EVALUATION OF TREATMENT IN PATIENTS AFTER THORACIC SPINAL CORD INJURY

Agnieszka Wincek
Department of Pathophysiology of Locomotor Organs, Poznan University of Medical Sciences, Poland

SUMMARY

Introduction

The effectiveness of rehabilitation of patients after spinal cord injuries should be objectively verified at successive stages of the therapy. Commonly used methods such as clinical evaluation with ASIA scale, for understandable reasons are characterized by subjectivity of evaluation in relation to the person performing the test and examined patient.

Aim

This paper presents possible and optimal for physiotherapists algorithm for non-invasive diagnostic procedure using clinical and neurophysiological methods on the example of research in group of patients with incomplete spinal cord injuries. The main aim of study was to compare the results of clinical functional assessment, results of neuroimaging and clinical neurophysiology examinations in patients with incomplete thoracic spinal cord injuries similarly treated with surgical and conservative procedures.

Materials and methods

There was performed an analysis of comparative studies of clinical (ASIA scale, MRI) and neurophysiological evaluation (sEMG surface electromyography tests during muscle's relaxation and maximal contraction, the study of central and peripheral efferent neural transmission MEP and sensory perception study with von Frey's filaments) in 12 patients with thoracic spinal cord injuries.

OCENA LECZENIA CHORYCH PO URAZIE PIERSIOWEGO RDZENIA KRĘGOWEGO

Agnieszka Wincek
Zakład Patofizjologii Narządu Ruchu, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

STRESZCZENIE

Wprowadzenie

Skuteczność usprawniania chorych po urazach rdzenia kręgowego powinna być obiektywnie weryfikowana na poszczególnych etapach prowadzonej terapii. Powszechnie stosowane metody oceny klinicznej takie jak skala ASIA, ze zrozumiałych względów cechują się subiektywnością oceny w odniesieniu do osoby badanej jak i osoby wykonującej badanie.

Cele

W pracy na przykładzie badań grupy chorych z uszkodzeniami częściowymi rdzenia kręgowego, przedstawiono możliwy i optymalny dla fizjoterapeuty algorytm nieinwazyjnego postępowania diagnostycznego z wykorzystaniem metod klinicznych i neurofizjologicznych. Głównym zamierzeniem pracy jest porównanie obrazu klinicznego skal oceny funkcjonalnej z oceną neuroobrazowania i badaniami neurofizjologii klinicznej u chorych leczonych podobnie z wykorzystaniem metod chirurgicznych i zachowawczych.

Materiał i metody

Przeprowadzono analizę badań porównawczych oceny klinicznej (skala ASIA, MRI) oraz neurofizjologicznej (badania elektromiografii powierzchniowej sEMG podczas relaksacji i maksymalnego skurczu, badania ośrodkowego i obwodowego przewodnictwa eferentnego MEP oraz badania percepcji czucia filamentami von Frey'a) u 12 chorych z uszkodzeniami piersiowego rdzenia kręgowego.

Results and conclusions
Result of comprehensive clinical evaluation with ASIA scale demonstrated in eight patients C type damage and D type in four patients. These patients were characterized with remained motor function below the level of injury (average score 3 in Lovett's scale) with a symptom of lateralization. Picture of incomplete structural damage shown in MRI studies on T2-T12 levels corresponds to functional deficits identified in the sEMG study during maximal muscles contraction in the lower extremities more than in rectus abominis muscles. Results of efferent transmission MEPs studies are consistent with the results of clinical assessment and efficiency of muscle motor units studied in sEMG recordings. The results of sensory dermatomes examinations under clinical evaluation in the ASIA scale have shown more deficiencies in innervation from the level of C8-T1 rather than the results of von Frey's filaments tests, which clarified the symptoms analgesia in distal parts of lower extremities.

Key words: injuries of thoracic spinal cord, clinical evaluation, diagnostic methods of clinical neurophysiology

Introduction

In Poland annually occur approximately 700 cases of patients with spinal cord injuries (Kiwerski 2001). Statistics show that men suffer because of spinal cord injury up to six times more than women. An estimated 70% of these people are of working age, which means that this kind of injury involves mostly patients up to 40 years of age. The most common causes of injuries are traffic accidents, particularly in developed countries, falls from height and sports injuries (Sekhon and Fehlings 2001).

Wyniki i wnioski
Wynik kompleksowej oceny klinicznej w skali ASIA, wykazał u N = 8 chorych rodzaj uszkodzenia typu C, a u N = 4 chorych D. U chorych tych funkcje motoryczne poniżej poziomu uszkodzenia były częściowo zachowane (średnio 3 w skali Lovetta) z objawem lateralizacji jednostronnej. Obraz niecałkowitego uszkodzenia strukturalnego wykazanych w badaniach NMR na poziomach T2-T12 odpowiada deficytom funkcjonalnym w badaniach sEMG podczas maksymalnego skurczu mięśni kończyn dolnych bardziej aniżeli w mięśniu prostym brzucha. Obraz zachowania przewodnictwa eferentnego w badaniu MEP jest zgodny z oceną kliniczną oraz badaniem sEMG. Wyniki badań czucia dermatomalnego w ramach skali ASIA wykazały deficyty większe w zakresie unerwienia od poziomu C8-T1 aniżeli wyniki badań filamentami von Frey'a, w których sprecyzowano objawy niedoczulicy w części dystalnej kończyn dolnych.

Słowa kluczowe: urazy piersiowego rdzenia kręgowego, ocena kliniczna, metody diagnostyczne neurofizjologii klinicznej

Wprowadzenie

W Polsce rocznie dochodzi do około 700 wypadków chorych z urazami rdzenia kręgowego (Kiwerski 2001). Statystyki wskazują, że mężczyźni nawet sześciokrotnie częściej doznają uszkodzenia rdzenia kręgowego niż kobiety. Szacunkowo 70% z tych osób jest w wieku produkcyjnym, co oznacza, że mamy do czynienia najczęściej z chorymi do 40 roku życia. Najczęstszym powodem urazów są: wypadki komunikacyjne, szczególnie w krajach rozwiniętych, upadki z wysokości i urazy sportowe (Sekhon i Fehlings 2001).

In cases where there is the total diminishing of afferent and efferent function below level of injury, complete spinal cord transection is recognized. This type of injury is characterized by the diminishing of sensation and deep reflexes abolishing. In addition, the patient has a problem with self-controlling the respective groups of muscles innervated segments which are injured at and below the level of spinal cord transection (Dittuno et al 2004).

Partial spinal cord injury syndrome is characterized by neurological symptoms of various forms, depending on the level of spinal cord injury. In patients with this type of injury there can be seen the minimal activity of certain muscle groups, patients reveal often weak ability to operate with any muscular function, and in addition, may represent the residual neurological dysfunction, which do not have significance regarding the motor system (Kiwerski 2001).

Patients with partial spinal cord injuries are a special group of patients who are under the care of a physiotherapist (Kinalski 2008). Modern methods of neurosurgical treatment including the use of autologous tissue grafts have a chance to succeed especially in those patients who undergo the physiotherapy in postoperative treatment which is based on individually developed algorithm of rehabilitation (DeVivo 2012). Its effectiveness must be objectively verified at successive stages of the therapy. Commonly used methods such as clinical evaluation with ASIA scale, for understandable reasons, are characterized by high subjectivity. Tests assessing the most objectively and reproducibly are currently searched the most (Kirshblum 2011). Functional studies should provide measurable results in SI units, be accurate, painless,

W przypadkach, kiedy występuje całkowite zniesienie przewodnictwa czynności aferentnej i eferentnej poniżej poziomu uszkodzenia mamy do czynienia z całkowitym uszkodzeniem rdzenia kręgowego. Taki rodzaj urazu cechuje się zniesieniem czucia i zniesieniem odruchów głębokich. Dodatkowo chory ma problem z samodzielnym kontrolowaniem poszczególnych grup mięśniowych unerwianych z segmentów, które są niesprawne na i poniżej poziomu uszkodzenia rdzenia kręgowego (Dittuno i wsp. 2004).

Częściowe uszkodzenie rdzenia kręgowego charakteryzuje się zespołem objawów neurologicznych o różnej postaci, w zależności od poziomu uszkodzenia rdzenia kręgowego. U chorych z tego rodzaju urazami można zaobserwować minimalną czynność określonych grup mięśniowych, często nie posiadają oni zdolności wykonania czynności dowolnej mięśni, ponadto mogą reprezentować śladowe dysfunkcje neurologiczne, które nie mają większego znaczenia jeśli chodzi o układ ruchowy (Kiwerski 2001).

Chorzy po częściowych urazach rdzenia kręgowego są szczególną grupą pacjentów będących pod stałą opieką fizjoterapeuty (Kinalski 2008). Współczesne metody leczenia neurochirurgicznego łącznie ze stosowaniem autogennych przeszczepów tkankowych mają szansę powodzenia szczególnie u tych chorych, u których ukierunkowana kinezyterapia w postępowaniu pooperacyjnym bazuje na indywidualnie opracowanym algorytmie usprawniania (DeVivo 2012). Jej skuteczność powinna być obiektywnie weryfikowana na kolejnych etapach prowadzonej terapii. Powszechnie stosowane metody oceny klinicznej takie jak skala ASIA, ze zrozumiałych względów cechują się dużą subiektywnością. Obecnie poszukuje się testów oceny najbardziej obiektywnej i powtarzalnej (Kirshblum 2011). Badania funkcjonalne powinny dostarczać rezultatów

reproducible and based on simple way of interpretation (Kinalski 2012). In a review of the most common and most reliable current methods of assessing patients with spinal cord injury, Ellaway and colleagues (2011) distinguished scales assessing gait and selected diagnostic tests in clinical neurophysiology including needle electromyography (eEMG) and the recording of motor evoked potentials induced with magnetic field (MEP). Even highly sensitive MRI neuroimaging studies, do not allow assessing to the end the degree of continuity of the damaged spinal structures in patients after spine injuries (Ellingson et al 2008; Vargas et al 2008). In such cases, the functional testing is a valuable supplementation in the final clinical diagnosis.

mierzalnych w jednostkach SI, cechować się dokładnością, bezbolesnością, powtarzalnością i prostym sposobem interpretacji (Kinalski 2012). W przeglądzie najczęstszych i najrzetelniejszych obecnie stosowanych metod oceny chorych po urazach rdzenia kręgowego, Ellaway i wsp. (2011) wyróżniają skale oceny chodu oraz wybrane badania diagnostyczne neurofizjologii klinicznej w tym elektromiografię igłową (eEMG) oraz rejestrację ruchowych potencjałów wywołanych indukowanych polem magnetycznym (MEP). Badania neuroobrazowania MRI nawet wysokiej czułości, nie pozwalają do końca ocenić stopień zachowania ciągłości uszkodzonego rdzenia u chorych po urazach kręgosłupa (Ellingson i wsp. 2008a; Vargas i wsp. 2008). W takich przypadkach wynik badań funkcjonalnych jest ich cennym uzupełnieniem w końcowej diagnozie klinicznej.

