacji. Elektroda rejestrująca odruch H znajdowała się na brzuścu mięśnia odwodziciela krótkiego kciuka, elektroda referencyjna znajdowała się na ścięgnie mięśnia dystalnie. Elektroda uziemiająca znajdowała się na grzbietowej stronie ręki. Elektroda stymulująca była umieszczana nad nerwem pośrodkowym w okolicy nadgarstka, jej biegun dodatni znajdował się dystalnie, natomiast biegun ujemny proksymalnie.

Nerw pośrodkowy był stymulowany nadskórnym impulsem elektrycznym o krótkim czasie trwania i małej intensywności. Natężenie prądu było zwiększane o około 0,4mA, aż do pojawienia się odpowiedzi w postaci

Stimulation lasted until the disappearance of the H-reflex. Current value at which there was the largest H-reflex amplitude visible was used for performing the electrostimulation.

The study compared the value of the amplitude parameter of surface EMG recording (sEMG) recorded from the abductor pollicis brevis muscle under the condition of maximal contraction. The investigator counteracted the motion with index finger on the lateral side of the proximal phalanx of the thumb, and then instructed to extend the thumb up for 5 seconds.

The study included three trials described above before and after electrical stimulation of the median nerve with the parameters set out in the study of H-reflex and M-waves, and then it was determined the average value of the amplitude of the sEMG recording from the three trials, which were compared and then averaged.

Electrostimulation threshold value was determined individually for each volunteer during the H-reflex test after stimulation of the median nerve. Electrostimulation algorithm consisted of a train of three individual electrical monopolar pulses with a duration of 0.5 ms, between which an interval of 7 ms was applied, with a frequency of about 20Hz, stimulation time is set at 10 minutes. Stimulating electrode was located above the median nerve in the wrist, as it was described above in the study ENG.

fal M i odruchu H. Stymulacja trwała do momentu zaniknięcia odpowiedzi H. Wartość natężenia prądu, przy której występowała największa amplituda odruchu H użyto do przeprowadzenia elektrostymulacji.

W pracy dokonano porównania wartości parametru amplitudy z rejestracji EMG powierzchniowego (sEMG) odprowadzane go z mięśnia odwodziciela krótkiego kciuka w warunkach maksymalnego skurczu. Badający przeciwdziałał ruchowi układając palec na bocznym brzegu paliczka bliższego kciuka, a następnie polecono badanej osobie maksymalnie odwieść kciuk przez 5 sekund.

Badanie obejmowało trzy wyżej opisane próby przed oraz po elektrostymulacji nerwu pośrodkowego z użyciem parametrów ustalonych w badaniu odruchu H i fali M, po czym wyznaczano średnią wartość amplitudy z rejestracji sEMG z trzech prób, które zostały porównane.

Progową wartość elektrostymulacji ustalono indywidualnie dla każdego ochotnika podczas badania odruchu H po stymulacji nerwu pośrodkowego. Algorytm stymulacji składał się z pakietu trzech pojedynczych impulsów elektrycznych, monopolarnych o czasie trwania 0,5 ms, pomiędzy którymi występowała przerwa 7 ms, z częstotliwością około 20Hz, czas stymulacji ustalono na 10 minut. Elektroda stymulująca znajdowała się nad nerwem pośrodkowym w okolicy nadgarstka, jak opisano wyżej w badaniu ENG.

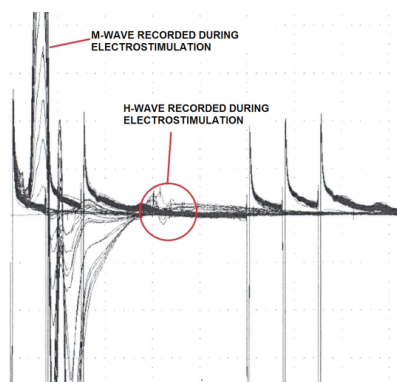


Figure 1. An example of the response recorded by surface electrodes during the electrostimulation.