Aim

On the example of the research in a group of patients with partial spinal cord injuries, this paper presents the most possible and optimal algorithm for physiotherapists for non-invasive diagnostic procedure using clinical and neurophysiological methods. The main aim of this study is to answer the question, how far the results of clinical functional assessment are consistent with the assessment of neuroimaging and clinical neurophysiology examinations.

Cel pracy

W pracy na przykładzie badań grupy chorych z uszkodzeniami częściowymi rdzenia kręgowego, przedstawiono możliwy i optymalny dla fizjoterapeuty algorytm nieinwazyjnego postępowania diagnostycznego z wykorzystaniem metod klinicznych i neurofizjologicznych. Głównym zamierzeniem pracy jest odpowiedź na pytanie, na ile obraz kliniczny skal oceny funkcjonalnej jest zgodny z oceną neuroobrazowania i wynikami badań neurofizjologii klinicznej.

Material and methods

Twelve patients aged from 20 to 43 years (women N = 5, men N = 7) with spinal cord injuries at the thoracic level were studied. In addition, the research group included patients who had to meet the qualifying conditions to participate in surveys being conducted; each patient had to be referred for neurophysiological examinations by neurologist with the permission of their

Materiał i metody

Przebadano 12 chorych (kobiet N = 5, mężczyzn N = 7) z urazami rdzenia kręgowego na poziomie piersiowym, w wieku od 20 do 43 lat. Dodatkowo chorzy grupy badawczej musieli spełniać kryteria kwalifikujące ich do wzięcia udziału w przeprowadzanych badaniach. Każdy badany musiał posiadać skierowanie od neurologa na badanie neurofizjologiczne z brakiem przeciwwskazań.

execution. Excluding criteria for both patients and healthy subjects were: lack of consent to the study, the presence of a pacemaker, cochlear implant, pregnancy and epilepsy or using the psychotropic drugs. Patients with incomplete spinal cord injury at the thoracic were treated conservatively and surgically in a similar manner. Subjects had to give written consent to participate in neurophysiological tests prior to the study. All studies were performed in accordance to Helsinki Declaration.

Twelve healthy volunteers aged from 19 to 29 years (women N = 8, men N = 4) were tested for comparison as the control group. The control group had to meet the criteria as follows: the lack of any episodes associated with spinal cord injuries, lack of neurological complications, no degenerative changes of the spine, the lack of disk-root conflict.

Patients described in this study (N = 12) were treated surgically with anterior (N = 3), and in more cases posterior (N = 9) approach consisting of the decompression of bone fragments, cracked vertebrae and ensuring the proper venous and arterial flow. Then, effects of bleeding were protected and in all cases multi-level spine stabilization using intravertebrae screws was applied. The time from injury to surgery ranged from 2 days to 1 month. The time from surgery to treatment onset ranged from 7 to 12 days. The time since starting the late treatment in the highly-specialized rehabilitation center was 6 months of average (from 5 to 7 months). Conservative treatment from its to onset to performing the clinical neurophysiology studies ranged from 8 to 10 months.

Czynnikami dyskwalifikującymi zarówno chorych jak i zdrowych były: brak zgody na przeprowadzenie badania, obecność rozrusznika serca, implant ślimakowy, ciąża oraz padaczka, czy też przyjmowanie leków psychotropowych. Chorzy z niecałkowitym uszkodzeniem rdzenia kręgowego na poziomie piersiowym w podobny sposób zostali poddani leczeniu zachowawczemu i operacyjnemu. Przed przystąpieniem do badań badani musieli wyrazić pisemną zgodę na wzięcie udziału w testach neurofizjologicznych. Wszystkie badania przeprowadzane były zgodnie z Deklaracją Helsińską.

Następnie dla celów porównawczych przebadano 12 zdrowych ochotników, w wieku od 19 do 29 lat (kobiet N = 8, mężczyzn N = 4). Grupa kontrolna musiała spełniać kryteria, co następuje: brak jakichkolwiek epizodów związanych z urazami rdzenia kręgowego, brak powikłań neurologicznych, brak zmian zwyrodnieniowych kręgosłupa, brak zespołów krążkowo-korzeniowych.

Opisywani w pracy chorzy (N = 12) leczeni byli operacyjnie z dostępu przedniego (N = 3), a w większej ilości przypadków dostępu tylnego (N = 9). Zabiegi chirurgiczne polegały na odbarczeniu rdzenia z odłamów kostnych, pękniętych trzonów kręgów oraz zapewnieniu prawidłowego przepływu żylnego i tętniczego z usunięciem skutków krwawienia oraz we wszystkich przypadkach stabilizacji wielopoziomowej kręgosłupa z wykorzystaniem śrub przeztrzonowych. Czas od momentu urazu do podjęcia leczenia chirurgicznego wynosił od 2 dni do 1 miesiąca. Czas od momentu interwencji chirurgicznej do momentu podjęcia leczenia zachowawczego wynosił od 7 do 12 dni. Czas od momentu podjęcia leczenia późnego w wysokospecjalistycznym ośrodku rehabilitacyjnym wynosił średnio 6 miesięcy (od 5 do 7 miesięcy). Leczenie zachowawcze od momentu jego rozpoczęcia do

Conservative treatment included physiotherapeutic procedures in the supine position aiming the normalization of increased muscle tension (postisometric relaxation procedures), prevention of trophic changes, especially in paralyzed areas of body, breathing exercises, passive exercises, active-assisted exercises activating the most affected muscle groups, posturalization of the patient by means of vertical tables, self-teaching, and systematic treatment of the bladder under aseptic conditions. All treatments were carried out in the morning and afternoon hours, for about 6 hours a day, 6 days a week.

To evaluate the clinical status of patients the ASIA scale was used, the modified version of Frankl's scale (Kirshblum 2011). It allows the determination of the damaged spinal cord severity. Using this scale it is possible to accurately classify patients with spinal cord injuries to particular groups, which greatly facilitates the subsequent evaluation of treatment progress.

The superficial sensory perception was studied with von Frey's filaments, according to dermatomal innervation (Bell-Krotoski et al 1995). Essentially, the test includes stimulation on cutaneous sensory receptors with calibrated flexible filaments made of silicone with different diameters (0,12 mm, 0,30 mm and 0,55 mm), which are applied bilaterally to the areas of body according with the dermatomal innervation. Results were described as 1-perception preserved, 0-analgesia.

To objectively determine the activity of motor units the sEMG was used (global

wykonania badania neurofizjologii klinicznej wynosiło od 8 do 10 miesięcy.

Leczenie zachowawcze obejmowało stosowanie zabiegów w pozycji leżącej normalizujących zwiększone napięcie mięśniowe (elementy poizometrycznej relaksacji), zapobieganie zmianom troficznym, zwłaszcza odleżynom w obszarach porażonych ciała, ćwiczenia oddechowe, ćwiczenia bierne czynne, wspomagane, ćwiczenia aktywizujące najbardziej porażone grupy mięśniowe, pionizację chorego za pomocą stołów pionizacyjnych, naukę samoobsługi, a także systematycznego oczyszczania pęcherza moczowego w warunkach aseptycznych. Wszystkie zabiegi prowadzone były w godzinach przed i popołudniowych przez około 6 godzin dziennie, 6 razy w tygodniu.

Do oceny stanu klinicznego chorych wykorzystano skalę ASIA, jej zmodyfikowaną wersję skalę Frankla (Kirshblum 2011). Pozwala ona na określenie stopnia ciężkości uszkodzonego rdzenia kręgowego. Za pomocą skali ASIA możliwe jest dokładne sklasyfikowania chorych z urazami rdzenia kręgowego do poszczególnych grup, co w wielkim stopniu ułatwia późniejszą ocenę postępu ich usprawniania.

W ocenie czucia powierzchniowego wykorzystano filamenty von Freya, zgodnie z unerwieniem dermatomalnym (Bell-Krotoskii wsp. 1995). Istotą badania jest pobudzenie receptorów skórnych czucia powierzchniowego za pomocą giętkich filamentów silikonowych o różnej średnicy (0,12 mm, 0,30 mm i 0,55 mm), które odpowiednio skalibrowane wywierają określony nacisk na badana okolicę ciała zgodnie z unerwieniem dermatomalnym w trakcie obustronnej aplikacji przez osobę wykonującą badanie. Rezultaty zostały opisane jako 1-percepcja zachowana, 0-niedoczulica.

Do obiektywnego określenia czynności jednostek ruchowych posłużyło badanie

electromyography) recorded with surface electrodes applied on the skin over muscles on both sides of the body. The test is conducted in two parts, during the first part the patient is asked to complete relax muscles – sEMG examination at rest. The next step is to test the selected muscle contraction, contraction takes about 5 seconds. The recordings were analyzed by means of amplitude measurements (uV), the frequency of recording (Hz; frequency index of recruited motor units action potentials in sEMG recordings during maximal contraction of examined muscles: 3-recordings with frequencies 90–70Hz, 2- recordings with frequencies 60–40Hz, 1- recordings with frequencies 30–10Hz). During the sEMG surface electrodes were used on both sides, one of them was placed on the muscle belly and the other on the tendon of examined muscles (Figure 1). Principles of sEMG performing and analysis have been described elsewhere (Huber et al 2011, 2013, Lisiński et al 2008).

sEMG (elektromiografia globalna) przeprowadzona z pomocą elektrod naskórnych i rejestracją z mięśni obu stron ciała. Badanie przeprowadzane jest w dwóch częściach, w pierwszej części chory jest proszony o pełne rozluźnienie mięśni – badanie sEMG w spoczynku. Kolejny etap to badanie podczas skurczu wybranych mięśni, skurcz trwa około 5 sekund. W rejestracjach zapisu analizowano wartość amplitudy zapisu (μV), charakter częstotliwości zapisu (Hz; wskaźnik częstotliwości potencjałów czynnościowych rekrutujących jednostek ruchowych w rejestracjach sEMG podczas maksymalnego skurczu badanych mięśni: 3-rejestracje z częstotliwością w przedziale 90–70Hz, 2-rejestracje z częstotliwością 60–40Hz, 1-rejestracje z częstotliwością 30–10Hz). Podczas badania użyto elektrody powierzchniowych AgCl, gdzie jedną z nich umieszczono na brzuścu mięśnia, a drugą na ścięgnie badanego mięśnia obustronnie (Rycina 1). Szczegóły przeprowadzania i analizy badań EMG zostały opisane w innych pracach (Huber i wsp. 2011; 2013; Lisiński i wsp. 2008).

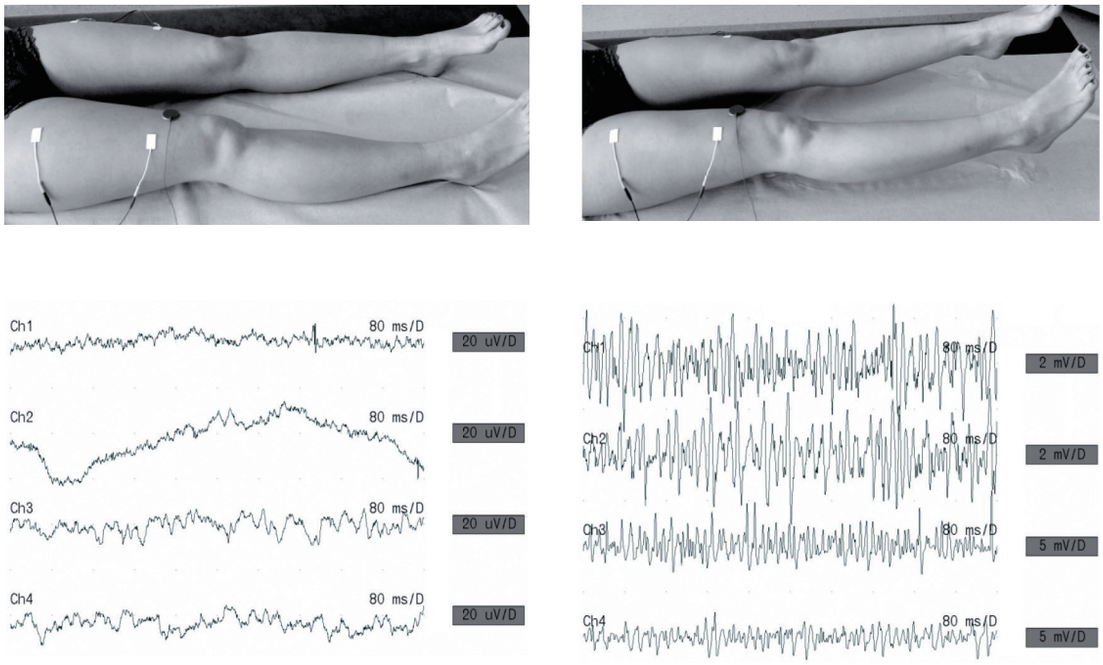


Figure 1. Photographs illustrating methodological principles of bilaterally recorded sEMG from m.abductor pollicis brevis (A, B) and m.rectus femoris (C, D) during their relaxation (A, C) and maximal contraction lasting five seconds (B, D) used in the presented work. In the lower part of the figure there are shown the recordings made in one of healthy control subjects during muscle relaxation (E) and maximal contraction (F) subsequently from m.abductor pollicis brevis (right and left) and m.rectus femoris (right and left side).

Rycina 1. Fotografie ilustrujące metodykę sEMG obustronnego badania m.abductor pollicis brevis (A,B) oraz m.rectus femoris (C,D) podczas ich relaksacji (A,C) oraz maksymalnego skurczu trwającego 5 sekund (B,D) wykorzystaną w pracy. W dolnej części ryciny przedstawiono rejestracje wykonane u jednego ze zdrowych ochotników grupy kontrolnej podczas relaksacji mięśni (E) i maksymalnego skurczu (F) kolejno z m.abductor pollicis brevis (po prawej i lewej stronie) oraz m.rectus femoris (po prawej i lewej stronie).

The study of motor evoked potentials (MEP) was used for the assessment of transmission in cortico-spinal pathways. The impulse of magnetic field applied during the test caused central and peripheral excitation in the nervous system (Hallet and Chokroverty 2005). Recordings of evoked responses were possible by the surface electrodes, where the active electrode was located over the muscle belly and the reference electrode was placed on the muscle's tendon distally. During transcranial stimulation of the motor cortex, the coil inducing the impulse of magnetic field was placed over the opposite cortical representation for the certain examined muscle (Kinalski 2008).

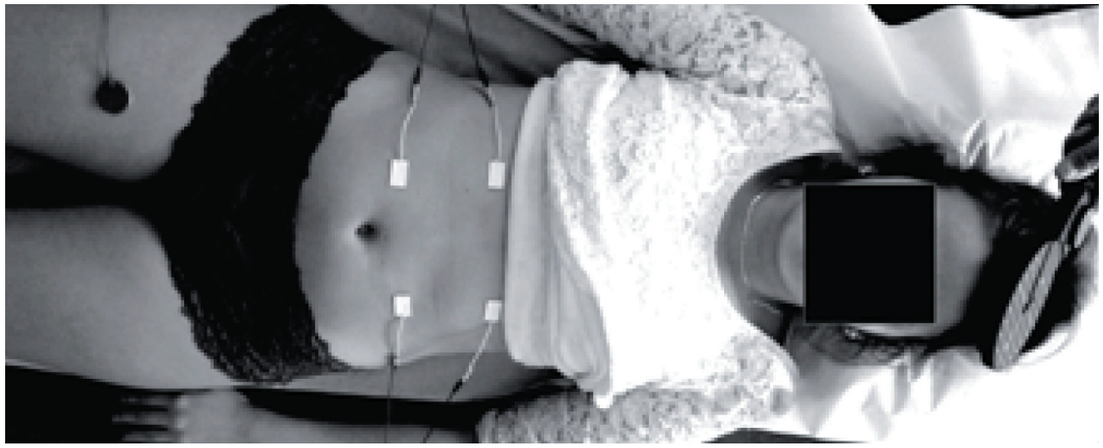
Badanie ruchowych potencjałów wywołanych (MEP) służyło ocenie przewodnictwa szlaków korowo-rdzeniowych. Impuls magnetyczny podczas badania powodował pobudzenie ośrodkowe i obwodowe w układzie nerwowym (Hallet i Chokroverty 2005). Zarejestrowanie odpowiedzi wywołanych było możliwe dzięki elektrodom powierzchniowym, gdzie elektroda aktywna znajdowała się na brzuścu mięśnia, a elektroda referencyjna była umieszcza dystalnie na ścięgnie mięśnia. Podczas stymulacji przezczaszkowej kory ruchowej, głowicę wytwarzającą impuls pola magnetycznego umiejscowiono drugostronnie w miejscu odpowiedniej reprezentacji dla

The analyzed parameters during the motor evoked potentials recordings are amplitude (μV), latency (ms) and conduction velocity (m/s) of efferent pathways (Kobayashi and Pascual-Leone 2003). The intensity of a single magnetic impulse during transcranial stimulation did not exceeded 40–70% of the maximal strength (Magistris et al 1998, George et al 1999). In patients with spinal cord injuries, the interpretation of changes in MEP amplitude parameter contains estimation of the active efferent axons number in the spinal cord white matter. Increase of the MEP latency parameter concerns the slowing of nerve impulses within the efferent spinal pathways. It should be also considered the measurement of the duration of recorded MEP, which increase suggests the presence of an ongoing pathological process and decrease at the subsequent stages of observation – the possible functional recovery process (Tabakow et al 2013, 2014) (Figure 2).

Because of the low number of the examined patients (pilot studies), simple comparison of mean values in examined parameters between patients and healthy volunteers was applied.

badanego mięśnia. Obserwuje się wówczas w mięśniach szkieletowych wywołany potencjał czynnościowy (Kinalski 2008). Parametrami jakie są analizowane podczas badania ruchowych potencjałach wywołanych to amplituda (μV), latencja (ms) oraz prędkości przewodzenia dróg eferentnych (m/s) (Kobayashi i Pascual-Leone 2003). Przy stymulacji przezczaszkowej, natężenie pojedynczego impulsu indukowanego polem magnetycznym nie przekraczało 40–70% wyrzutu maksymalnego (Magistris i wsp. 1998; George i wsp. 1999). U chorych po urazach rdzenia kręgowego, interpretacja zmiany parametru amplitudy MEP zawiera oszacowanie ilości aktywnych aksonów dróg eferentnych istoty białej rdzenia kręgowego. Wydłużenie parametru latencji MEP świadczy o spowolnieniu impulsów nerwowych w obrębie szlaków eferentnych rdzenia. Zwraca uwagę pomiar czasu trwania rejestrowanego potencjału MEP, którego zwiększenie sugeruje obecność toczącego się procesu patologicznego, a skracanie na kolejnych etapach obserwacji – możliwy proces funkcjonalnej odtwórczości (Tabakow i wsp. 2013; 2014) (Rycina 2).

Z uwagi na małą liczbę badanych chorych (badania pilotażowe), dokonano prostego porównania wartości średnich rejestrowanych parametrów rejestrowanych u zdrowych i chorych.



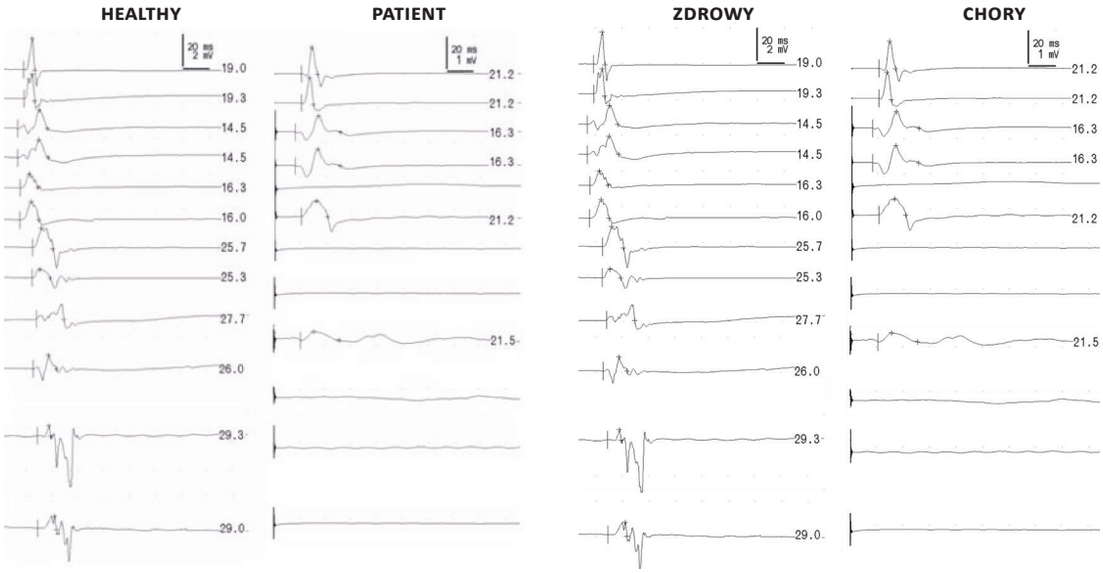


Figure 2. A photograph which illustrates the methodology of MEP study and examples of motor evoked potentials recordings induced magnetic field in one of the healthy volunteers from control group (left side of the picture) and in one of the patients with spinal cord injury at T9-T10 (right side of the picture). Recordings in the patient draw attention to the lack of evoked potentials from the rectus femoris muscle on the right and the presence of responses from the other muscle groups on both sides. Recordings were performed (from top to bottom): abductor pollicis muscles of both sides, the right and left rectus abdominis muscles, quadriceps muscles, tibialis anterior muscles, calf muscles and extensor digiti muscles.