Rycina 1. Przykładowa odpowiedź rejestrowana przez elektrody powierzchniowe podczas elektrostymulacji.

Figure 1 shows an example of electro-neurographic recording from the abductor pollicis brevis muscle during electrostimulation procedure. It consists of the M-wave and the H-reflex recorded during electrical stimulation. Due to the low strength of stimulation and monitoring the selective stimulation of electrical stimuli applied to afferents from group Ia it can be assumed that the absence of painful procedure used in healthy people it could not adversely affect the proper nerve conduction.

Studies have been approved by the Bioethical Committee of the Medical University in Poznań, Poland (Decision No 1084/15). Subject gave their written consent for performing the study.

A comparison of examined parameters average values using the Student t-test before and after the electrostimulation was applied. It is assumed that the comparison of the mean value at $p \leq 0.05$ determined the significant statistical differences between averages, pointing to the positive impact of the electrostimulation process.

Results

The collected results of average EMG amplitude parameter recorded from the abductor pollicis brevis muscle before and after electrical stimulation of type Ia afferent fibers in the median nerve expressed in μV , and the intensity of the electrical pulse expressed in mA is shown in Table 1. The analysis of the results in Table 1 shows that the distribution of the data was close to a normal. T-Student test was used to evaluate changes for the depended groups. The average value of the amplitude parameter from surface EMG recorded from abductor pollicis brevis muscle after electrical stimulation was higher by about 405 μV .

Rycina 1 przedstawia przykładowy zapis badania elektroneurograficznego zarejestrowany z mięśnia odwodziciela krótkiego kciuka w trakcie procedury elektrostymulacji. Składa się on z fali M i odruchu H rejestrowanych podczas elektrostymulacji. Z uwagi na niską siłę stymulacji oraz monitorowanie selektywnego pobudzania bodźcami elektrycznymi włókien aferentnych z grupy Ia można przyjąć, że przy braku bolesności procedury stosowane u zdrowych ludzi nie mogły wpływać negatywnie na niezaburzone przewodnictwo nerwowe.

Badania uzyskały akceptację Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu (Uchwała 1084/15). Badani wyrazili pisemną zgodę na wykonanie badań.

Dokonano porównania wartości średnich badanych parametrów za pomocą testu T-Studenta przed i po elektrostymulacji. Przyjęto, iż porównanie średnich o wartości przy $p \leq 0,05$ określają istotnie statystyczne różnice pomiędzy średnimi, wskazując na pozytywny wpływ procesu elektrostymulacji.

Wyniki

Zbrane wyniki w postaci średniej amplitudy EMG z mięśnia odwodziciela krótkiego kciuka przed oraz po elektrostymulacji włókien aferentnych typu Ia nerwu pośrodkowego wyrażonej w μV oraz natężenia impulsu elektrycznego wyrażonego w mA przedstawia Tabela 1. Z analizy rozkładu wyników zamieszczonych w Tabeli 1 wynika, że rozkład danych był zbliżony do rozkładu normalnego. Do oceny zmian użyto średnich arytmetycznych i testu T-Studenta dla grup zależnych. Średnia wartość parametrów amplitudy EMG powierzchniowego odprowadzanego z m. odwodziciela krótkiego kciuka po elektrostymulacji była wyższa o około 405 μV .

Table 1. Parameters of EMG amplitude recorded from the abductor pollicis brevis muscle before and after electrical stimulation of the median nerve.