Rycina 2. Fotografia ilustrująca metodykę badania MEP oraz przykłady rejestracji ruchowych potencjałów wywołanych indukowanych polem magnetycznym u jednego ze zdrowych ochotników grupy kontrolnej (lewa strona ryciny) oraz u jednego z chorych z uszkodzeniem połowicznym rdzenia na poziomie T9-T10 (prawa strona ryciny). U chorego zwraca uwagę brak rejestracji z mięśni uda po stronie prawej oraz śladowo zachowane odpowiedzi z pozostałych grup mięśniowych obu stron. Rejestracje odprowadzano kolejno z (od góry do dołu): mięśni odwodzicieli kciuka strony kolejno prawej i lewej, mięśni prostowników brzucha, mięśni czworogłowych uda, mięśni piszczelowych przednich, mięśni grupy tylnej podudzia, mięśni prostowników palców.

Results

According to the MRI results analysis presented in Table I and histograms in figure 3, examined patients represented Th1-Th12 spinal cord injuries, preferably at two segments.

Wyniki

Jak wynika z oceny badań rezonansu magnetycznego zestawionej w tabeli I oraz histogramów na rycinie 3, badani chorzy reprezentowali uszkodzenie rdzenia kręgowego na poziomach Th1-Th12, najczęściej dwóch neuromerów.

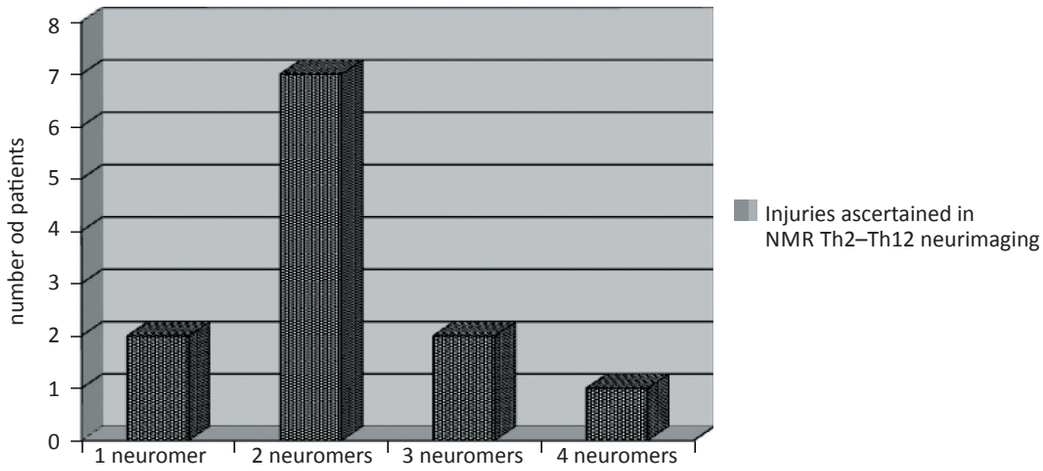
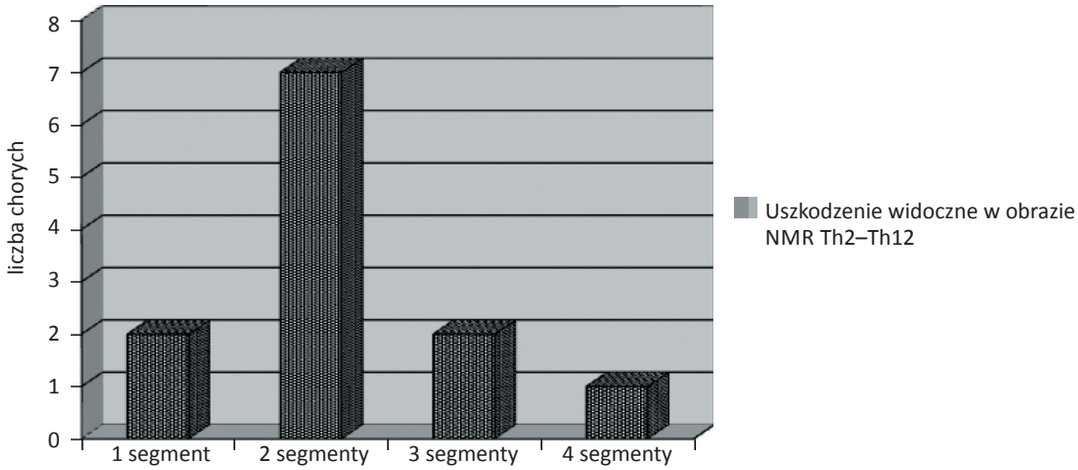


Figure 3. The number of injured neuromers in patients under the study.



Rycina 3. Liczb uszkodzonych segmentów u badanych chorych z uszkodzeniem rdzenia kręgowego.

Result of comprehensive clinical evaluation with ASIA scale, showed the type C injury in 8 patients and D type in 4 patients. These patients were characterized with partial preservation of motor function below the level of injury with symptom of one-sided lateralization. The majority of the patients demonstrated the range of lower extremities muscular strength in a Lovett's scale no greater than 3.

Wynik kompleksowej oceny klinicznej w skali ASIA, wykazał u 8 chorych rodzaj uszkodzenia typu C, a u 4 chorych typu D. U chorych tych funkcje motoryczne poniżej poziomu uszkodzenia były częściowo zachowane, z objawem lateralizacji jednostronnej. U większości z chorych w kończynach dolnych wykazano ocenę siły mięśniowej w skali Loveta nie większej niż 3.

Table I. Summary of the results on patients studied with surface electromyography (sEMG) at rest and during maximal contraction, parameters of motor evoked potentials induced with magnetic field (MEP) and sensory perception studies with von Frey's filaments. Data were recorded in patients and in healthy volunteers for comparison (control group). Significant differences are marked in shady cells. The differences of mean values are indicated by an asterisk; one star – significant difference, two stars – very significant difference.

PARAMETERS (RECORDINGS)	HEALTHY VOLUNTEERS N = 12		PATIENTS N = 12	
Resting sEMG amplitude (µV)	Min–max	Mean ± SD	Min–max	Mean ± SD
–m. abd. poll. brev. dex.	10–20	10 ± 10	10–20	12,8 ± 4,8
–m. abd. poll. brev. sin	10–20	10 ± 10	10–20	12,8 ± 4,8
–m.rectus abd. dex.	10–20	10 ± 10	10–30	17,1 ± 7,5
–m.rectus abd. sin.	10–20	10 ± 10	10–30	17,1 ± 7,5
–m. rectus fem. dex	10–20	10 ± 10	10–50	15,7 ± 15,1
–m. rectus fem. sin.	10–20	10 ± 10	10–50	16,4 ± 14,9
–m. tibialis ant. dex.	10–20	10 ± 10	10–15	10,7 ± 1,8
–m. tibialis ant. sin.	10–20	10 ± 10	10–30	12,8 ± 7,5
–m. gastrocnemius dex.	10–20	10 ± 10	10–15	10,7 ± 1,8
–m. gastrocnemius sin.	10–20	10 ± 10	10–40	14,2 ± 11,3
–m. extens. dig. dex.	10–20	10 ± 10	10–15	10,7 ± 1,88
–m. extens. dig. sin	10–20	10 ± 10	10–15	10,7 ± 1,8
Maximal contraction sEMG amplitude (µV)				
-m. abd. poll. brev. dex.	1500–5000	2491,7 ± 1173,5	20–4000	1765 ± 1189,8*
-m. abd. poll. brev. sin.	1300–5000	2458,3 ± 1086,7	20–4000	1565 ± 1267,0*
-m.rectus abd. dex	400–1500	825 ± 338,8	100–900	270,8 ± 243,5*
-m.rectus abd. sin	400–2000	916,7 ± 470,7	100–900	278,2 ± 230,3*
-m. rectus fem. dex	800–2000	1266,7 ± 457,9	0–1000	172,5 ± 324,2**
-m. rectus fem. sin	1000–2000	1250 ± 314,8	0–800	171 ± 271,0**
-m. tibialis ant. dex	600–8000	2166,7 ± 2102,5	0–700	101,8 ± 201,3**
-m. tibialis ant.sin	600–6000	2008,3 ± 1458,2	0–700	122,7 ± 204,3**
-m. gastrocnemius dex	500–1800	1108,3 ± 314,7	0–600	104,5 ± 176,3**
-m. gastrocnemius sin	700–1700	1075 ± 234,0	0–700	131,8 ± 201,2**
-m. extens. dig. dex	800–2500	1491,7 ± 514,3	0–500	78,2 ± 146,9**
-m. extens. dig. sin	800–2000	1525 ± 478,9	0–400	69,2 ± 111,6**
Frequency sEMG index (Hz)				
-m.thenar dex				
-m.thenar sin	3–3	3 ± 0	1–3	2,8 ± 0,7
-m.rectus abd. dex	3–3	3 ± 0	1–3	2,6 ± 0,7
-m.rectus abd. sin	2–3	2,3 ± 0,5	1–3	1,7 ± 0,7*
-m. rectus fem. dex	2–3	2,3 ± 0,5	1–3	1,9 ± 0,7*
-m. rectus fem. sin	3–3	3 ± 0	0–3	1,3 ± 1,0**
-m. tibialis ant. dex	3–3	3 ± 0	0–3	1,3 ± 0,9**
-m. tibialis ant.sin	3–3	3 ± 0	0–3	1,4 ± 0,9**
-m. gastrocnemius dex	3–3	3 ± 0	0–3	1,4 ± 0,9**
-m. gastrocnemius sin	3–3	3 ± 0	0–3	1,2 ± 0,9**

Table I. (cd.) Summary of the results on patients studied with surface electromyography (sEMG) at rest and during maximal contraction, parameters of motor evoked potentials induced with magnetic field (MEP) and sensory perception studies with von Frey's filaments. Data were recorded in patients and in healthy volunteers for comparison (control group). Significant differences are marked in shady cells. The differences of mean values are indicated by an asterisk; one star – significant difference, two stars – very significant difference.

PARAMETERS (RECORDINGS)	HEALTHY VOLUNTEERS N = 12		PATIENTS N = 12	
Frequency sEMG index (Hz)	Min–max	Mean ± SD	Min–max	Mean ± SD
-m. extens. dig. dex	3–3	3 ± 0	0–3	1,2 ± 0,9**
-m. extens. dig. sin	2–3	2,9 ± 0,3	0–3	1,1 ± 0,8**
	2–3	2,9 ± 0,3	0–2	1,0 ± 0,6**
Transcranial stimulation MEP amplitude (uV)				
-m.thenar dex	1800–8000	4425 ± 1967,1	1000–6000	3666,7 ± 1751,2*
-m.thenar sin	2000–7000	4050 ± 1854,5	2000–7000	3583,3 ± 2010,4*
-m.rectus abd. dex	300–3000	1258,3 ± 981,1	25–3000	628,8 ± 948,6**
-m.rectus abd. sin	300–3000	1208,3 ± 975,6	25–3000	717,1 ± 1112,1**
-m. rectus fem. dex	400–4000	1475 ± 1313,0	10–500	125,6 ± 157,6**
-m. rectus fem. sin	500–7000	1983,3 ± 1856,1	10–6000	823,75 ± 2093,6**
-m. tibialis ant. dex	500–4000	1575 ± 1007,4	NR	
-m. tibialis ant.sin	300–4500	1816,7 ± 1191,5	NR	
-m. gastrocnemius dex	300–3000	1050 ± 794,9	NR	
-m. gastrocnemius sin	300–2000	1150 ± 694,8	NR	
-m. extens. dig. dex	300–3000	1416,7 ± 803,2	NR	
-m. extens. dig. sin	500–8000	2141,7 ± 2026,0	NR	
Transcranial stimulation MEP latency (ms)				
-m.thenar de	16,7–22,8	19,8 ± 1,6	19,2–23,2	21,5 ± 1,5
-m.thenar sin	16,7–23,8	20,4 ± 1,8	19–23,2	21,5 ± 1,6
-m.rectus abd. dex	14,5–20,8	17,0 ± 2,3	9,9–35,8	17,1 ± 7,2
-m.rectus abd. sin	14,5–21,8	17,2 ± 2,4	10,3–30,7	16,9 ± 61
-m. rectus fem. dex	16,3–23,5	19,9 ± 2,0	14,7–49,7	30,3 ± 13,6**
-m. rectus fem. sin	16–23,8	19,9 ± 2,0	14,5–51,4	26,2 ± 11,1**
-m. tibialis ant. dex	25,7–31,8	27,9 ± 2,0	NR	
-m. tibialis ant.sin	25,3–31,8	28,1 ± 2,0	NR	
-m. gastrocnemius dex	25,7–34,8	29,2 ± 2,9	NR	
-m. gastrocnemius sin	25,7–34,8	29,2 ± 2,8	NR	
-m. extens. dig. dex	30,8–41,5	37,5 ± 3,5	NR	
-m. extens. dig. sin	31,5–41,5	37,3 ± 3,1	NR	
Transcranial stimulation MEP conduction velocity – CV (m/s)				
-m.thenar dex	46,7–59,2	50,8 ± 3,4	49,5–55,2	51,8 ± 2,2
-m.thenar sin	45,5–59,2	49,7 ± 3,6	47,4–54,2	52,1 ± 2,7
-m.rectus abd. dex	34,2–47,5	41,6 ± 4,7	20,9–63,5	48,1 ± 12,7*
-m.rectus abd. sin	33,6–48,6	41,5 ± 5,1	24,4–67,5	48,1 ± 11,3*
-m. rectus fem. dex	48,9–64,4	56, 3 ± 4,6	21,3–53,6	40,1 ± 12,3*

Table I. (cd.) Summary of the results on patients studied with surface electromyography (sEMG) at rest and during maximal contraction, parameters of motor evoked potentials induced with magnetic field (MEP) and sensory perception studies with von Frey's filaments. Data were recorded in patients and in healthy volunteers for comparison (control group). Significant differences are marked in shady cells. The differences of mean values are indicated by an asterisk; one star – significant difference, two stars – very significant difference.

PARAMETERS (RECORDINGS)	HEALTHY VOLUNTEERS N = 12		PATIENTS N = 12	
Transcranial stimulation MEP conduction velocity – CV (m/s)	Min–max	Mean ± SD	Min–max	Mean ± SD
-m. rectus fem. sin	49,7–63,7	55,8 ± 4,5	12,9–56,2	41,4 ± 13,5*
-m. tibialis ant. dex	51,2–56,5	53,3 ± 1,9	NR	
-m. tibialis ant.sin	50,7–56,3	53 ± 2,0	NR	
-m. gastrocnemius dex	47,4–55	51,2 ± 2,7	NR	
-m. gastrocnemius sin	47,4–54,4	50,9 ± 2,1	NR	
-m. extens. dig. dex	42,2–58,4	49,8 ± 3,7	NR	
-m. extens. dig. sin	43,2–57,1	49,6 ± 3,3	NR	
Study of sensory perception with von Frey's filaments				
-deltoid area (C4) dex	1 = 12		1 = 9	
-deltoid area (C4) sin	1 = 12		1 = 9	
-fifth finger (C8) dex	1 = 12		1 = 9	
-fifth finger (C8) sin	1 = 12		1 = 5	
-rectus abdom. area (Th1–Th10) dex	1 = 12		1 = 5	
-rectus abdom. area (Th1–Th10) sin	1 = 12		1 = 2	
-hip area (L2–L3) dex	1 = 12		1 = 9	
-hip area (L2–L3) sin	1 = 12		1 = 9	
-lateral calf (L5) dex	1 = 12		1 = 8	
-lateral calf (L5) sin	1 = 12		1 = 5	
-foot dorsum (S1) dex	1 = 12		1 = 3	
-foot dorsum (S1) sin	1 = 12		1 = 3	

Legends: NR – not recorded; frequency index of recruited motor units action potentials in sEMG recordings during maximal contraction of examined muscles: 3-recordings with frequencies 90–70 Hz, 2-recordings with frequencies 60–40Hz, 1-recordings with frequencies 30–10Hz.

Tabela I. Zestawienie wyników badań elektromiografii powierzchniowej (EMG) w warunkach spoczynkowych oraz podczas maksymalnego skurczu, ruchowych potencjałów wywołanych indukowanych polem magnetycznym (MEP) oraz badań percepcji czucia powierzchniowego filamentami von Freya. Przedstawiono dane odnotowane u zdrowych ochotników grupy kontrolnej oraz chorych dla porównania. Znaczące różnice zacieniono w komórkach tabeli. Różnice wartości średnich zaznaczono gwiazdkami; jedna gwiazdka – różnice znaczące, dwie gwiazdki – różnice bardzo znaczące.

PARAMETRY (REJESTRACJE)	ZDROWI OCHOTNICY N = 12		CHORZY N = 12	
Amplituda EMG w spoczynku (µV)	Min–max	Mean ± SD	Min–max	Mean ± SD
–m. abd. poll. brev. dex.	10–20	10 ± 10	10–20	12,8 ± 4,8
–m. abd. poll. brev. sin	10–20	10 ± 10	10–20	12,8 ± 4,8
–m.rectus abd. dex.	10–20	10 ± 10	10–30	17,1 ± 7,5
–m.rectus abd. sin.	10–20	10 ± 10	10–30	17,1 ± 7,5
–m. rectus fem. dex	10–20	10 ± 10	10–50	15,7 ± 15,1
–m. rectus fem. sin.	10–20	10 ± 10	10–50	16,4 ± 14,9
–m. tibialis ant. dex.	10–20	10 ± 10	10–15	10,7 ± 1,8
–m. tibialis ant. sin.	10–20	10 ± 10	10–30	12,8 ± 7,5
–m. gastrocnemius dex.	10–20	10 ± 10	10–15	10,7 ± 1,8
–m. gastrocnemius sin.	10–20	10 ± 10	10–40	14,2 ± 11,3
–m. extens. dig. dex.	10–20	10 ± 10	10–15	10,7 ± 1,88
–m. extens. dig. sin	10–20	10 ± 10	10–15	10,7 ± 1,8
Amplituda EMG podczas maksymalnego skurczu (µV)				
-m. abd. poll. brev. dex.	1500–5000	2491,7 ± 1173,5	20–4000	1765 ± 1189,8*
-m. abd. poll. brev. sin.	1300–5000	2458,3 ± 1086,7	20–4000	1565 ± 1267,0*
-m.rectus abd. dex	400–1500	825 ± 338,8	100–900	270,8 ± 243,5*
-m.rectus abd. sin	400–2000	916,7 ± 470,7	100–900	278,2 ± 230,3*
-m. rectus fem. dex	800–2000	1266,7 ± 457,9	0–1000	172,5 ± 324,2**
-m. rectus fem. sin	1000–2000	1250 ± 314,8	0–800	171 ± 271,0**
-m. tibialis ant. dex	600–8000	2166,7 ± 2102,5	0–700	101,8 ± 201,3**
-m. tibialis ant.sin	600–6000	2008,3 ± 1458,2	0–700	122,7 ± 204,3**
-m. gastrocnemius dex	500–1800	1108,3 ± 314,7	0–600	104,5 ± 176,3**
-m. gastrocnemius sin	700–1700	1075 ± 234,0	0–700	131,8 ± 201,2**
-m. extens. dig. dex	800–2500	1491,7 ± 514,3	0–500	78,2 ± 146,9**
-m. extens. dig. sin	800–2000	1525 ± 478,9	0–400	69,2 ± 111,6**
EMG wskaźnik częstotliwości podczas maksymalnego skurczu (Hz)				
-m.thenar dex				
-m.thenar sin	3–3	3 ± 0	1–3	2,8 ± 0,7
-m.rectus abd. dex	3–3	3 ± 0	1–3	2,6 ± 0,7
-m.rectus abd. sin	2–3	2,3 ± 0,5	1–3	1,7 ± 0,7*
-m. rectus fem. dex	2–3	2,3 ± 0,5	1–3	1,9 ± 0,7*
-m. rectus fem. sin	3–3	3 ± 0	0–3	1,3 ± 1,0**
-m. tibialis ant. dex	3–3	3 ± 0	0–3	1,3 ± 0,9**
-m. tibialis ant.sin	3–3	3 ± 0	0–3	1,4 ± 0,9**
-m. gastrocnemius dex	3–3	3 ± 0	0–3	1,4 ± 0,9**

Tabela I. (cd.) Zestawienie wyników badań elektromiografii powierzchniowej (EMG) w warunkach spoczynkowych oraz podczas maksymalnego skurczu, ruchowych potencjałów wywołanych indukowanych polem magnetycznym (MEP) oraz badań percepcji czucia powierzchniowego filamentami von Freya. Przedstawiono dane odnotowane u zdrowych ochotników grupy kontrolnej oraz chorych dla porównania. Znaczące różnice zacieniono w komórkach tabeli. Różnice wartości średnich zaznaczono gwiazdkami; jedna gwiazdka – różnice znaczące, dwie gwiazdki – różnice bardzo znaczące.