Volunteer number	EMG amplitude before electrostimulation [μ V]	EMG amplitude after electrostimulation [μ V]	Current intensity during electrostimulation [mA]
01	5000	5000	9.9
02	3000	2500	7.4
03	2100	2200	9.7
04	2100	2200	7.4
05	2500	3500	10
06	1000	1500	10.4
07	3100	3200	8.8
08	1800	2500	7.8
09	2300	3000	2.5
10	3500	4200	4.1
11	2000	2500	2.9
12	4000	5000	5.8
13	3500	4000	5.8
14	1900	2733	2.8
15	1600	2100	6
16	466	670	8.2
17	1066	1600	7.2
18	2733	2800	10.2
19	1933	2500	12
20	5733	6000	3.2
21	3166	3300	3.3
Mean	2595	3000	6.92
SD	917	850	3.3
Min	466	466	2.5
Max	5733	6000	12

Tabela 1. Parametry amplitudy EMG z mięśnia odwodziciela kciuka rejestrowane przed i po elektrostymulacji nerwu pośrodkowego.

Volunteer number	Amplituda EMG przed elektrostymulacją [μ V]	Amplituda EMG po elektrostymulacji [μ V]	Natężenie prądu podczas elektrostymulacji [mA]
01	5000	5000	9,9
02	3000	2500	7,4
03	2100	2200	9,7
04	2100	2200	7,4
05	2500	3500	10
06	1000	1500	10,4
07	3100	3200	8,8
08	1800	2500	7,8
09	2300	3000	2,5
10	3500	4200	4,1
11	2000	2500	2,9
12	4000	5000	5,8
13	3500	4000	5,8
14	1900	2733	2,8
15	1600	2100	6
16	466	670	8,2
17	1066	1600	7,2
18	2733	2800	10,2
19	1933	2500	12
20	5733	6000	3,2
21	3166	3300	3,3
Średnia	2595	3000	6,92
SD	917	850	3,3
Min	466	466	2,5
Max	5733	6000	12

As it can be seen in Figure 2, with the intensity of the stimulation pulse 6.5–7.5mA, H-reflex recording could be observed in ENG tests.

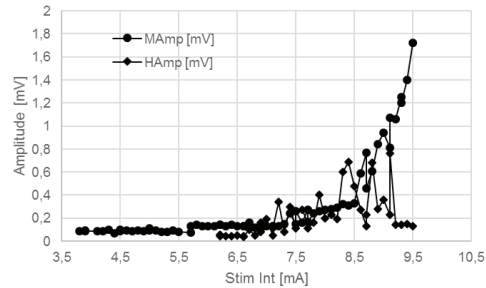


Figure 2. Graph of M/H curve.

As it is shown in Figure 3, the average value of the stimuli intensity required to evoke the H-reflex, as a necessary condition for optimal excitation of all structures in monosynaptic reflex arch was in the range from 2.5 to 12mA with an average of 6.9mA.

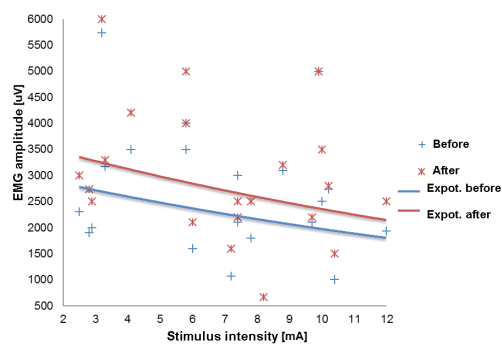


Figure 3. Presentation of the variation trend of the EMG recording amplitude versus the stimulus intensity parameter used in diagnostic test.

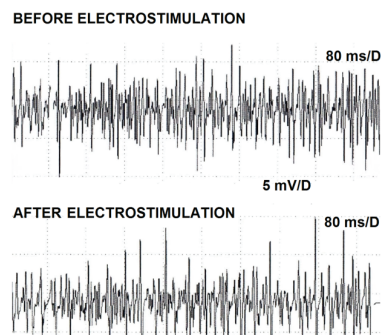
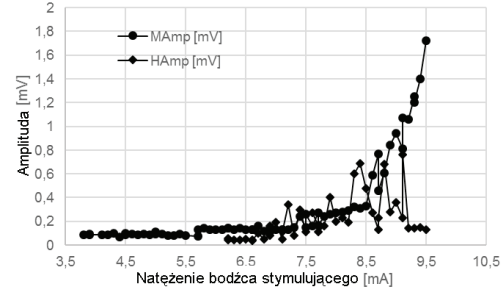