PARAMETRY (REJESTRACJE)	ZDROWI OCHOTNICY N = 12		CHORZY N = 12	
EMG wskaźnik częstotliwości podczas maksymalnego skurczu (Hz)	Min–max	Mean ± SD	Min–max	Mean ± SD
-m. gastrocnemius sin	3–3	3 ± 0	0–3	1,2 ± 0,9**
-m. extens. dig. dex	3–3	3 ± 0	0–3	1,2 ± 0,9**
-m. extens. dig. sin	2–3	2,9 ± 0,3	0–3	1,1 ± 0,8**
	2–3	2,9 ± 0,3	0–2	1,0 ± 0,6**
MEP po stymulacji nadczaszkowej – amplituda (uV)				
-m.thenar dex	1800–8000	4425 ± 1967,1	1000–6000	3666,7 ± 1751,2*
-m.thenar sin	2000–7000	4050 ± 1854,5	2000–7000	3583,3 ± 2010,4*
-m.rectus abd. dex	300–3000	1258,3 ± 981,1	25–3000	628,8 ± 948,6**
-m.rectus abd. sin	300–3000	1208,3 ± 975,6	25–3000	717,1 ± 1112,1**
-m. rectus fem. dex	400–4000	1475 ± 1313,0	10–500	125,6 ± 157,6**
-m. rectus fem. sin	500–7000	1983,3 ± 1856,1	10–6000	823,75 ± 2093,6**
-m. tibialis ant. dex	500–4000	1575 ± 1007,4	NR	
-m. tibialis ant.sin	300–4500	1816,7 ± 1191,5	NR	
-m. gastrocnemius dex	300–3000	1050 ± 794,9	NR	
-m. gastrocnemius sin	300–2000	1150 ± 694,8	NR	
-m. extens. dig. dex	300–3000	1416,7 ± 803,2	NR	
-m. extens. dig. sin	500–8000	2141,7 ± 2026,0	NR	
MEP po stymulacji nadczaszkowej – latencja (ms)				
-m.thenar de	16,7–22,8	19,8 ± 1,6	19,2–23,2	21,5 ± 1,5
-m.thenar sin	16,7–23,8	20,4 ± 1,8	19–23,2	21,5 ± 1,6
-m.rectus abd. dex	14,5–20,8	17,0 ± 2,3	9,9–35,8	17,1 ± 7,2
-m.rectus abd. sin	14,5–21,8	17,2 ± 2,4	10,3–30,7	16,9 ± 61
-m. rectus fem. dex	16,3–23,5	19,9 ± 2,0	14,7–49,7	30,3 ± 13,6**
-m. rectus fem. sin	16–23,8	19,9 ± 2,0	14,5–51,4	26,2 ± 11,1**
-m. tibialis ant. dex	25,7–31,8	27,9 ± 2,0	NR	
-m. tibialis ant.sin	25,3–31,8	28,1 ± 2,0	NR	
-m. gastrocnemius dex	25,7–34,8	29,2 ± 2,9	NR	
-m. gastrocnemius sin	25,7–34,8	29,2 ± 2,8	NR	
-m. extens. dig. dex	30,8–41,5	37,5 ± 3,5	NR	
-m. extens. dig. sin	31,5–41,5	37,3 ± 3,1	NR	
MEP po stymulacji nadczaszkowej – CV (m/s)				
-m.thenar dex	46,7–59,2	50,8 ± 3,4	49,5–55,2	51,8 ± 2,2
-m.thenar sin	45,5–59,2	49,7 ± 3,6	47,4–54,2	52,1 ± 2,7
-m.rectus abd. dex	34,2–47,5	41,6 ± 4,7	20,9–63,5	48,1 ± 12,7*

Tabela I. (cd.) Zestawienie wyników badań elektromiografii powierzchniowej (EMG) w warunkach spoczynkowych oraz podczas maksymalnego skurczu, ruchowych potencjałów wywołanych indukowanych polem magnetycznym (MEP) oraz badań percepcji czucia powierzchniowego filamentami von Freya. Przedstawiono dane odnotowane u zdrowych ochotników grupy kontrolnej oraz chorych dla porównania. Znaczące różnice zacieniono w komórkach tabeli. Różnice wartości średnich zaznaczono gwiazdkami; jedna gwiazdka – różnice znaczące, dwie gwiazdki – różnice bardzo znaczące.

PARAMETRY (REJESTRACJE)	ZDROWI OCHOTNICY N = 12		CHORZY N = 12	
MEP po stymulacji nadczaszkowej – CV (m/s)				
-m.rectus abd. sin	33,6–48,6	41,5 ± 5,1	24,4–67,5	48,1 ± 11,3*
-m. rectus fem. dex	48,9–64,4	56, 3 ± 4,6	21,3–53,6	40,1 ± 12,3*
-m. rectus fem. sin	49,7–63,7	55,8 ± 4,5	12,9–56,2	41,4 ± 13,5*
-m. tibialis ant. dex	51,2–56,5	53,3 ± 1,9	NR	
-m. tibialis ant.sin	50,7–56,3	53 ± 2,0	NR	
-m. gastrocnemius dex	47,4–55	51,2 ± 2,7	NR	
-m. gastrocnemius sin	47,4–54,4	50,9 ± 2,1	NR	
-m. extens. dig. dex	42,2–58,4	49,8 ± 3,7	NR	
-m. extens. dig. sin	43,2–57,1	49,6 ± 3,3	NR	
Badanie czucia Filamentami von Freya				
-deltoid area (C4) dex	1 = 12		1 = 9	
-deltoid area (C4) sin	1 = 12		1 = 9	
-fifth finger (C8) dex	1 = 12		1 = 9	
-fifth finger (C8) sin	1 = 12		1 = 5	
-rectus abdom. area (Th1–Th10) dex	1 = 12		1 = 5	
-rectus abdom. area (Th1–Th10) sin	1 = 12		1 = 2	
-hip area (L2–L3) dex	1 = 12		1 = 9	
-hip area (L2–L3) sin	1 = 12		1 = 9	
-lateral calf (L5) dex	1 = 12		1 = 8	
-lateral calf (L5) sin	1 = 12		1 = 5	
-foot dorsum (S1) dex	1 = 12		1 = 3	
-foot dorsum (S1) sin	1 = 12		1 = 3	

Objaśnienia: NR – nie rejestrowano; wskaźnik częstotliwości potencjałów czynnościowych rekrutujących jednostek ruchowych w rejestracjach sEMG podczas maksymalnego skurczu badanych mięśni: 3-rejestracje z częstotliwością w przedziale 90–70 Hz, 2-rejestracje z częstotliwością 60–40 Hz, 1-rejestracje z częstotliwością 30–10 Hz.

Results presented in table I indicate that the majority of sEMG recordings patients at rest had amplitudes in rectus abdominis, quadriceps and in a few cases of patients in distal muscles of leg higher than 14μV in comparison to healthy volunteers. This suggests a slight increase in muscle tension in these patients, without significant symptoms of hyperactivity. Further data show that deficits in efficiency of motor units recorded in upper extremities muscles were significant, while eminently recorded in the examined muscles innervated from levels below Th8-Th9 of spinal injury. More specifically, all the muscle groups innervated from neuromeres below Th10 were characterized by a significant reduction in amplitude parameter. The picture of structural damage reported in MRI readings corresponded to functional deficits found in electromyographic studies. Abnormalities in the recorded sEMG amplitude parameter were closely linked to the reduction in the frequency of recruiting motor units during the study of maximal contraction from selected muscle groups. This phenomenon has been clearly recorded in the tested muscles of the lower extremities than the trunk.

The results of sensory dermatomes studies under clinical evaluation in the ASIA scale shown more deficiencies in the range of innervation from the level of C8-T1 rather than the results of von Frey's filaments, which clarified the symptoms of analgesia in distal parts of lower extremities (Table I).

Discussion

Study of Sköld et al (1998) showed a link between spasticity symptoms assessed in Ashowort scale with abnormal sEMG results performed during maximal contraction. The presented study confirmed the parallel

Zestawienia w tabeli I wskazują, że u większości chorych amplituda potencjału spoczynkowego rejestracji sEMG z mięśni prostych brzucha oraz czworogłowych uda oraz w nielicznych przypadkach chorych grupy tylnej mięśni podudzia była wyższa aniżeli 14μV w stosunku do normy. Sugeruje to niewielki wzrost napięcia mięśniowego stwierdzony u tych chorych, bez wyraźnych objawów wygórowania. Inne dane pokazują, że deficyty sprawności jednostek ruchowych badanych mięśni kończyn górnych były znaczące, natomiast wybitnie rejestrowane w badanych mięśniach unerwianych z poziomów poniżej uszkodzenia Th8-Th9. Dokładniej ujmując, wszystkie grupy mięśniowe unerwiane ruchowo z neuromerów poniżej Th10, cechowały się w rejestracjach znaczącym obniżeniem amplitudy. Obraz uszkodzenia strukturalnego wykazanych w badaniach MRI odpowiada deficytom funkcjonalnym stwierdzonym w badaniach elektromiograficznych. Nieprawidłowości w rejestrowanym parametrze amplitudy w odprowadzeniach sEMG były ściśle powiązane z zmniejszeniem częstotliwości rekrutujących jednostek ruchowych podczas badania maksymalnego skurczu wybranych grup mięśniowych. Zjawisko to było rejestrowane wyraźniej w badanych mięśniach kończyn dolnych, aniżeli tułowia.

Wyniki badań dermatomów czucia w ramach oceny klinicznej w skali ASIA wykazały deficyty większe w zakresie unerwienia od poziomu C8-T1 aniżeli wyniki badań filamentami von Frey'a, w których sprecyzowano objawy niedoczulicy w części dystalnej kończyn dolnych (Tabela I).

Dyskusja

Badania Sköld i wsp.(1998) wykazały powiązanie pomiędzy oceną objawu spastyczności badanego skalą Ashowort z nieprawidłowym wynikiem badania sEMG przeprowadzonego w trakcie skurczu. W obecnej pracy

increase of spasticity symptoms in patients with thoracic spinal cord injury assessed under the ASIA scale with the increase of average sEMG amplitude parameter recorded under "relaxation" of the rectus abdominis, thigh and distal lower extremity muscles.

This study includes the evaluation of motor units activity using surface electromyography sEMG. This method is non-invasive and had proved to be sensitive enough, that confirmed the varying degree of neurogenic processes severity taking place in muscles of examined patients, as well as a similar degree of motor dysfunction detected patients with type C and D injures evaluated with the ASIA scale. The efferent transmission MEP test results examined patients were closely associated with the severity of the motor dysfunction in muscles detected in sEMG studies.

Conducted analysis confirmed the accuracy and usefulness of efferent transmission MEP studies in the evaluation of patients with partial spinal cord injuries in relation to the results of MRI, what was also underlined in studies of McDonnell and Donnan (1995) and Ellaway et al (2011). Picture of the structural damage extent at T2-T12 levels corresponds with functional deficits found in sEMG studies in patients under this study which is consistent with the assumptions described by Tabakow et al (2013). The results of the present study indicate a high level of compliance in structural damage with deficits in motor units activities innervated from motoneurones in neuromers below T8-T9, however giving rise to more precise diagnosis about the scope of damage on the basis of functional tests performed from many muscle groups.

stwierdzono równoległe narastanie objawu spastyczności u chorych z uszkodzeniem piersiowego rdzenia kręgowego ocenionego w ramach skali ASIA z wzrostem parametru średniej amplitudy sEMG rejestrowanej w warunkach „relaksacji" z mięśni prostowników na poziomie piersiowym oraz mięśni uda i podudzia kończyn dolnych.

W pracy przeprowadzono ocenę czynnościowej jednostek ruchowych za pomocą elektromiografii powierzchniowej sEMG. Jest to metoda nie inwazyjna i okazała się być czułą do tego stopnia, że potwierdziła różny stopień nasilenia procesów neurogennych zachodzących w mięśniach u badanych chorych, jak i występowanie podobnego stopnia dysfunkcji ruchowych u chorych, u których uszkodzenia zaliczono do typu C i D w skali ASIA. Z kolei wyniki badań przewodnictwa eferentnego MEP u badanych chorych były ściśle powiązane ze stopniem nasilenia dysfunkcji ruchowych mięśni stwierdzonych w badaniach sEMG.

Przeprowadzane analizy potwierdziły precyzyjność i użyteczność badań MEP w ocenie przewodnictwa eferentnego u chorych z częściowymi uszkodzeniami rdzenia kręgowego w powiązaniu z wynikami badania MRI, co podkreślali również w swoim opracowaniu McDonnel i Donnan (1995) oraz Ellaway i wsp. (2011). Obraz stopnia uszkodzenia strukturalnego na poziomach T2-T12 odpowiada u badanych w obecnej pracy chorych deficytom funkcjonalnym stwierdzonym w badaniach sEMG, co jest zgodne z założeniami opisanymi przez Tabakow i wsp. (2013). Wyniki obecnej pracy wskazują na dużą zgodność poziomu uszkodzenia strukturalnego z deficytami czynności jednostek ruchowych unerwianych przez komórki ruchowe z poziomu poniżej neuromerów T8-T9, dając jednakże powody do bardziej precyzyjnego wnioskowania o zakresie tego uszkodzenia na podstawie badania funkcjonalnego wielu grup mięśniowych.

George et al (1999) and Kobayashi and Pascual – Leone (2003) underlined a parallel course of phenomena regarding the decrease of amplitude and increase of latency parameters in MEPs recordings in patients with spinal injuries, which is slightly different from the results obtained in this paper, where the parameter of amplitude underwent the largest fluctuations. No significant changes in latency parameter of MEPs can be explained as an exponent of stability in preserved efferent transmission due to the intensive and targeted rehabilitation performed in patients.

About the possibility of spontaneous structural and functional compensation in patients with partial spinal cord injury argued in their work Flynn et al (2011), who in the final conclusions strongly emphasized the absence of any improvement without intensive work of physiotherapist with treated patient. In world literature there can be found a number of convincing descriptions supporting this relationship. Lima et al. (2010) pointed out the importance of the rehabilitation process in patients with spinal injuries after cell therapy. They described observation of patients treated over 3,5 years after surgery and demonstrated that among patients assessed on A and B in ASIA scale, strengthening exercises, movement re-education involving the 2-hour passive exercises and stretching exercises brought the best results. Moreover, 2–3 hours of balance training and posture, balancing from one leg to the other, and 2–3 hours of application the BIONT system involving gait training with loads on knees, hips and feet, promote the improvement of sensorimotor biofeedback. Rehabilitation in patients with incomplete spinal cord injuries resulted in an improvement to the ASIA scale A, while the lack of such improvement did not change the motor efficiency from scale B.

George i wsp. (1999) oraz Kobayashi i Pascual – Leone (2003) podkreślają o równoległym przebiegu zjawisk obniżenia parametrów amplitudy i wydłużenia wartości latencji rejestrowanych w odpowiedzi MEP u chorych po urazach rdzenia, co jest nieco odmienne od wyników uzyskanych w prezentowanej pracy, gdzie parametr amplitudy uległ największym fluktuacją. Brak zdecydowanych zmian w parametrze latencji, można uznać za wykładnik stabilności zachowanego przewodnictwa eferentnego rdzenia na skutek prowadzonego u chorych intensywnego i ukierunkowanego usprawniania.

O możliwości samoistnej kompensacji strukturalnej i funkcjonalnej u chorych po częściowych urazach rdzenia kręgowego przekonywali w swojej pracy Flynn i wsp. (2011), którzy w końcowej konkluzji zdecydowanie podkreślili brak jakiejkolwiek poprawy bez intensywnej pracy fizjoterapeuty z usprawnianym chorym. W światowej literaturze można znaleźć szereg przekonywających opisów tej zależności. Lima i wsp. (2010) wskazali na ważność procesu usprawniania po terapii komórkowej u chorych z uszkodzeniami rdzenia. Obserwacji poddano chorych ponad 3,5 roku po zabiegu chirurgicznym i wykazano, że wśród chorych ocenianych w skalach ASIA A i B, zabiegi usprawniania takie jak ćwiczenia wzmacniające, reedukacja ruchu polegająca na 2-godzinnym biernym usprawnianiu ruchu jak i ćwiczenia rozciągające przyniosły najlepsze efekty. Ponadto 2–3 godziny treningu równowagi postawy ciała, przenoszenie ciężaru ciała z jednej kończyny na drugą oraz 2–3 godziny stosowania systemu BIONT polegających na treningu chodu z obciążeniami kolan, bioder oraz stóp, promowały poprawę biofeedbacku czuciowo – ruchowego. Zabiegi usprawniania w grupie chorych z niecałkowitymi urazami rdzenia kręgowego

In addition to rehabilitation of patients after partial spinal cord injuries with classical methods of physiotherapy, McDonald et al. (2002) proposed a program that used the functional electrical stimulation to activate the flexor and extensor muscles in thighs and gluteal muscles using cyclometer, arguing about the late, positive consequences of functional recovery. Similar procedures were performed in patients described in this work.

McDonell et al (1995) examined whether the MEP exzamination can predict the restoration of function in transmission of corticospinal pathways faster than standard clinical tests. They found that in cases of acute spinal cord injuries, MEP did not provide useful information related to the recovery of motor function. This study provided different result. It should however be remembered that since 1995 the methodological possibilities of acquisition and analysis of MEPs have substantially developed.

Conclusions

1. In patients with incomplete injuries of the thoracic spinal cord, the picture of structural damage shown in MRI studies at the T2-T12 levels corresponds to functional deficits detected in sEMG recordings during maximal contraction of lower extremities muscles more than rectus abdominis muscles.

2. Minor symptoms of spasticity detected as part of the ASIA assessment were linked to an increase of sEMG amplitude parameter in recordings during attempts of relaxation.

spowodowały poprawę do skali A ASIA, natomiast brak takiego usprawniania, nie poprawiło sprawności ruchowej z skali B.

Oprócz możliwości usprawniania chorych po uszkodzeniu rdzenia kręgowego klasycznymi metodami kinezyterapii, McDonald i wsp. (2002) zaproponowali program wykorzystujący funkcjonalną stymulację elektryczną do aktywizacji mięśni zginaczy i prostowników uda oraz mięśni pośladkowych z wykorzystaniem cyklometru, przekonując o późnych, pozytywnych następstwach odtwórczości neuronalnej u chorych z częściowym uszkodzeniem rdzenia. Podobne zabiegi były wykonywane u chorych opisywane w tej pracy.

McDonell i wsp. (1995), zbadali czy metoda badania MEP może przewidzieć odtworzenie przewodnictwa szlaków korowo-rdzeniowych szybciej aniżeli standardowe badania kliniczne. Stwierdzili, że w przypadkach ostrych uszkodzeń rdzenia kręgowego, MEP nie dostarczają użytecznych informacji związanej z odtwarzaniem funkcji ruchowej. W przedstawionej pracy uzyskano odmienny wynik. Należy jednakże pamiętać, że od roku 1995 możliwości metodologiczne akwizycji i analizy potencjałów MEP uległy znaczącemu rozwojowi.

Wnioski

1. U chorych z uszkodzeniami niecałkowitymi piersiowego rdzenia kręgowego, obraz uszkodzenia strukturalnego wykazanych w badaniach MRI na poziomach T2-T12 odpowiada deficytom funkcjonalnym stwierdzonym w badaniach sEMG podczas prób maksymalnego skurczu mięśni bardziej kończyn dolnych aniżeli prostych brzucha.
2. Niewielkie objawy spastyczności wykazane w ramach oceny ASIA powiązane były z wzrostem parametru amplitudy sEMG w rejestracjach w trakcie prób relaksacji.

3. The picture of efferent transmission preservation found in the MEP study is consistent with the results of clinical assessment and evaluation of muscle motor units activity studied in sEMG.
4. The results of sensory dermatomes studies under clinical evaluation in the ASIA scale show greater deficits in the range of innervation from C8-T1 rather than the results of von Frey's filaments, which precise the symptoms analgesia in distal parts of lower extremities.

3. Obraz zachowania przewodnictwa eferentnego w badaniu MEP jest zgodny z wynikami oceny klinicznej oraz sprawności jednostek ruchowych mięśni w badaniu sEMG.
4. Wyniki badań dermatomów czucia w ramach oceny klinicznej w skali ASIA wykazują deficyty większe w zakresie unerwienia od poziomu C8-T1 aniżeli wyniki badań filamentami von Frey'a, w których sprecyzowano również objawy niedoczulicy w części dystalnej kończyn dolnych.

REFERENCES

Bell-Krotoski J. A., Fess E. E., Hiltz D., Figarola J., *Threshold Detection and Semmes-Weinstein Monofilaments: A Comparative Study.* Journal of Hand Therapy 1995; 8:155–162.

Ditunno J. F., Little J. W., Tessler A., Burns A. S., *Spinal shock revisited: a four-phase model*, Spinal Cord 2004; 42:383–395.

De Vivo M. J., *Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications*, Spinal Cord 2012; 50,355–372.

Ellaway P. H., Kuppuswamy A., Balasubramaniam A. V., Maksimovic R., Gall A., Craggs M. D., Mathias C. J., Bacon M., Prochazka A., Kowalczewski J., Conway B. A., Galen S., Catton C. J., Allan D. B., Curt A., Wirth B., van Hedel H. J., *Development of quantitative and sensitive assessments of physiological and functional outcome during recovery from spinal cord injury: a clinical initiative*, Brain Research Bulletin 2011; 10,84,4–5,343–357.