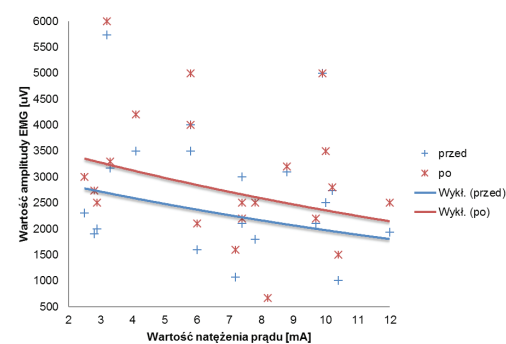
Figure 4. Examples of EMG recordings by surface electrodes before and after electrostimulation.

Jak widać na Rycinie 2, przy wartości natężenia impulsu stymulującego 6,5–7,5mA, można było zaobserwować w rejestracjach ENG pojawienie się odruchu H.

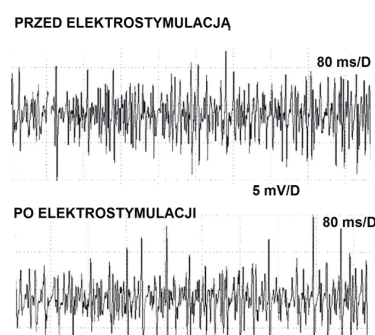


Rycina 2. Wykres krzywej M/H.

Jak widać na Rycinie 3, średnia wartość natężenia bodźca stymulującego wymagana do wywołania odruchu H, warunkująca optymalne pobudzenie wszystkich struktur monosynaptycznego łuku odruchowego zawierała się w zakresie od 2,5mA do 12mA ze średnią wartością 6,9mA.



Rycina 3. Przedstawienie trendu zmienności wartości amplitudy rejestracji sEMG w zależności od parametru natężenia stosowanego bodźca stymulacyjnego w badaniu diagnostycznym.



Rycina 4. Przykładowe rejestracje EMG elektrodami powierzchniowymi przed i po elektrostymulacji.

Comparing the collected during tests average values of the sEMG amplitude recordings from abductor pollicis brevis muscles as well as values of pulses intensities used for stimulation of sensory Ia type fibers in median nerves it was ascertained that the greatest sEMG amplitude improvement took place by using the least currents (Figure 3). This may indicate that the customized parameters of selective stimulation most effectively stimulate and facilitate neural transmission in the whole monosynaptic reflex arc, and thus may contribute to increasing the functionality of electrostimulation procedure.

In 3 of the 24 tested subjects after stimulation of the right median nerve, it was impossible to record the parameters of H-reflex latencies and amplitudes, which would allow proper analysis of the results. Taking into account the frequency of positive results of the H-reflex recordings following the median nerves stimulation (21/24) it can be assumed that the described method could be a standard procedure to plot M/H curve. An example of the curve is shown in Figure 2.

Application procedures for electrical stimulation for selective excitation of Ia afferents also evokes M-wave, providing a proof for direct stimulation of the effector. Therefore it can be assumed that such a method of stimulation selectively excites all structures of the monosynaptic reflex arc.

Discussion

In physiotherapeutic practice there is no tool for the selection of optimal parameters in electrical stimulation in patients with lesions within the musculoskeletal system. A mainly ready-made program proposed by the producer of equipment for electrotherapy is applied. The effectiveness of most of programs is not verified in functional studies. Many authors emphasize that optimization of the stimulation parameters for each treated patient could significantly improve

Porównując zebrane w badaniu średnie wartości amplitudy rejestracji sEMG z mięśnia odwodziciela krótkiego kciuka oraz natężenie impulsu użytego do stymulacji włókien czuciowych typu Ia nerwu pośrodkowego zauważono, że największa poprawa amplitudy sEMG nastąpiła przy zastosowaniu najmniejszych wartości natężenia prądu (Rycina 3). Może to świadczyć, że indywidualnie dobrane parametry selektywnej stymulacji najskuteczniej pobudzają i torują impulsy w całym monosynaptycznym łuku odruchowym, a co za tym idzie mogą przyczynić się do zwiększenia funkcjonalności procedury elektrostymulacji.