Ellingson B. M., Ulmer J. L., Kurpad S. N., Schmit B. D., *Diffusion tensor MR imaging in chronic spinal cord injury.* American Journal of Neuroradiology 2008; 29:1976–1982.

Flynn J. R., Graham B. A., Galea M. P., Callister R. J., *The role of propriospinal interneurons in recovery from spinal cord injury*, Neuropharmacology 2011; 60,5:809–822.

George M. S., Lisanby S. H., Sackeim H. A., *Transcranial magnetic stimulation. Aplications in neuropsychiatry*, Archives of General Psychiatry 1999; 56,4:300–310.

Hallett M., Chokroverty S., *Magnetic Stimulation in Clinical Neurophysiology, Second Edition*, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

Huber J., Lisiński P., Samborski W., Wytrążek M., *The Effect Of Early Isometric Exercises On Clinical And Neurophysiological Parameters In Patients With Sciatica: An Interventional Randomized One-Blinded Study*. Isokinetic and Exercise Science 2011; 19,3:207–214.

PIŚMIENNICTWO

Bell-Krotoski J. A., Fess E. E., Hiltz D., Figarola J., *Threshold Detection and Semmes-Weinstein Monofilaments: A Comparative Study.* Journal of Hand Therapy 1995; 8:155–162.

Ditunno J. F., Little J. W., Tessler A., Burns A. S., *Spinal shock revisited: a four-phase model*, Spinal Cord 2004; 42:383–395.

De Vivo M. J., *Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications*, Spinal Cord 2012; 50,355–372.

Ellaway P. H., Kuppuswamy A., Balasubramaniam A. V., Maksimovic R., Gall A., Craggs M. D., Mathias C. J., Bacon M., Prochazka A., Kowalczewski J., Conway B. A., Galen S., Catton C. J., Allan D. B., Curt A., Wirth B., van Hedel H. J., *Development of quantitative and sensitive assessments of physiological and functional outcome during recovery from spinal cord injury: a clinical initiative*, Brain Research Bulletin 2011; 10,84,4–5,343–357.

Ellingson B. M., Ulmer J. L., Kurpad S. N., Schmit B. D., *Diffusion tensor MR imaging in chronic spinal cord injury.* American Journal of Neuroradiology 2008; 29:1976–1982.

Flynn J. R., Graham B. A., Galea M. P., Callister R. J., *The role of propriospinal interneurons in recovery from spinal cord injury*, Neuropharmacology 2011; 60,5:809–822.

George M. S., Lisanby S. H., Sackeim H. A., *Transcranial magnetic stimulation. Aplications in neuropsychiatry*, Archives of General Psychiatry 1999; 56,4:300–310.

Hallett M., Chokroverty S., *Magnetic Stimulation in Clinical Neurophysiology, Second Edition*, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

Huber J., Lisiński P., Samborski W., Wytrążek M., *The Effect Of Early Isometric Exercises On Clinical And Neurophysiological Parameters In Patients With Sciatica: An Interventional Randomized One-Blinded Study*. Isokinetic and Exercise Science 2011; 19,3:207–214.

Huber J., Lisiński P., Polowczyk A., *Reinvestigation of the dysfunction in the neck and shoulder girdle muscles as the reason of cervicogenic headache among office workers.* Disability and Rehabilitation 2013; 35, 9–10:793-802.

Kinalski R., *Neurofizjologia kliniczna dla neurorehabilitacji*, MedPharm, Polska, 2008.

Kinalski R., *Clinical neurophysiology-theradiagnostics interface: perspective of new physiotherapist profession. Issue of Rehabilitation Orthopaedy Neurophysiology and Sport Promotion* – IRONS 2012; 1:4–12.

Kirshblum S. C., *International standards for neurological classification of spinal cord injury*, The Journal of Spinal Cord Medicine 2011; 34:525-546.

Kobayashi M., Pascual- Leone A., *Transcranial magnetic stimulation in neurology,* The Lancet Neurology 2003; 2:145-156.

Lima C., Escada P., Pratas-Vital J., Branco C., Arcangeli C. A., Lazzeri G., Maia C. A., Capucho C., Hasse-Ferreira A., Peduzzi J. D., *Olfactory mucosal autografts and rehabilitation for chronic traumatic spinal cord injury,* Neurorehabil Neural Repair 2010; 24:10–22.

Lisiński P., Huber J., Samborski W, Witkowska A., *Neurophysiological assessment of the electrostimulation procedures used in stroke patients during rehabilitation,* The International journal of Artificial Organs 2008; 311:76–86.

Magistris M. R., Rosler K. M., Truffert M., **Myers J. P.**, *Transcranial stimulation excites virtually all motorneurons supplying the target muscle. A demonstration and a method improving the study of motor evoked potentials*, Brain 1998; 121:437–450.

McDonald J. W., Becker D., Sadowsky C. L., Jane J. A. Jr, *Conturo T. E., Schultz L. M., Late recovery following spinal cord injury. Case report and review of the literature.* Journal of Neurosurgery 2002; 97:252–265.

Huber J., Lisiński P., Polowczyk A., *Reinvestigation of the dysfunction in the neck and shoulder girdle muscles as the reason of cervicogenic headache among office workers.* Disability and Rehabilitation2013; 35, 9–10:793-802.

Kinalski R., *Neurofizjologia kliniczna dla neurorehabilitacji*, MedPharm, Polska, 2008.

Kinalski R., *Clinical neurophysiology-theradiagnostics interface: perspective of new physiotherapist profession. Issue of Rehabilitation Orthopaedy Neurophysiology and Sport Promotion* – IRONS 2012; 1:4–12.

Kirshblum S. C., *International standards for neurological classification of spinal cord injury*, The Journal of Spinal Cord Medicine 2011; 34:525-546.

Kobayashi M., Pascual- Leone A., *Transcranial magnetic stimulation in neurology,* The Lancet Neurology 2003; 2:145-156.

Lima C., Escada P., Pratas-Vital J., Branco C., Arcangeli C. A., Lazzeri G., Maia C. A., Capucho C., Hasse-Ferreira A., Peduzzi J. D., *Olfactory mucosal autografts and rehabilitation for chronic traumatic spinal cord injury,* Neurorehabil Neural Repair 2010; 24:10–22.

Lisiński P., Huber J., Samborski W, Witkowska A., *Neurophysiological assessment of the electrostimulation procedures used in stroke patients during rehabilitation,* The International journal of Artificial Organs 2008; 311:76–86.

Magistris M. R., Rosler K. M., Truffert M., **Myers J. P.**, *Transcranial stimulation excites virtually all motorneurons supplying the target muscle. A demonstration and a method improving the study of motor evoked potentials*, Brain 1998; 121:437–450.

McDonald J. W., Becker D., Sadowsky C. L., Jane J. A. Jr, *Conturo T. E., Schultz L. M., Late recovery following spinal cord injury. Case report and review of the literature.* Journal of Neurosurgery 2002; 97:252–265.

McDonell R. A., Donnan G. A., *Magnetic cortical stimulation in acute spinal cord injury*, Neurology 1995; 45:303–306.
Savic G., Bergström E. M., Frankel H. L., Jamous M. A., Ellaway P. H., Davey N. J., *Perceptual threshold to cutaneous electrical stimulation in patients with spinal cord injury*, Spinal Cord 2006; 44,9:560–566.
Sekhon L. H., Fehlings M. G., *Epidemiology demographics and pathophysiology of acute spinal cord injury*, Spine 2001; 15,26:2–12.
Sköld C., Levi R., Seiger A., *Spasticity after traumatic spinal cord injury: nature, severity and location.* Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 999; 80,12:1548–1557.
Tabakow P., Jarmundowicz W., Czapiga B., Fortuna W., Miedzybrodzki R., Czyz M., Huber J., Szarek D., Okurowski S., Szewczyk P., Gorski A., Raisman G., *Transplantation of autologous olfactory ensheathing cells in complete human spinal cord injury*, Cell Transplant 2013; 22:1591–1612.
Tabakow P., Raisman G., Fortuna W., Czyz M., Huber J., Li D., Szewczyk P., Okurowski S., Miedzybrodzki R., Czapiga B., Salomon B., Halon A., Li Y., Lipiec J., Kulczyk A., Jarmundowicz W., *Functional regeneration of supraspinal connections in a patient with transected spinal cord following transplantation of bulbar olfactory ensheathing cells with peripheral nerve bridging*, Cell Transplantation 2014;23,12:1631–1655.
Vargas M. I., Delavelle J., Jlassi H., Rilliet B., Viallon M., Becker C. D., Lovblad K. O., *Clinical applications of diffusion tensor tractography of the spinal cord*, Neuroradiology 2008; 50:25–29.

Author responsible for correspondence: Agnieszka Wincek; e-mail: agnieszka_wincek@wp.pl

McDonell R. A., Donnan G. A., *Magnetic cortical stimulation in acute spinal cord injury*, Neurology 1995; 45:303–306.
Savic G., Bergström E. M., Frankel H. L., Jamous M. A., Ellaway P. H., Davey N. J., *Perceptual threshold to cutaneous electrical stimulation in patients with spinal cord injury*, Spinal Cord 2006; 44,9:560–566.
Sekhon L. H., Fehlings M. G., *Epidemiology demographics and pathophysiology of acute spinal cord injury*, Spine 2001; 15,26:2–12.
Sköld C., Levi R., Seiger A., *Spasticity after traumatic spinal cord injury: nature, severity and location.* Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 999; 80,12:1548–1557.
Tabakow P., Jarmundowicz W., Czapiga B., Fortuna W., Miedzybrodzki R., Czyz M., Huber J., Szarek D., Okurowski S., Szewczyk P., Gorski A., Raisman G., *Transplantation of autologous olfactory ensheathing cells in complete human spinal cord injury*, Cell Transplant 2013; 22:1591–1612.
Tabakow P., Raisman G., Fortuna W., Czyz M., Huber J., Li D., Szewczyk P., Okurowski S., Miedzybrodzki R., Czapiga B., Salomon B., Halon A., Li Y., Lipiec J., Kulczyk A., Jarmundowicz W., *Functional regeneration of supraspinal connections in a patient with transected spinal cord following transplantation of bulbar olfactory ensheathing cells with peripheral nerve bridging*, Cell Transplantation 2014;23,12:1631–1655.
Vargas M. I., Delavelle J., Jlassi H., Rilliet B., Viallon M., Becker C. D., Lovblad K. O., *Clinical applications of diffusion tensor tractography of the spinal cord*, Neuroradiology 2008; 50:25–29.

Author responsible for correspondence: Agnieszka Wincek; e-mail: agnieszka_wincek@wp.pl