U 3 z 24 przebadanych osób po stymulacji nerwu pośrodkowego prawego, nie można było zarejestrować parametrów odruchu H w postaci latencji i amplitudy, które umożliwiłyby prawidłową analizę wyników. Biorąc pod uwagę częstość pozytywnych wyników rejestracji odpowiedzi H po stymulacji nerwu pośrodkowego (21/24) skłania to do stwierdzenia, że metoda opisana w pracy może stanowić standard diagnostyczny do oznaczenia krzywej M/H. Przykładową krzywą przedstawiono na Rycinie 2.

Zastosowanie procedury elektrostymulacji dla pobudzenia selektywnego włókien aferentnych Ia wywołuje również falę M, świadczącą o bezpośrednim pobudzeniu efektora. Można więc przyjąć, że tego rodzaju sposób stymulacji selektywnie pobudza wszystkie struktury monosynaptycznego łuku odruchowego.

Dyskusja

W praktyce fizjoterapeutycznej brak jest narzędzia pozwalającego na dobór optymalnych parametrów elektrostymulacji w przypadku chorych z uszkodzeniami w obrębie narządu ruchu, korzysta się głównie z gotowych programów zaproponowanych przez producenta sprzętu do elektroterapii. Skuteczność większości z nich nie jest weryfikowana badaniami funkcjonalnymi. Wielu autorów podkreśla, że optymalizacja parametrów stymulacji dla każdego

their effectiveness (Lisiński *et al.* 2008; Kaczmarek *et al.* 2009).

Yeh *et al.* (2015) have shown that high-frequency stimulation of the median nerve, as in the present study now, causes the H-reflex modulation through the mechanism associated with synaptic plasticity in centers of human spinal cord. Hardy *et al.* (2002) stimulating sensory nerve fibers in lower extremity with stimuli of low frequency achieved an increase of the H-reflex amplitude parameter in healthy subjects, stating that it was a manifestation of the increase in the excitability of the spinal motor neurons excited from Ia afferents. Doucet *et al.* (2012) in a comprehensive review of the documented effects of electrotherapy treatment, did not show a methodical example of the H-reflex application to determine the optimal parameters for electrical stimulation of nerves (TENS). Other researchers on application of H-reflex to determine the parameters of nerve electrostimulation have not been presented so far, except results presented in this study.

In summary, the results of the present study may suggest that the selection of optimal parameters of electrical stimulation on the basis of the parameters of the H-reflex can help to increase its effectiveness in patients, and in conjunction with the relevant procedures of physiotherapy to restore the functionality of the upper extremity. Taking into account the frequency of positive results in recordings of H-reflex following the median nerve stimulation (13/15) it can be assumed that the method described in this work can further be used as a diagnostic standard for evaluation the parameters of nerves electrical stimulation.

usprawnianego chorego mogłaby znacząco podnieść skuteczność zabiegów z zakresu elektroterapii (Lisiński *i wsp.* 2008; Kaczmarek *i wsp.* 2009).

Yeh i współpracownicy (2015) wykazali, że wysokoczęstotliwościowa stymulacja włókien nerwu pośrodkowego, podobnie jak w obecnie prezentowanej pracy, powoduje modulację odruchu H poprzez mechanizm związany z synaptyczną plastycznością w ośrodkach rdzenia kręgowego u ludzi. W swoich badaniach Hardy i współpracownicy (2002) stymulując włókna czuciowe nerwów kończyny dolnej bodźcami o niskiej częstotliwości, uzyskali wzrost parametru amplitudy odruchu H u zdrowych ludzi, stwierdzając, że jest to manifestacja wzrostu pobudliwości rdzeniowych neuronów ruchowych pobudzanych z włókien aferentnych Ia. Doucet i współpracownicy (2012) w obszernym przeglądzie nad udokumentowanymi efektami zabiegów elektroterapii, nie wykazali metodycznego przykładu zastosowania odruchu H do określenia optymalnych parametrów elektrostymulacji nerwów (TENS). Innych prac na temat aplikacji badania odruchu H do określenia parametrów zabiegów elektrostymulacji nerwów nie prezentowano dotychczas, za wyjątkiem rezultatów prezentowanych w niniejszej pracy.

Podsumowując, wyniki obecnej pracy mogą sugerować, że dobór optymalnych parametrów elektrostymulacji na podstawie parametrów odruchu H może się przyczynić do podniesienia jej skuteczności u chorych, a w połączeniu z odpowiednim procedurami kinezyterapii przywrócić funkcjonalność kończyny górnej. Biorąc pod uwagę częstość pozytywnych wyników rejestracji odruchu H po stymulacji nerwu pośrodkowego (13/15) można założyć, że metoda opisana w pracy może w przyszłości posłużyć jako standard diagnostyczny w określeniu parametrów elektrostymulacji nerwów.

Conclusion

The study verified the hypothesis that an electrical pulse of well-established selective parameters applied to the group Ia afferents in median nerve causes a change in the activity of motor neurons, resulting in the muscle contraction parameter changes recorded with sEMG method.

Wnioski

W pracy zweryfikowano hipotezę, że impuls elektryczny o ściśle określonych, selektywnych parametrach aplikowany do włókien aferentnych grupy Ia nerwu pośrodkowego, wywołuje zmianę w czynności motoneuronów, co wpływa na zmianę parametrów skurczu mięśnia rejestrowanych metodą sEMG.

REFERENCES

- Belzberg, A.J., Dorsi, M.J., Storm, P.B., Moriarity, J.L.** (2004) 'Surgical repair of brachial plexus injury: a multinational survey of experienced peripheral nerve surgeons.' *Journal Neurosurgery*, 101(3), pp. 365–376.
- Coene, L.N.** (1993) 'Mechanisms of brachial plexus lesions.' *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 95, Suppl, 24–9.
- Dimitrijevic, M.R.** (2008) 'Clinical practice of functional electric al stimulation: from „Yesterday” to „Today”'. *Artif Organs*, 32(8), pp. 577–580.
- Doucet, B.M., Lam, A., Griffin, L.** (2012) 'Neuromuscular Electrical Stimulation for Skeletal Muscle Function.' *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 85(2), pp. 201–215.
- Lisiński, P., Huber, J., Samborski, W., Witkowska, A.** (2008) 'Neurophysiological assessment of the electrostimulation procedures used in stroke patients during rehabilitation.' *Int. J. Artif. Organs*, 31(1), pp. 76–86.
- Gajewska-Woźniak, O., Skup, M., Kasicki, S., Ziemlińska, E., Czarkowska-Bauch, J.** (2013) 'Enhancing proprioceptive input to motoneurons differentially affects expression of neurotrophin 3 and brain-derived neurotrophic factor in rat Hoffmann-reflex circuitry.' *PLoS ONE*, 8(6), e65937.
- Hardy, S.G.P., Spalding, T.B., Liu, H., Nick T.G., Pearson, R.H., Hayes, A.V. Stokic, D.S.** (2002) 'The effect of transcutaneous electrical stimulation on spinal motor neuron excitability in people without known neuromuscular diseases: the roles of stimulus intensity and location.' *Physical Therapy Journal*, 82, pp. 354–363.
- Kaczmarek, P., Huber, J., Lisiński, P., Witkowska, A., Kasiński, A.** (2009) 'Investigation of the relationship between stimulus parameters and a human muscle contraction force during stimulation of the gastrocnemius muscle.' *Artif. Organs*, 31(2), pp. 126–135.
- Kim, D.H., Murovic, J.A., Tiel, R.L., Kline, D.G.** (2004) 'Mechanisms of injury in operative brachial plexus lesions.' *Neurosurgical Focus*, 16(5), E2.

PIŚMIENNICTWO

- Belzberg, A.J., Dorsi, M.J., Storm, s.B., Moriarity, J.L.** (2004) 'Surgical repair of brachial plexus injury: a multinational survey of experienced peripheral nerve surgeons.' *Journal Neurosurgery*, 101(3), str. 365–376.
- Coene, L.N.** (1993) 'Mechanisms of brachial plexus lesions.' *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 95, Suppl, 24–9.
- Dimitrijevic, M.R.** (2008) 'Clinical practice of functional electric al stimulation: from „Yesterday” to „Today”'. *Artif Organs*, 32(8), str. 577–580.
- Doucet, B.M., Lam, A., Griffin, L.** (2012) 'Neuromuscular Electrical Stimulation for Skeletal Muscle Function.' *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 85(2), str. 201–215.
- Lisiński, s., Huber, J., Samborski, W., Witkowska, A.** (2008) 'Neurophysiological assessment of the electrostimulation procedures used in stroke patients during rehabilitation.' *Int. J. Artif. Organs*, 31(1), str. 76–86.
- Gajewska-Woźniak, O., Skup, M., Kasicki, S., Ziemlińska, E., Czarkowska-Bauch, J.** (2013) 'Enhancing proprioceptive input to motoneurons differentially affects expression of neurotrophin 3 and brain-derived neurotrophic factor in rat Hoffmann-reflex circuitry.' *PLoS ONE*, 8(6), e65937.
- Hardy, S.G.P., Spalding, T.B., Liu, H., Nick T.G., Pearson, R.H., Hayes, A.V. Stokic, D.S.** (2002) 'The effect of transcutaneous electrical stimulation on spinal motor neuron excitability in people without known neuromuscular diseases: the roles of stimulus intensity and location.' *Physical Therapy Journal*, 82, str. 354–363.
- Kaczmarek, s., Huber, J., Lisiński, s., Witkowska, A., Kasiński, A.** (2009) 'Investigation of the relationship between stimulus parameters and a human muscle contraction force during stimulation of the gastrocnemius muscle.' *Artif. Organs*, 31(2), str. 126–135.
- Kim, D.H., Murovic, J.A., Tiel, R.L., Kline, D.G.** (2004) 'Mechanisms of injury in operative brachial plexus lesions.' *Neurosurgical Focus*, 16(5), E2.

Yeh, K.L., Fong, P.Y., Huang, Y.Z. (2015) 'Intensity sensitive modulation effect of theta burst form of median nerve stimulation on the monosynaptic spinal reflex.' *Neural Plasticity*, doi: 10.1155/2015/704849, Epub 2015 Mar 4.

*Authors reported no source of funding.
Authors declared no conflict of interest.*

*Author responsible for correspondence:
Agnieszka Szymankiewicz-Szukala
Department of Pathophysiology of Locomotor
Organs
Poznan University of Medical Sciences
28 Czerwca 1956 No 135/147
61-545 Poznan, Poland
agnieszka.szukala@wp.pl*

Yeh, K.L., Fong, s.Y., Huang, Y.Z. (2015) 'Intensity sensitive modulation effect of theta burst form of median nerve stimulation on the monosynaptic spinal reflex.' *Neural Plasticity*, doi: 10.1155/2015/704849, Epub 2015 Mar 4.

*Autorzy nie zgłosili źródła finansowania.
Autorzy nie deklarowali konfliktu interesów.*

*Autor odpowiedzialny za korespondencję:
Agnieszka Szymankiewicz-Szukala
Zakład Patofizjologii Narządu Ruchu
Uniwersytet Medyczny w Poznaniu
28 Czerwca 1956 No 135/147
61-545 Poznań, Polska
agnieszka.szukala@wp.pl*